

Reproducción de la vaca

Manual didáctico sobre la reproducción,
la gestación, la lactancia y el bienestar
de la hembra bovina

Yasser Lenis Sanín



Reproducción de la vaca

Manual didáctico sobre la reproducción,
la gestación, la lactancia y el bienestar
de la hembra bovina

Coordinador y autor principal: Yasser Lenis Sanín

Autores:

Yasser Lenis Sanín

Lynda Jhailú Tamayo Arango

Nélida Rodríguez Osorio

Leonardo Duque Muñoz

José Ignacio Naranjo Nicholls

Diego Fernando Carrillo González

Mónica Duque Quintero

Juan Guillermo Maldonado Estrada

Ariel Marcel Tarazona Morales

Ficha de Catalogación: Corporación Universitaria Remington.

Lenis Sanín, Yasser.

Reproducción de la vaca. Manual didáctico sobre la reproducción, la gestación, la lactancia y el bienestar de la hembra bovina / Yasser Lenis Sanín – Medellín: Corporación Universitaria Remington, 2014.

186 p.; 28 cm.

ISBN: 978-958-58070-5-1

1. Reproducción bovina 2. Anatomía bovina 3. Fisiología bovina 4. Gestación bovina.

CDD-636.2

©Corporación Universitaria Remington

Coordinador de la publicación y autor principal:

