Instituto de Educación Superior Público "José Carlos Mariátegui"

V Feria Concurso de Proyectos Innovación Tecnológica Inter Programas de Estudios del IES "JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI" – 2026

Programa de Estudios "Producción Agropecuaria"

Nombre del proyecto:

"Diseño y desarrollo de un simulador anatómico bovino con retroalimentación por botones como innovación tecnológica para la formación en inseminación artificial de Producción Agropecuaria"

Trabajo académico presentado por los estudiantes:

Huillca Cruz, Vania Paola

Quispe Quispe, Lizmey Nayely

Lady Jenifer Mamani Choque

Parra Mendoza, Jesús Fernando

Semestre:

III

Docente Asesor:

M.V. Navia Ortega, German Arturo

Categoría:

Procesos de producción de bienes y servicios

Moquegua - Perú

2026

PRESENTACIÓN

Estimados Miembros del Jurado Evaluador y Comunidad Académica:

Nos es grato someter a su consideración y evaluación el proyecto de innovación tecnológica titulado "Diseño y desarrollo de un simulador anatómico bovino con retroalimentación por botones como innovación tecnológica para la formación en inseminación artificial de Producción Agropecuaria", desarrollado por los estudiantes del III Semestre del Programa de Estudios de Producción Agropecuaria del Instituto de Educación Superior Público "José Carlos Mariátegui".

La ganadería moderna exige la incorporación de biotecnologías reproductivas eficientes como la inseminación artificial para acelerar el mejoramiento genético y elevar los índices de productividad del hato pecuario en la región Moquegua. Sin embargo, el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta técnica enfrenta limitaciones críticas debido al acceso restringido a vacas reproductoras vivas en las etapas iniciales de capacitación, sumado al riesgo latente de inducir estrés físico o generar lesiones en la mucosa reproductiva de los animales por malas praxis operativas.

Frente a esta problemática, y guiados bajo los principios internacionales del bienestar animal y el aprendizaje basado en competencias, hemos diseñado y construido un prototipo tridimensional didáctico de bajo costo (S/ 50.00) que reproduce fielmente el conducto pélvico y uterino de una vaca de raza Holstein. La principal novedad radica en la integración de un circuito electrónico de sensores de presión (botones pulsadores) acoplados a indicadores lumínicos (focos LED). Este sistema proporciona una retroalimentación didáctica objetiva y en tiempo real, permitiendo al estudiante autocorregir su trayectoria de avance con la pistola de inseminación, registrar errores y confirmar el posicionamiento correcto en el cuerpo del útero de manera autónoma.

Ponemos a disposición este informe técnico con el firme propósito de contribuir a la vanguardia educativa de nuestra institución, promoviendo herramientas metodológicas sostenibles, dinámicas y replicables que fortalezcan el perfil profesional de las futuras generaciones de técnicos agropecuarios.

Atentamente,

El Equipo Innovador



RESUMEN

El presente proyecto de innovación tecnológica consistió en el diseño, construcción y validación de un simulador anatómico bovino tridimensional equipado con un sistema electrónico de retroalimentación táctil, orientado a optimizar la enseñanza práctica de la técnica de inseminación artificial (IA) en los estudiantes del Programa de Estudios de Producción Agropecuaria del IESP "José Carlos Mariátegui" de Moquegua. El problema central abordado fue la falta de herramientas didácticas especializadas que permitan a los alumnos desarrollar destrezas motrices finas y precisión técnica antes de intervenir en animales vivos, minimizando el estrés y el riesgo de lesiones en el ganado real.

La metodología empleada se basó en un enfoque de investigación aplicada y desarrollo de prototipos. El simulador se fabricó combinando componentes anatómicos de PVC modificados con yeso para emular la consistencia rígida y anillada del cérvix bovino, montados sobre un soporte de tecnopor y revestidos internamente con napa. Estéticamente, la estructura externa fue elaborada en cartón y tapizada con telas negra y blanca para simular los patrones de un ejemplar Holstein, incorporando además un mecanismo elástico perianal para posibilitar la palpación rectal. El núcleo tecnológico del prototipo consiste en un circuito de baja tensión alimentado por portapilas, el cual interconecta cinco botones pulsadores colocados estratégicamente a lo largo de la cavidad sintética con diodos LED indicadores: cuatro luces rojas para advertir sobre desviaciones o colisiones contra las paredes cervicales y una luz verde para ratificar la llegada exitosa de la pistola aplicadora al cuerpo del útero.

Las pruebas prácticas ejecutadas con estudiantes del tercer semestre demostraron que el simulador reduce significativamente la curva de aprendizaje y eleva la seguridad y confianza del operador mediante una evaluación objetiva basada en la respuesta de los sensores. Asimismo, el proyecto demostró una alta viabilidad económica al requerir un presupuesto financiero directo de solo S/ 50.00 gracias al uso intensivo de materiales de reciclaje y recursos preexistentes de aporte propio. Se concluye que el prototipo constituye una alternativa pedagógica altamente eficiente, económica y sostenible que salvaguarda el bienestar animal y moderniza los procesos de formación técnico-pecuaria institucional.

Palabras clave: Simulador anatómico, Inseminación artificial, Retroalimentación electrónica, Bienestar animal, Producción Agropecuaria, Materiales reciclados.

ÍNDICE

PRESENTACIÓNii

RESUMEN iii

I. INFORMACIÓN GENERAL.....1

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO.....1

1.2 CATEGORÍA DE PROYECTO..... 1

1.3 ÁREA / LÍNEA DE INVESTIGACIÓN / INNOVACIÓN.....1

1.3.1 ÁREA 1

1.3.2 LÍNEA 1

1.3.3 Programa de Estudios 1

1.3.4 Equipo Innovador 1

II. DESCRIPCIÓN DE LA INNOVACIÓN 1

2.1 El problema 1

2.2 Objetivos de la Innovación 2

2.2.1 General 2

2.2.2 Específicos 2

2.3 Justificación 2

2.4 Marco Referencial 2

2.4.1 Ganado bovino e importancia económica 2

2.4.2 Anatomía del aparato reproductor de la vaca 4

2.4.2.1 Vulva 5

2.4.2.2 Vagina 6

2.4.2.3 Cérvix o Cuello Uterino 6

2.4.2.4 Útero 7

2.4.2.5 Cuernos uterinos 7

2.4.2.6 Oviductos o trompas uterinas 8

2.4.2.7 Ovarios 9

2.4.3 Fisiología reproductiva y ciclo estral de la vaca 9

2.4.4 Inseminación Artificial en bovinos 15

2.4.5 Materiales y equipos utilizados en la inseminación artificial 16

2.4.5.1 Tanque criogénico para nitrógeno líquido 17

2.4.5.2 Pajillas de semen 17

2.4.5.3 Pistola de inseminación 18

2.4.5.4 Fundas sanitarias 18

2.4.5.5 Guantes obstétricos y lubricantes 18

2.4.5.6 Corta pajillas y pinza de extracción 18

2.4.6 Conservación y manejo del semen bovino 19

2.4.6.1 Obtención y procesamiento del semen 19

2.4.6.2 Criopreservación del semen 20

2.4.6.2 Descongelación del semen 21

2.4.7 Detección de celo en bovinos 21

2.4.8 Procedimiento técnico de la inseminación artificial 22

2.4.9 Bioseguridad durante la inseminación artificial 22

2.4.10 Simuladores anatómicos como estrategia de enseñanza 23

III. EJECUCIÓN DEL PROYECTO 24

3.1 Actividades de Inicio 24

3.2 Metodología utilizada 24

3.3 Actividades de Desarrollo de la innovación 25

3.3.1 Diseño y construcción de la innovación 25

3.3.2 Pruebas Realizadas 25

3.3.3 Impactos 26

CONCLUSIONES 27

RECOMENDACIONES 27

ANEXOS 27

ANEXO 01: Proceso de construcción del simulador anatómico 27

ANEXO 02: Prototipo final del simulador 28

ANEXO 03: Boceto y diseño del simulador (Plano 2D) 28

ANEXO 04: Presupuesto analítico de materiales y componentes de aporte propio 29

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño y desarrollo de un simulador anatómico bovino con retroalimentación por botones como innovación tecnológica para la formación en inseminación artificial de Producción Agropecuaria

1.2 CATEGORÍA DE PROYECTO

Procesos de producción de bienes y servicios

1.3 AREA/ LINEA DE INVESTIGACIÓN/INNOVACIÓN

1.3.1 AREA: Procesos Agroindustriales y pecuarios

1.3.2 LINEA: Procesos de manejo animales mayores

1.3.3 Programa de Estudios

Programa de Estudios de "Producción Agropecuaria"

1.3.4 Equipo Innovador

Docente Asesor: M. V. German Arturo Navia Ortega

Integrantes:

- Vania Paola Huilca Cruz
- Lizmey Nayely Quispe Quispe
- Jesús Fernando Parra Mendoza
- Lady Jennifer Mamani Choque

II. DESCRIPCIÓN DE LA INNOVACIÓN

2.1 El problema:

La formación práctica en reproducción bovina presenta limitaciones cuando no se cuenta con equipamiento especializado para simular procedimientos reales. Esta situación dificulta que los estudiantes desarrollen destrezas manuales, precisión técnica y seguridad durante la ejecución de la inseminación artificial. En consecuencia, el aprendizaje puede volverse menos eficiente y más dependiente de la observación teórica que de la práctica real.

Además, el manejo de animales reales en etapas tempranas de formación puede generar estrés en el ejemplar, errores en el procedimiento y dificultades para el estudiante, especialmente si aún no domina completamente la anatomía reproductiva ni el uso adecuado del instrumental. Por ello, se requiere una herramienta de apoyo que permita ensayar, corregir y repetir procedimientos sin causar daños ni riesgos innecesarios.

2.2 Objetivos de la Innovación

2.2.1 General

Diseñar un modelo tridimensional enfocado exclusivamente en la cavidad uterina del ganado bovino mediante materiales reciclables y electrónicos, que reproduzca características anatómicas para la capacitación práctica en técnicas de inseminación artificial.

2.2.2 Específicos

- Implementar botones de presión y movimiento que permitan detectar errores y aciertos durante la práctica.
- Disminuir la incidencia de prácticas inadecuadas en la I.A. bovina, garantizando el bienestar animal y evitando el uso de ejemplares reales en las etapas iniciales de formación.
- Fortalecer la precisión y confianza para la formación práctica de los estudiantes en la ejecución de la I.A., mediante la aplicación de conocimientos teórico-prácticos.

2.3 Justificación

El proyecto busca mejorar de forma eficiente la curva de aprendizaje en una práctica primordial de las técnicas de mejoramiento animal como es la inseminación artificial. A través de la implementación de un sistema tecnológico se reducen riesgos en pacientes reales, aplicación progresiva de conocimientos teórico-prácticos y se promueve la incorporación de tecnologías modernas en el campo de la producción pecuaria. Así mismo, permite una evaluación objetiva del desempeño de los estudiantes basado en datos de sensores.

2.4 Marco Referencial

2.4.1. Ganado bovino e importancia económica

El ganado bovino constituye una de las especies pecuarias de mayor importancia a nivel mundial debido a su contribución en la producción de alimentos, materias primas y al desarrollo socioeconómico de las poblaciones rurales. Su explotación está orientada principalmente a la producción de carne, leche, cuero, material genético y fuerza de trabajo en determinadas regiones. Además, representa una fuente significativa de empleo e ingresos para millones de productores, especialmente en países en vías de desarrollo, donde la ganadería forma parte esencial de la seguridad alimentaria y del desarrollo económico. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023), la ganadería aporta aproximadamente el 40 % del valor de la producción agrícola mundial y constituye el medio de vida de más de mil millones de personas, desempeñando un papel fundamental en la reducción de la pobreza y el abastecimiento de proteínas de alto valor biológico.

En el Perú, la producción bovina reviste una importancia estratégica debido a su participación en la economía agropecuaria y en la generación de alimentos para la población. La actividad bovina se desarrolla tanto en sistemas extensivos como intensivos, predominando los pequeños y medianos productores que destinan su producción a la obtención de leche y carne. El incremento de la productividad del ganado depende, entre otros factores, de una adecuada alimentación, programas sanitarios eficientes, selección genética y la incorporación de biotecnologías reproductivas como la inseminación artificial. El Instituto Nacional de Estadística e Informática señala que la ganadería constituye una de las principales actividades económicas del sector agropecuario peruano, siendo una fuente importante de empleo e ingresos para las familias rurales, especialmente en las regiones altoandinas donde la crianza de bovinos forma parte de los sistemas tradicionales de producción.

Desde una perspectiva productiva, los bovinos pueden clasificarse según su finalidad en ganado de carne, ganado lechero y ganado de doble propósito. Cada sistema posee características particulares relacionadas con la genética, manejo nutricional, reproducción y sanidad. Las razas especializadas en producción lechera, como la Holstein Friesian y la Brown Swiss, presentan altos rendimientos de leche bajo condiciones adecuadas de manejo, mientras que razas como la Angus, Hereford y Brahman destacan por su eficiencia en la producción de carne. Asimismo, los sistemas de doble propósito permiten obtener simultáneamente leche y carne, constituyendo una

alternativa ampliamente utilizada en América Latina debido a su flexibilidad productiva y adaptación a diferentes condiciones climáticas.

El mejoramiento genético representa uno de los pilares fundamentales para incrementar la eficiencia de los sistemas bovinos modernos. La selección de reproductores superiores y la aplicación de técnicas reproductivas permiten obtener animales con mayor potencial productivo, mejor conformación, resistencia a enfermedades y mayor eficiencia alimenticia. En este contexto, la inseminación artificial se ha consolidado como una herramienta que facilita la difusión rápida del material genético de toros de alto valor, evitando además la transmisión de enfermedades venéreas y reduciendo los costos asociados al mantenimiento de reproductores. La utilización de biotecnologías reproductivas ha permitido acelerar significativamente los programas de mejoramiento genético en bovinos, incrementando la productividad y rentabilidad de las explotaciones pecuarias.

2.4.2. Anatomía del aparato reproductor de la vaca

El aparato reproductor de la hembra bovina está conformado por un conjunto de órganos especializados cuya función principal es garantizar la reproducción de la especie mediante la producción de gametos, la fecundación, la gestación y el parto. Estas estructuras trabajan de manera coordinada bajo la influencia de hormonas producidas principalmente por el hipotálamo, la hipófisis y los ovarios, permitiendo el desarrollo del ciclo reproductivo y asegurando las condiciones necesarias para la concepción y el desarrollo embrionario. El conocimiento detallado de la anatomía reproductiva resulta indispensable para los profesionales y estudiantes del área agropecuaria, especialmente para aquellos que realizan procedimientos de inseminación artificial, debido a que la correcta identificación de cada órgano permite ejecutar la técnica con mayor precisión, minimizar errores y evitar lesiones en los animales **(Hafez & Hafez, 2013).**

Desde el punto de vista anatómico, el aparato reproductor bovino se divide en órganos externos e internos. Los órganos externos están representados por la vulva y el vestíbulo vaginal, mientras que los órganos internos comprenden la vagina, el cuello uterino (cérvix), el útero, los cuernos uterinos, los oviductos o trompas uterinas y los ovarios. Cada una de estas estructuras desempeña funciones específicas durante el proceso reproductivo y presenta características anatómicas que deben ser reconocidas

por el inseminador para lograr una adecuada deposición del semen. **Según Arthur, Noakes y Pearson (2001)**, la comprensión de la anatomía reproductiva constituye uno de los pilares fundamentales para el éxito de los programas de reproducción asistida en bovinos, ya que permite disminuir la incidencia de errores técnicos durante la inseminación artificial.

En la formación académica de los estudiantes, el estudio de la anatomía reproductiva adquiere una importancia especial debido a que constituye la base para el desarrollo de habilidades prácticas relacionadas con el diagnóstico reproductivo, la palpación rectal y la inseminación artificial. Sin embargo, la enseñanza tradicional suele limitarse al uso de ilustraciones o a prácticas esporádicas con animales vivos, situación que dificulta la adquisición progresiva de competencias técnicas. En este contexto, el diseño de simuladores anatómicos representa una alternativa innovadora que permite a los estudiantes reconocer cada estructura, practicar repetidamente el recorrido de la pistola de inseminación y comprender la disposición espacial de los órganos reproductivos antes de intervenir sobre animales reales.

2.4.2.1. Vulva

La vulva constituye el órgano genital externo de la hembra bovina y representa la primera estructura anatómica que entra en contacto con el inseminador durante la realización del procedimiento. Está formada por dos labios vulvares unidos en sus extremos mediante las comisuras dorsal y ventral, delimitando la abertura externa del aparato reproductor denominada hendidura vulvar. Además de permitir el ingreso del pene durante la monta natural o de la pistola de inseminación durante la reproducción asistida, la vulva cumple una importante función protectora al impedir el ingreso de microorganismos y agentes contaminantes hacia el tracto reproductivo interno (Senger, 2012).

Durante el ciclo estral, la vulva experimenta cambios fisiológicos ocasionados por la acción de los estrógenos. En el periodo de celo se observa un ligero aumento de volumen, enrojecimiento y la presencia de secreciones mucosas transparentes que facilitan el paso del semen y constituyen uno de los principales signos utilizados para detectar el estro. Estas modificaciones permiten al técnico reconocer el momento óptimo para realizar la inseminación artificial, incrementando así las probabilidades de

fecundación. La adecuada observación de estas manifestaciones forma parte de las competencias que todo estudiante debe desarrollar durante su formación profesional.

2.4.2.2. Vagina

La vagina corresponde al conducto muscular que comunica el vestíbulo vaginal con el cuello uterino. En la vaca adulta presenta una longitud aproximada de 25 a 30 centímetros y está constituida por tejido muscular y una mucosa resistente que facilita la expansión durante el parto y la cópula. Durante la inseminación artificial, la vagina actúa como vía de acceso para la introducción de la pistola inseminadora, permitiendo que esta avance hasta localizar el cérvix. Debido a ello, el operador debe mantener una adecuada orientación del instrumento para evitar traumatismos o contaminación del tracto reproductivo.

La mucosa vaginal posee un ambiente fisiológico que contribuye a la protección frente a agentes infecciosos mediante la producción de secreciones y la presencia de microorganismos beneficiosos. Asimismo, durante el estro aumenta la lubricación natural favoreciendo el desplazamiento del semen y facilitando el procedimiento de inseminación. El conocimiento de estas características resulta esencial para comprender la importancia de mantener estrictas condiciones de higiene durante el procedimiento, utilizando guantes desechables, lubricantes apropiados e instrumental esterilizado, de acuerdo con las recomendaciones establecidas en las Buenas Prácticas Pecuarias.

2.4.2.3. Cervix o Cuello Uterino

El cérvix constituye una de las estructuras más importantes del aparato reproductor bovino y representa el principal desafío durante la inseminación artificial. Anatómicamente se trata de un órgano cilíndrico, firme y fibroso, ubicado entre la vagina y el cuerpo del útero. Su interior presenta de tres a cinco pliegues o anillos cervicales de disposición irregular que dificultan el avance del catéter inseminador. Precisamente, la correcta manipulación del cérvix determina en gran medida el éxito del procedimiento, ya que el semen debe depositarse en el cuerpo uterino y no permanecer retenido en el cuello uterino **(Arthur, 2001).**

Durante la práctica de inseminación artificial, el operador introduce una mano por vía rectal para sujetar y orientar el cérvix, mientras que con la otra mano dirige la pistola inseminadora a través de la vagina. Esta maniobra requiere coordinación,

experiencia y un conocimiento profundo de la anatomía, ya que movimientos bruscos o una orientación incorrecta pueden ocasionar lesiones en la mucosa cervical o disminuir la tasa de concepción.

2.4.2.4. Útero

El útero de la vaca es un órgano muscular hueco cuya función principal consiste en recibir el embrión fecundado, proporcionar un ambiente adecuado para su implantación y permitir el desarrollo del feto durante toda la gestación. Anatómicamente se encuentra ubicado entre el cérvix y los oviductos, y está compuesto por un cuerpo uterino corto y dos cuernos uterinos largos. La pared uterina está formada por tres capas: el perimetrio, que constituye la capa externa protectora; el miometrio, conformado por tejido muscular liso responsable de las contracciones uterinas; y el endometrio, capa interna altamente vascularizada donde ocurre la implantación del embrión y el establecimiento de la placenta. Según Arthur et al. (2001), el correcto funcionamiento del útero resulta indispensable para garantizar el éxito reproductivo y mantener condiciones óptimas para el desarrollo embrionario.

Desde el punto de vista fisiológico, el útero participa activamente en los procesos de transporte de espermatozoides, fecundación, gestación y parto. Durante el ciclo estral experimenta modificaciones estructurales reguladas principalmente por las hormonas estrógeno y progesterona. En el periodo de estro, el incremento de estrógenos favorece la irrigación sanguínea y estimula las contracciones uterinas, facilitando el desplazamiento de los espermatozoides hacia los oviductos. Posteriormente, durante la fase lútea, la progesterona prepara el endometrio para la posible implantación del embrión y reduce la actividad contráctil del útero, creando un ambiente adecuado para la gestación **(Senger, 2012).**

Durante la inseminación artificial, el objetivo del inseminador es depositar el semen en el cuerpo del útero, inmediatamente después de atravesar el cérvix. Este sitio es considerado el punto anatómico ideal debido a que permite una distribución uniforme de los espermatozoides hacia ambos cuernos uterinos, incrementando las probabilidades de fecundación.

2.4.2.5. Cuernos uterinos

Los cuernos uterinos son dos prolongaciones del cuerpo del útero que se extienden hacia cada uno de los ovarios. En los bovinos presentan una longitud aproximada de 20 a 40 centímetros, dependiendo de la edad, condición fisiológica y número de partos del animal. Esta característica anatómica clasifica al útero bovino como un útero bicorne, condición propia de la mayoría de los rumiantes domésticos. Los cuernos uterinos desempeñan un papel fundamental durante la gestación, ya que constituyen el sitio donde normalmente se desarrolla el embrión después de la implantación.

La superficie interna de los cuernos uterinos contiene numerosas carúnculas uterinas, estructuras especializadas que posteriormente formarán parte de la placenta al unirse con los cotiledones fetales. Gracias a esta unión se establece el intercambio de oxígeno, nutrientes y productos de desecho entre la madre y el feto durante toda la gestación. Además, el miometrio presente en esta región genera contracciones que favorecen tanto el transporte espermático como la expulsión del feto durante el parto.

En el contexto de la inseminación artificial, aunque el semen no debe depositarse directamente dentro de uno de los cuernos uterinos en vacas sanas, resulta indispensable comprender su ubicación y orientación para interpretar correctamente la anatomía durante la palpación rectal.

2.4.2.6. Oviductos o trompas uterinas

Los oviductos, también conocidos como trompas uterinas o trompas de Falopio, son conductos delgados que comunican los cuernos uterinos con los ovarios. Cada oviducto se divide anatómicamente en tres regiones: infundíbulo, ampolla e istmo. El infundíbulo presenta numerosas prolongaciones denominadas fimbrias, encargadas de captar el ovocito inmediatamente después de la ovulación. La ampolla constituye el sitio donde generalmente ocurre la fecundación, mientras que el istmo conecta con el cuerno uterino y facilita el transporte del embrión hacia el útero.

Además de servir como vía de transporte, los oviductos proporcionan un ambiente fisiológico indispensable para la supervivencia tanto del ovocito como de los espermatozoides. Las secreciones producidas por su epitelio aportan nutrientes y regulan las condiciones necesarias para la capacitación espermática, proceso mediante el cual los espermatozoides adquieren la capacidad de fecundar el ovocito. Asimismo, las contracciones musculares y el movimiento de los cilios presentes en la mucosa

favorecen el desplazamiento del cigoto hacia el útero durante los primeros días posteriores a la fecundación.

Aunque los oviductos no son alcanzados directamente durante la técnica de inseminación artificial, su estudio posee una elevada importancia académica porque permiten comprender el proceso completo de la reproducción bovina.

2.4.2.7. Ovarios

Los ovarios constituyen las gónadas femeninas y representan el órgano reproductor encargado de producir los ovocitos y sintetizar las principales hormonas sexuales femeninas, entre ellas los estrógenos y la progesterona. En la vaca adulta presentan forma ovalada, con un tamaño aproximado de 3 a 5 centímetros de longitud, aunque estas dimensiones pueden variar dependiendo de la edad, estado fisiológico y fase del ciclo estral. Se localizan próximos al extremo de los cuernos uterinos y permanecen suspendidos mediante el ligamento ancho del útero.

Desde el punto de vista funcional, los ovarios cumplen una doble función: reproductiva y endocrina. La función reproductiva consiste en la producción y liberación de ovocitos mediante el proceso de ovulación, mientras que la función endocrina comprende la secreción de hormonas responsables de regular el ciclo estral, preparar el aparato reproductor para la gestación y mantener el embarazo. Durante cada ciclo reproductivo se desarrollan numerosos folículos ováricos, aunque normalmente solo uno alcanza la madurez suficiente para liberar el ovocito durante la ovulación. Posteriormente, el folículo roto se transforma en cuerpo lúteo, estructura temporal encargada de producir progesterona para mantener las condiciones adecuadas para la implantación embrionaria **(Hafez & Hafez, 2013).**

El conocimiento de la anatomía y fisiología ovárica resulta indispensable para interpretar correctamente los procesos reproductivos y comprender la importancia de la detección del celo y del momento óptimo para realizar la inseminación artificial.

2.4.3. Fisiología reproductiva y ciclo estral de la vaca

La fisiología reproductiva bovina comprende el estudio de los procesos biológicos, hormonales y anatómicos que regulan la reproducción de la hembra. Estos mecanismos permiten la producción de gametos, la ovulación, la fecundación, la gestación y el parto, garantizando la continuidad de la especie. En los bovinos, la

reproducción depende de una compleja interacción entre el sistema nervioso central y el sistema endocrino, los cuales coordinan la actividad del hipotálamo, la hipófisis y los ovarios mediante la liberación de hormonas que regulan el ciclo estral. El conocimiento de estos procesos es indispensable para los profesionales del área agropecuaria, ya que permite determinar el momento óptimo para realizar la inseminación artificial y aumentar las probabilidades de concepción.

El éxito de los programas reproductivos depende, en gran medida, de la comprensión del funcionamiento fisiológico del aparato reproductor. La sincronización adecuada entre la ovulación y la deposición del semen constituye uno de los factores que más influyen sobre la fertilidad del ganado bovino. Cuando la inseminación se realiza fuera del periodo fértil, disminuye considerablemente la probabilidad de fecundación, generando pérdidas económicas para el productor y reduciendo la eficiencia reproductiva del hato. Por esta razón, la formación de los futuros técnicos agropecuarios debe incluir conocimientos sólidos sobre fisiología reproductiva antes de desarrollar competencias prácticas relacionadas con la inseminación artificial.

En la actualidad, el estudio de la fisiología reproductiva no solo tiene importancia desde el punto de vista científico, sino también económico y productivo. La correcta interpretación de los cambios hormonales permite implementar programas de sincronización del celo, mejorar la eficiencia de la inseminación artificial y optimizar el uso de semen de alto valor genético.

El hipotálamo secreta la hormona liberadora de gonadotropinas, la cual estimula la hipófisis anterior para liberar las hormonas foliculoestimulantes (FSH) y luteinizante (LH). Estas hormonas actúan directamente sobre los ovarios promoviendo el crecimiento de los folículos ováricos, la ovulación y la formación del cuerpo lúteo.

La hormona foliculoestimulante (FSH) interviene principalmente en el desarrollo y maduración de los folículos ováricos. Durante cada ciclo estral, varios folículos comienzan su crecimiento bajo la influencia de esta hormona; sin embargo, normalmente solo uno alcanza la madurez suficiente para convertirse en el folículo dominante y liberar el ovocito durante la ovulación. Conforme el folículo aumenta de tamaño, produce cantidades crecientes de estrógenos, hormonas responsables de inducir las manifestaciones externas del celo y preparar el aparato reproductor para recibir el semen.

Por su parte, la hormona luteinizante (LH) desencadena la ovulación aproximadamente entre 24 y 30 horas después del inicio del celo. Tras la liberación del ovocito, el folículo roto se transforma en cuerpo lúteo, estructura endocrina encargada de secretar progesterona. Esta hormona inhibe nuevos procesos ovulatorios y prepara el útero para la implantación del embrión. Si no ocurre la fecundación, el útero produce prostaglandina, sustancia responsable de provocar la regresión del cuerpo lúteo y permitir el inicio de un nuevo ciclo estral.

El ciclo estral es el conjunto de cambios fisiológicos y hormonales que experimenta la hembra bovina desde el inicio de un celo hasta el comienzo del siguiente. En condiciones normales tiene una duración promedio de 21 días, aunque puede variar entre 18 y 24 días dependiendo de la raza, edad, estado nutricional y condiciones de manejo. Durante este periodo se producen modificaciones en los ovarios, el útero y el comportamiento del animal, preparando al organismo para una posible gestación.

El ciclo estral se divide en cuatro fases principales: proestro, estro, metaestro y diestro. Cada una presenta características hormonales y fisiológicas particulares que deben ser conocidas por el inseminador para determinar el momento más adecuado para realizar la inseminación artificial. La identificación correcta de estas etapas constituye uno de los aspectos más importantes en los programas de reproducción bovina, debido a que una inseminación realizada fuera del periodo fértil disminuye considerablemente las tasas de concepción.

La duración y expresión del ciclo estral pueden verse influenciadas por factores como la alimentación, el estrés, enfermedades reproductivas, condiciones ambientales y manejo del ganado.

Las fases del ciclo estral en una vaca son las siguientes:

Proestro: El proestro corresponde a la fase inicial del ciclo estral y tiene una duración aproximada de dos a tres días. Durante este periodo ocurre la regresión del cuerpo lúteo y disminuyen progresivamente las concentraciones de progesterona. Simultáneamente, comienzan a desarrollarse nuevos folículos ováricos estimulados por la hormona FSH, incrementándose la producción de estrógenos.

Desde el punto de vista clínico, la vaca presenta inquietud, aumento de la actividad locomotora y ligera inflamación de la vulva, aunque aún no acepta la monta de otras vacas. Internamente, el útero incrementa su irrigación sanguínea y se prepara para el próximo periodo fértil.

Para los programas reproductivos, esta etapa indica que la hembra se aproxima al celo, por lo que resulta conveniente intensificar la observación de signos reproductivos para identificar oportunamente el momento adecuado de la inseminación.

Estro o celo: El estro constituye la fase de máxima receptividad sexual y representa el momento de mayor importancia para la reproducción bovina. Su duración oscila generalmente entre 12 y 18 horas, aunque puede variar dependiendo de factores individuales y ambientales. Durante este periodo la concentración de estrógenos alcanza su nivel máximo, provocando cambios conductuales y fisiológicos característicos.

El signo más confiable del celo es que la vaca permanece quieta y permite ser montada por otras vacas, comportamiento conocido como. Además, pueden observarse secreción de moco transparente, inquietud, disminución del consumo de alimento, vocalizaciones frecuentes, inflamación vulvar y aumento de la actividad física.

La detección correcta del celo es fundamental para obtener buenos resultados reproductivos. La conocida regla am-pm, descrita inicialmente por Trimberger, indica que las vacas detectadas en celo por la mañana deben inseminarse por la tarde, mientras que aquellas detectadas por la tarde deben inseminarse a la mañana siguiente. Esta estrategia permite que los espermatozoides alcancen el oviducto antes de la ovulación, aumentando las probabilidades de fecundación.

Metaestro: El metaestro corresponde a la fase posterior al celo y se caracteriza por el inicio de la formación del cuerpo lúteo después de la ovulación. Esta etapa tiene una duración aproximada de tres a cinco días y marca la transición entre el periodo de receptividad sexual y la fase de preparación para una posible gestación. Durante el metaestro disminuyen progresivamente las concentraciones de estrógenos, mientras que la progesterona comienza a aumentar como consecuencia de la actividad del cuerpo lúteo recién formado. Este cambio hormonal produce modificaciones importantes en el aparato reproductor, especialmente en el útero, el cual inicia la preparación del endometrio para favorecer la implantación del embrión en caso de que haya ocurrido la fecundación.

Durante esta etapa, la vaca ya no manifiesta los signos externos característicos del celo y rechaza nuevamente la monta de otros animales. Sin embargo, internamente continúan ocurriendo procesos fisiológicos de gran importancia, como el desplazamiento del ovocito fecundado hacia el útero y el desarrollo temprano del embrión. En algunos animales puede observarse un ligero sangrado vaginal conocido como "sangrado metestral", el cual se produce debido a pequeños cambios vasculares inducidos por la disminución de los niveles de estrógenos. Es importante señalar que este sangrado no representa un signo de enfermedad ni indica necesariamente que la inseminación haya fracasado.

Desde el punto de vista reproductivo, el metaestro representa una etapa crítica para el establecimiento de la gestación. Si la fecundación no ocurre, el embrión no se desarrolla y el cuerpo lúteo continuará funcionando únicamente durante algunos días antes de iniciar su regresión. En cambio, cuando existe fecundación, el cuerpo lúteo mantiene una elevada producción de progesterona, hormona indispensable para conservar el embarazo durante las primeras semanas de gestación. Por ello, comprender los procesos fisiológicos del metaestro permite interpretar adecuadamente los cambios reproductivos posteriores a la inseminación artificial y valorar la importancia del momento oportuno de la fertilización.

Diestro: El diestro constituye la fase más prolongada del ciclo estral bovino y tiene una duración aproximada de 12 a 15 días. Durante este periodo el cuerpo lúteo alcanza su máximo desarrollo y produce grandes cantidades de progesterona, hormona encargada de mantener el ambiente uterino adecuado para la implantación y el desarrollo embrionario. La progesterona también inhibe la liberación de nuevas hormonas gonadotrópicas, evitando que se produzca otra ovulación mientras exista la posibilidad de una gestación en curso.

Durante el diestro la vaca presenta un comportamiento tranquilo y no manifiesta signos de receptividad sexual. El aparato reproductor permanece bajo la influencia de la progesterona, favoreciendo el engrosamiento del endometrio, el incremento de las secreciones uterinas y la disminución de las contracciones del útero. Estas condiciones proporcionan un ambiente estable para el desarrollo inicial del embrión y permiten el establecimiento de la gestación cuando la fecundación ha sido exitosa.

Si no existe un embrión viable, aproximadamente entre los días 16 y 18 del ciclo el útero libera prostaglandina, hormona responsable de destruir el cuerpo lúteo mediante un proceso denominado luteólisis. Como consecuencia disminuyen rápidamente las concentraciones de progesterona y el organismo reinicia un nuevo ciclo estral.

Otros procesos que se dan dentro del ciclo estral de una vaca:

Ovulación: La ovulación constituye uno de los acontecimientos fisiológicos más importantes del ciclo reproductivo bovino. Consiste en la ruptura del folículo ovárico dominante y la liberación del ovocito hacia el oviducto, donde podrá ser fecundado por un espermatozoide. Este proceso ocurre aproximadamente entre 10 y 14 horas después de finalizado el celo y es desencadenado por un aumento brusco de la hormona luteinizante (LH), conocido como "pico preovulatorio de LH"

El ovocito liberado es captado inmediatamente por las fimbrias del infundíbulo y transportado hacia la ampolla del oviducto mediante el movimiento de los cilios y las contracciones musculares de la trompa uterina. La viabilidad del ovocito es relativamente corta, manteniéndose apto para ser fecundado durante aproximadamente 6 a 12 horas. En contraste, los espermatozoides pueden sobrevivir dentro del tracto reproductor femenino entre 24 y 30 horas después de la inseminación, razón por la cual el semen debe depositarse antes de que ocurra la ovulación.

Fecundación: La fecundación es el proceso biológico mediante el cual el espermatozoide se fusiona con el ovocito para formar el cigoto, dando origen a un nuevo individuo. En los bovinos este proceso ocurre normalmente en la ampolla del oviducto, donde los espermatozoides previamente capacitados atraviesan las envolturas del ovocito hasta fusionarse con su membrana plasmática. Como resultado de esta unión se restablece el número diploide de cromosomas y se inicia el desarrollo embrionario.

Después de la fecundación, el cigoto comienza una serie de divisiones celulares conocidas como segmentación mientras continúa desplazándose lentamente hacia el útero. Aproximadamente entre cinco y siete días después de la fecundación, el embrión alcanza el útero en estado de blastocisto, iniciando posteriormente el proceso de implantación sobre el endometrio. Durante este periodo el cuerpo lúteo mantiene una

elevada producción de progesterona para garantizar un ambiente uterino favorable para el desarrollo embrionario.

2.4.4. Inseminación Artificial en bovinos

La inseminación artificial (IA) constituye una de las biotecnologías reproductivas de mayor impacto en la producción pecuaria moderna, debido a que permite mejorar el potencial genético del ganado mediante la utilización de semen proveniente de reproductores previamente seleccionados por sus características productivas, reproductivas y sanitarias. A diferencia de la monta natural, esta técnica consiste en depositar el semen en el tracto reproductor de la hembra utilizando instrumentos especializados, sin necesidad del contacto directo entre el toro y la vaca. Gracias a ello, la inseminación artificial ha contribuido significativamente al incremento de la productividad de los sistemas ganaderos en todo el mundo, favoreciendo la obtención de animales con mejores características para la producción de leche, carne y doble propósito (Hafez & Hafez, 2013).

El desarrollo de esta biotecnología ha transformado la reproducción bovina al permitir el uso masivo del material genético de toros sobresalientes, acelerando considerablemente los programas de mejoramiento genético. Además de incrementar la eficiencia reproductiva, la inseminación artificial reduce la propagación de enfermedades venéreas, disminuye los costos asociados al mantenimiento de toros reproductores y facilita el intercambio internacional de material genético. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011), la aplicación adecuada de biotecnologías reproductivas constituye una estrategia fundamental para mejorar la productividad pecuaria y fortalecer la seguridad alimentaria, especialmente en países donde la ganadería representa una actividad económica de gran importancia.

En la actualidad, la inseminación artificial forma parte de los programas de reproducción implementados tanto en explotaciones intensivas como extensivas. Su éxito depende de diversos factores, entre ellos la correcta detección del celo, la calidad del semen, la adecuada conservación de las pajillas, la habilidad del inseminador y el estado sanitario de la hembra. Por ello, la formación de estudiantes y técnicos agropecuarios debe combinar conocimientos teóricos con el desarrollo de habilidades prácticas que les permitan ejecutar correctamente el procedimiento. En este contexto, el

simulador anatómico bovino propuesto en el presente proyecto representa una herramienta de innovación tecnológica que facilita el aprendizaje práctico sin comprometer el bienestar de animales vivos.

La inseminación artificial posee antecedentes que se remontan al siglo XVIII. El primer experimento documentado fue realizado por el científico italiano Lazzaro Spallanzani, quien en 1784 logró obtener una gestación exitosa en una perra mediante la introducción artificial de semen. Este acontecimiento marcó el inicio del desarrollo de las biotecnologías reproductivas y demostró que la fecundación podía lograrse sin la necesidad de la monta natural. Posteriormente, durante los siglos XIX y XX, diversos investigadores perfeccionaron la técnica hasta adaptarla a especies de interés pecuario como bovinos, porcinos, ovinos y equinos.

El verdadero impulso de la inseminación artificial en bovinos ocurrió durante la primera mitad del siglo XX, cuando comenzaron a establecerse centros especializados para la recolección, evaluación y distribución de semen. El descubrimiento de los métodos de criopreservación mediante nitrógeno líquido permitió almacenar pajillas durante largos periodos sin afectar significativamente la viabilidad espermática. Este avance revolucionó la ganadería mundial, ya que hizo posible transportar semen a grandes distancias y utilizar repetidamente el material genético de toros de alto mérito genético en diferentes regiones del mundo.

Actualmente, la inseminación artificial continúa evolucionando gracias a la incorporación de nuevas tecnologías como la inseminación artificial a tiempo fijo, la transferencia de embriones, la fertilización in vitro y el uso de sistemas automatizados para la detección del celo.

2.4.5. Materiales y equipos utilizados en la inseminación artificial

La inseminación artificial bovina requiere la utilización de materiales y equipos especializados que permitan conservar la calidad del semen y realizar el procedimiento de forma eficiente, higiénica y segura. Cada implemento cumple una función específica dentro del proceso, desde el almacenamiento del material genético hasta su deposición en el cuerpo del útero. La correcta selección, mantenimiento y utilización de estos equipos influye directamente en la tasa de concepción y constituye uno de los pilares de las Buenas Prácticas Pecuarias (BPP). Según la **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2011)**, la calidad del procedimiento de

inseminación depende no solo de la habilidad del operador, sino también del adecuado manejo del semen y del uso correcto de los equipos destinados a su conservación y aplicación.

En los programas de capacitación agropecuaria, el conocimiento de cada uno de estos materiales resulta indispensable antes de realizar prácticas sobre animales vivos.

Asimismo, el uso adecuado de los materiales contribuye a reducir pérdidas económicas ocasionadas por errores técnicos, contaminación del semen o lesiones en el aparato reproductor de la vaca. Un procedimiento correctamente ejecutado incrementa las probabilidades de fecundación y favorece la eficiencia de los programas de mejoramiento genético.

2.4.5.1. Tanque criogénico para nitrógeno líquido

El termo criogénico constituye uno de los equipos más importantes dentro de los programas de inseminación artificial, ya que permite almacenar las pajillas de semen en nitrógeno líquido a una temperatura aproximada de −196 °C. Esta condición criogénica mantiene el metabolismo celular prácticamente detenido, conservando la viabilidad de los espermatozoides durante varios años sin afectar significativamente su capacidad fecundante. Los termos están fabricados con doble pared de aluminio o acero inoxidable y poseen aislamiento al vacío para minimizar la evaporación del nitrógeno.

El manejo del termo requiere cuidados especiales debido a la extrema sensibilidad del semen frente a cambios bruscos de temperatura. Cada vez que se extrae una pajilla, debe evitarse elevar excesivamente las canastillas por encima del cuello del termo, ya que el contacto con temperaturas ambientales puede provocar daños irreversibles en la membrana espermática. Por ello, los inseminadores deben trabajar con rapidez y organización para minimizar la exposición del semen al ambiente.

2.4.5.2. Pajillas de semen

Las pajillas son pequeños tubos de plástico diseñados para almacenar dosis individuales de semen previamente diluido y congelado. Generalmente poseen una capacidad de 0,25 o 0,50 mililitros, suficiente para contener millones de espermatozoides viables destinados a una inseminación. Cada pajilla se encuentra debidamente identificada mediante códigos que indican el nombre o número del toro, raza, centro de inseminación y fecha de procesamiento.

2.4.5.3. Pistola de inseminación

La pistola inseminadora constituye el instrumento encargado de transportar la pajilla hasta el interior del aparato reproductor femenino. Generalmente está fabricada en acero inoxidable y presenta un diseño alargado que facilita su introducción a través de la vagina hasta alcanzar el cuerpo del útero. En uno de sus extremos posee un émbolo que permite expulsar lentamente el semen cuando el operador ha alcanzado la posición anatómica correcta.

2.4.5.4. Fundas sanitarias

Las fundas sanitarias son cubiertas plásticas desechables que recubren completamente la pistola de inseminación. Su función principal consiste en evitar la contaminación del semen durante el recorrido por la vagina y reducir el riesgo de introducir microorganismos patógenos dentro del aparato reproductor de la vaca. Después de cada inseminación, la funda debe desecharse inmediatamente para impedir la transmisión de enfermedades entre animales.

2.4.5.5. Guantes obstétricos y lubricantes

Los guantes obstétricos son guantes largos de polietileno o látex que cubren completamente el brazo del inseminador. Se utilizan para realizar la palpación rectal del animal y manipular el cérvix durante la inseminación artificial. Estos guantes deben ser estériles, resistentes y de un solo uso, ya que constituyen una barrera física que protege tanto al operador como al animal frente a posibles contaminaciones.

Junto con los guantes se emplean lubricantes obstétricos de base acuosa, cuya función consiste en disminuir la fricción durante la introducción del brazo por vía rectal y facilitar el desplazamiento del instrumento inseminador dentro de la vagina. El lubricante utilizado debe ser compatible con la viabilidad espermática, ya que algunos productos pueden afectar la movilidad de los espermatozoides cuando entran en contacto directo con el semen.

2.4.5.6. Corta pajillas y pinza de extracción

El corta pajillas es un pequeño instrumento diseñado para realizar un corte limpio y perpendicular en el extremo sellado de la pajilla antes de introducirla en la pistola inseminadora. Un corte irregular puede provocar fugas de semen o impedir un correcto acoplamiento con la funda sanitaria, afectando la eficiencia del procedimiento.

Por otro lado, la pinza de extracción permite retirar las pajillas del termo criogénico sin necesidad de manipularlas directamente con las manos. Esto disminuye el riesgo de calentamiento accidental y facilita una manipulación rápida y segura del material genético.

2.4.6. Conservación y manejo del semen bovino

La conservación del semen bovino constituye una etapa crítica dentro de los programas de inseminación artificial, debido a que la viabilidad y capacidad fecundante de los espermatozoides dependen directamente del mantenimiento de condiciones adecuadas de almacenamiento y manipulación. Desde la recolección del semen hasta su deposición en el aparato reproductor de la hembra, cada procedimiento debe ejecutarse siguiendo protocolos estandarizados que garanticen la supervivencia celular y reduzcan al mínimo los factores que puedan afectar la calidad seminal, la criopreservación del semen ha revolucionado el mejoramiento genético bovino, al permitir conservar el material genético durante largos periodos sin comprometer significativamente su capacidad fecundante.

En la actualidad, la criopreservación del semen mediante nitrógeno líquido constituye el método más utilizado a nivel mundial para almacenar dosis seminales destinadas a programas de inseminación artificial. Este procedimiento permite conservar espermatozoides viables durante varios años, facilitando el intercambio de material genético entre regiones e incluso entre diferentes países. Gracias a esta tecnología, un toro con alto mérito genético puede contribuir al mejoramiento de miles de animales, optimizando la productividad de los sistemas pecuarios y fortaleciendo la sostenibilidad de la ganadería.

2.4.6.1. Obtención y procesamiento del semen

El semen utilizado en programas de inseminación artificial es obtenido de toros previamente seleccionados por sus características genéticas, productivas y sanitarias. Antes de ser incorporados a un centro de reproducción, los reproductores son sometidos a rigurosas evaluaciones clínicas, andrológicas y sanitarias con el propósito de garantizar que el material seminal se encuentre libre de enfermedades transmisibles y posea una elevada capacidad fecundante. Esta selección constituye la base de los programas de mejoramiento genético y permite asegurar la calidad de las dosis seminales distribuidas a los productores.

La recolección del semen generalmente se realiza mediante el uso de una vagina artificial, dispositivo que simula las condiciones fisiológicas de la monta natural en cuanto a temperatura, presión y lubricación. Una vez obtenido el eyaculado, este es trasladado inmediatamente al laboratorio para su evaluación, donde se analizan parámetros como volumen, color, concentración espermática, motilidad progresiva, morfología y porcentaje de espermatozoides vivos. Solamente las muestras que cumplen con los estándares de calidad continúan el proceso de dilución y congelación.

Posteriormente, el semen es mezclado con diluyentes especiales que contienen fuentes de energía, sustancias amortiguadoras, antibióticos y agentes crioprotectores, como el glicerol. Estos componentes permiten proteger las células espermáticas frente a los daños ocasionados por la congelación y favorecen la conservación de su capacidad fecundante. Finalmente, el semen es envasado en pajillas identificadas individualmente y preparado para el proceso de criopreservación.

2.4.6.2. Criopreservación del semen

La criopreservación consiste en conservar el semen a temperaturas extremadamente bajas mediante el uso de nitrógeno líquido a aproximadamente 196 °C. A esta temperatura, el metabolismo celular prácticamente se detiene, permitiendo mantener la viabilidad de los espermatozoides durante largos periodos. Este procedimiento representa uno de los avances más importantes en la reproducción animal, ya que posibilita almacenar y transportar material genético de alto valor sin necesidad de mantener físicamente al reproductor.

El proceso de congelación debe realizarse de forma gradual y controlada para evitar la formación de cristales de hielo dentro de las células espermáticas, los cuales podrían romper las membranas celulares y disminuir la fertilidad del semen. Para minimizar estos daños se emplean crioprotectores, principalmente glicerol, que reducen la cantidad de agua libre en el interior de los espermatozoides y aumentan su resistencia a las bajas temperaturas.

Una vez congeladas, las pajillas son almacenadas en termos criogénicos con nitrógeno líquido, donde permanecen organizadas en canastillas y goblets perfectamente identificados. Este sistema facilita su localización y reduce el tiempo de exposición durante la extracción, aspecto fundamental para preservar la calidad seminal.

2.4.6.3. Descongelación del semen

La descongelación constituye una de las etapas más delicadas del procedimiento de inseminación artificial. Una vez retirada la pajilla del termo criogénico, debe descongelarse inmediatamente en agua limpia a una temperatura aproximada de 35 a 37 °C durante 30 a 45 segundos, siguiendo las recomendaciones del centro de procesamiento del semen. Este procedimiento permite recuperar progresivamente la actividad metabólica de los espermatozoides y minimizar los daños ocasionados por el cambio de temperatura.

Después de la descongelación, la pajilla debe secarse cuidadosamente con papel absorbente limpio antes de ser introducida en la pistola inseminadora. La presencia de agua sobre la superficie de la pajilla puede favorecer la contaminación del instrumental o alterar la correcta colocación de la funda sanitaria. Una vez cargada la pistola, el procedimiento de inseminación debe realizarse lo más rápidamente posible para evitar el deterioro de la calidad seminal.

2.4.7. Detección de celo en bovinos

La detección del celo constituye uno de los factores más importantes para el éxito de los programas de inseminación artificial en bovinos. La identificación precisa del momento en que la vaca presenta receptividad sexual permite programar la inseminación dentro del periodo de máxima fertilidad, incrementando significativamente las probabilidades de fecundación. Aunque actualmente existen tecnologías que facilitan la identificación del estro, la observación directa del comportamiento animal continúa siendo el método más utilizado en explotaciones ganaderas de pequeña y mediana escala.

La manifestación del celo está acompañada por una serie de cambios conductuales y fisiológicos que facilitan su identificación. Algunos signos son altamente confiables, mientras que otros únicamente sirven como indicadores complementarios.

Signo primario: El signo primario del celo consiste en que la vaca permanece quieta y permite ser montada por otros animales. Este comportamiento representa el indicador más seguro para decidir el momento de la inseminación artificial y es considerado el criterio de mayor valor diagnóstico en reproducción bovina.

Signos secundarios: Además del signo principal, existen numerosas manifestaciones secundarias que ayudan a identificar el estro:

- ✓ inquietud y aumento de la actividad física;
- ✓ disminución del consumo de alimento;
- ✓ vocalizaciones frecuentes;
- ✓ olfateo constante de otros animales;
- ✓ intento de montar otras vacas;
- ✓ vulva enrojecida e inflamada;
- ✓ presencia de abundante moco transparente y elástico;
- ✓ cola levantada con mayor frecuencia;
- ✓ disminución temporal de la producción de leche;
- ✓ suciedad en la región lumbar como consecuencia de haber sido montada.

Aunque estos signos son útiles, ninguno de ellos por sí solo confirma que la vaca se encuentre en celo. Deben interpretarse conjuntamente con el comportamiento de aceptación de la monta y con el conocimiento del historial reproductivo del animal.

2.4.8. Procedimiento técnico de la inseminación artificial.

El procedimiento inicia con la detección del celo, identificando signos como inquietud, monta entre animales y presencia de moco vaginal. Luego se realiza la preparación del material, asegurando la pistola de inseminación, guantes, fundas y condiciones de higiene adecuadas.

Un paso fundamental es la descongelación del semen, que consiste en retirar la pajilla del termo de nitrógeno líquido y sumergirla inmediatamente en agua tibia a 35–37 °C durante 30 a 45 segundos. Posteriormente se seca, se corta el extremo sellado y se carga en la pistola de inseminación, evitando que el semen permanezca mucho tiempo expuesto al ambiente.

Después se realiza la sujeción e higiene del animal, limpiando la zona perineal para evitar infecciones. Finalmente, el técnico introduce la mano por el recto para guiar la pistola a través del cérvix y depositar el semen en el cuerpo del útero, asegurando una correcta aplicación. Tras el procedimiento, se registran los datos del servicio y se monitorea a la hembra para evaluar la preñez.

2.4.9. Bioseguridad durante la inseminación artificial

La bioseguridad comprende el conjunto de medidas destinadas a prevenir la introducción y propagación de enfermedades dentro de una explotación pecuaria. Durante la inseminación artificial, estas medidas adquieren especial relevancia debido al contacto directo con el aparato reproductor de la hembra y a la manipulación de material biológico altamente sensible.

Entre las principales medidas de bioseguridad se encuentra el uso obligatorio de guantes obstétricos desechables, fundas sanitarias para la pistola inseminadora, lubricantes estériles y material limpio. Además, el equipo utilizado debe mantenerse desinfectado antes y después de cada procedimiento, evitando la transmisión de microorganismos entre animales.

La Organización Mundial de Sanidad Animal indica que la implementación de protocolos de bioseguridad constituye una herramienta esencial para prevenir enfermedades reproductivas y mantener elevados niveles de productividad en los sistemas pecuarios. Asimismo, recomienda que todo procedimiento reproductivo sea realizado por personal adecuadamente capacitado y utilizando equipos previamente higienizados.

Las Buenas Prácticas Pecuarias establecen la necesidad de mantener registros actualizados de todas las actividades reproductivas realizadas en la explotación ganadera. Estos registros incluyen la identificación de la vaca, fecha del celo, fecha de inseminación, identificación del toro donador, número de la pajilla, inseminador responsable, diagnóstico de gestación y observaciones sanitarias.

La información obtenida permite evaluar la eficiencia reproductiva del hato mediante indicadores como porcentaje de concepción, intervalo entre partos, días abiertos y tasa de servicios por concepción. Además, facilita la identificación temprana de problemas reproductivos y mejora la planificación de los programas de mejoramiento genético.

2.4.10. Simuladores anatómicos como estrategia de enseñanza

La simulación educativa ha demostrado ser una metodología altamente efectiva para desarrollar habilidades prácticas en disciplinas relacionadas con las ciencias de la salud y la producción animal. A diferencia de los métodos tradicionales, donde el estudiante aprende directamente sobre animales vivos, la simulación permite adquirir

experiencia previa sin generar riesgos para el bienestar animal ni comprometer la seguridad del aprendiz.

Uno de los principales beneficios de la simulación consiste en la posibilidad de repetir indefinidamente un procedimiento hasta dominar la técnica. Durante este proceso el estudiante identifica sus errores, recibe retroalimentación inmediata y mejora progresivamente su desempeño. Este aprendizaje basado en la práctica favorece la consolidación de la memoria motora y aumenta la confianza antes de realizar procedimientos reales.

La incorporación de tecnologías educativas basadas en simulación también responde a los principios del aprendizaje activo y del aprendizaje basado en competencias, donde el estudiante deja de ser un receptor pasivo de información para convertirse en protagonista de su propia formación. En este contexto, el simulador anatómico bovino propuesto en el presente proyecto constituye una herramienta innovadora orientada a mejorar el aprendizaje de la técnica de inseminación artificial mediante experiencias prácticas seguras, repetibles y alineadas con los principios del bienestar animal.

III EJECUCION DEL PROYECTO

3.1 Actividades de Inicio.

Se identificó que los estudiantes de Producción Agropecuaria presentan dificultades para adquirir destrezas en la técnica de inseminación artificial debido al acceso limitado a animales vivos y al riesgo de cometer errores durante las prácticas. Además, el uso continuo de bovinos genera estrés en los animales y mayores costos para la institución.

Como actividades previas, el equipo realizó una revisión bibliográfica sobre la anatomía reproductiva bovina, analizó simuladores existentes, elaboró el diseño inicial del prototipo y seleccionó materiales de bajo costo para su construcción. También se definieron los componentes electrónicos necesarios para el sistema de retroalimentación.

3.2 Metodología utilizada.

Se utilizó una metodología de investigación aplicada con enfoque de diseño y construcción de prototipos. Primero se elaboró el diseño del simulador anatómico, luego

se seleccionaron los materiales y componentes electrónicos. Posteriormente se realizó el ensamblaje del prototipo, la instalación de sensores e indicadores luminosos y, finalmente, se efectuaron pruebas de funcionamiento para verificar su eficacia antes de su utilización en las prácticas académicas.

3.3 Actividades de Desarrollo de la innovación

3.1.1 Diseño y construcción de la innovación

Como primera etapa se elaboró el diseño del simulador anatómico bovino, tomando como referencia la anatomía del aparato reproductor de la vaca y el procedimiento de inseminación artificial. Se realizó un boceto del modelo para definir las dimensiones, ubicación de la cavidad uterina y el recorrido que seguiría la pistola de inseminación.

Posteriormente, se seleccionaron materiales reciclables y de bajo costo, como cartón, napa, silicona caliente , tubos de PVC, tecnopor y telas , con el propósito de construir una estructura resistente y lo más semejante posible a la anatomía bovina. Además, se incorporaron componentes electrónicos, entre ellos botones de presión, cableado, luces LED y una fuente de alimentación, los cuales permiten brindar retroalimentación inmediata al estudiante cuando realiza correcta o incorrectamente el procedimiento.

Una vez obtenidos los materiales, se procedió al ensamblaje del prototipo, se cortaron tubos de PVC que representan el cuello uterino y el cérvix bovino, en los cuales se realizaron perforaciones para instalar botones sensores conectados y soldados a focos LED y portapilas, asegurando el aislamiento del sistema eléctrico.

Posteriormente, estos tubos se unieron con silicona caliente, se recubrieron con yeso y se fijaron en un bloque de tecnopor acondicionado, el cual se introdujo dentro de una maqueta de cartón que simula la parte posterior del bovino.

Para el acabado, el interior de la estructura se revistió con napa y el exterior se cubrió con tela negra y manchas blancas para representar la raza Holstein; finalmente, se incorporó un elástico que simula el ano para permitir la palpación rectal, complementado con indicadores luminosos rojos para señalar errores y uno verde para confirmar el éxito de la práctica.

3.1.2 Pruebas Realizadas.

Para evaluar la efectividad del simulador se realizaron pruebas prácticas con estudiantes del Programa de Estudios de Producción Agropecuaria. Durante las prácticas, los participantes ejecutaron el procedimiento de inseminación artificial utilizando el prototipo.

Se verificó que los botones y sensores respondieran correctamente al paso del instrumento, registrando los aciertos y errores durante la práctica. Asimismo, se evaluó la resistencia del simulador, la facilidad de uso y el nivel de realismo de la anatomía representada.

Los resultados demostraron que el simulador permite reforzar el aprendizaje práctico, mejorar la precisión en la manipulación del instrumental y brindar retroalimentación inmediata sin poner en riesgo el bienestar de animales reales.

3.1.3 Impactos

- ✓ **Impacto Educativo:** Reduce de forma considerable la curva de aprendizaje y permite una evaluación objetiva del desempeño estudiantil. Gracias a la integración de indicadores luminosos, tanto el docente como el alumno pueden evidenciar en tiempo real los aciertos y errores durante la práctica.
- ✓ **Viabilidad Económica y Sostenibilidad:** Al ser diseñado y construido con materiales reciclados y de bajo costo, el proyecto demandó un presupuesto estimado de solo S/ 50.00. Esto lo consolida como una alternativa altamente accesible, rentable y reutilizable para las instituciones de enseñanza agropecuaria.
- ✓ **Bienestar Animal:** Esta innovación tecnológica contribuye directamente al respeto y cuidado animal. Al desplazar las etapas iniciales de capacitación hacia un entorno simulado, se minimiza el estrés y el uso de bovinos reales, reduciendo drásticamente el riesgo de malas praxis que puedan comprometer la salud reproductiva del ganado.
- ✓ **Valor Institucional:** El proyecto promueve la vanguardia y la innovación educativa mediante la fusión de componentes electrónicos básicos y el reciclaje creativo. De este modo, la institución adopta herramientas que favorecen un aprendizaje dinámico, objetivo y alineado con los objetivos de desarrollo sostenible para las futuras generaciones.

CONCLUSIONES

- El simulador anatómico bovino mejoró el aprendizaje práctico de la inseminación artificial en un entorno seguro.
- La implementación de sensores e indicadores luminosos permitió identificar aciertos y errores durante las prácticas.
- El uso de materiales reciclados y económicos redujo los costos de construcción y favoreció la sostenibilidad del proyecto.
- La propuesta contribuye al bienestar animal al disminuir el uso de bovinos vivos durante el proceso de formación.

RECOMENDACIONES

- Implementar el simulador en las prácticas de los estudiantes de Producción Agropecuaria.
- Realizar mantenimiento periódico al sistema eléctrico y a los sensores.
- Incorporar nuevas mejoras tecnológicas para aumentar el realismo del simulador.
- Replicar el proyecto en otras instituciones que impartan formación en inseminación artificial.

ANEXOS

ANEXO 01

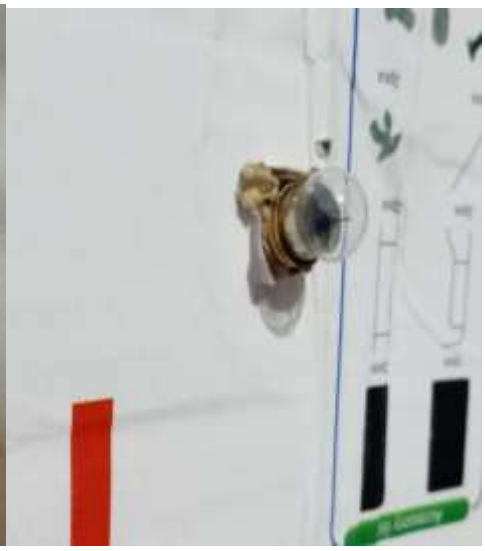
Proceso de construcción del simulador anatómico













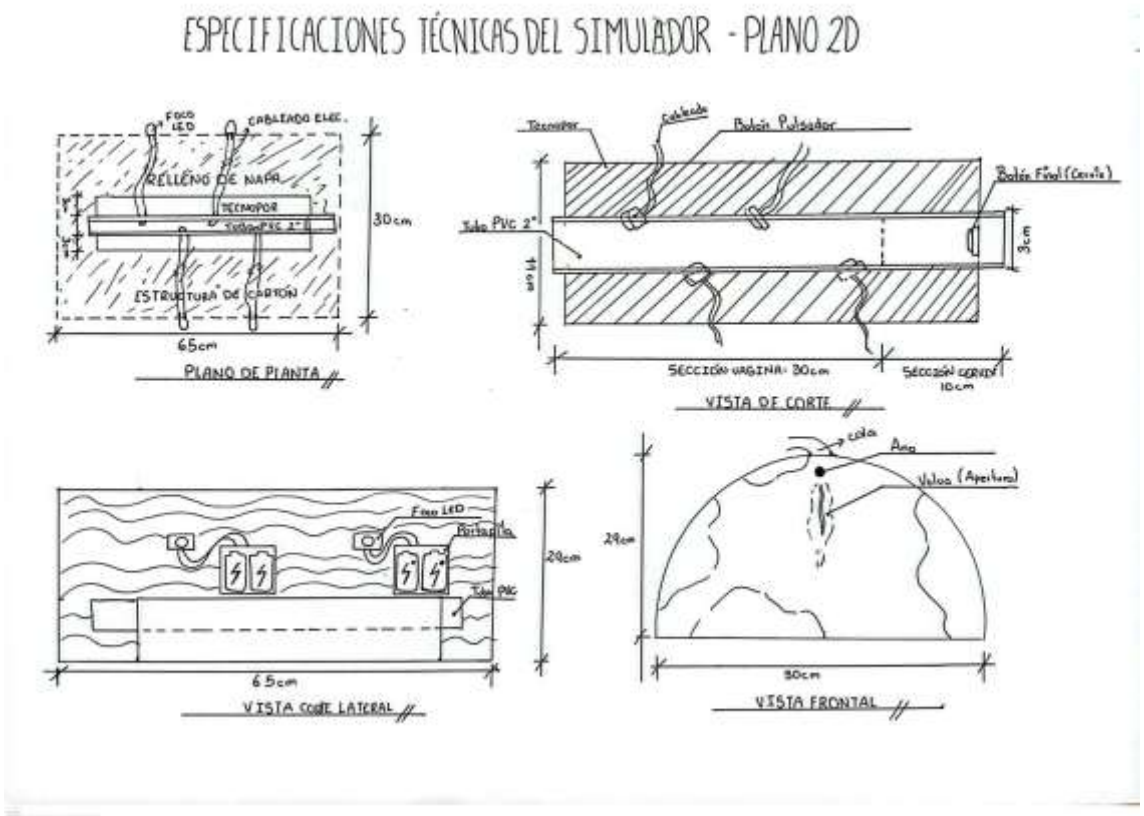
ANEXO 02

Prototipo final del simulador



ANEXO 03

Boceto y diseño del simulador



ANEXO 04

Presupuesto de materiales y componentes

MATERIAL	CATEGORÍA	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	TOTAL (S/.)
Tubo de PVC	Estructura anatómica	1	Unid	0 (reciclado)	0.00
Botones pulsadores	Sistema electrónico	5	Unid	2.00	10.00
Focos LED Rojo y verde	Sistema electrónico	5	Unid	2.00	10.00
Cables eléctricos	Sistema electrónico	4	Metros	1.00	4.00
Estaño y pasta para soldar	Sistema electrónico	1	Global	0 (Aporte propio)	0.00
Porta pilas	Sistema electrónico	5	Unid	2.00	10.00
Pilas	Sistema electrónico	3	Paq	2.50	7.50
Silicona caliente	Ensamblaje	3	Unid	0.00 (Aporte propio)	0.00
Yeso	Estructura anatómica	1	Kg	1.50	1.50
Bloque de tecnopor	Soporte base	1	Unid	0 (reciclado)	0.00
Plancha de cartón	Estructura externa	1	Unid	0 (reciclado)	0.00
Napa	Acabado o relleno	2	Kg	0 (Aporte propio)	0.00
Tela Negra	Acabado	2	Metro	3.00	6.00
Tela Blanca	Acabado	1	Metro	0 (Aporte propio)	0.00
Elástico	Mecanismo práctico	1/2	Metro	1.00	1.00
Cinta aislante negra	Sistema electrónico	1	Unid	0 (Aporte propio)	0.00
Cinta adhesiva	Ensamblaje	1	Unid	0 (Aporte propio)	0.00
TOTAL					50.00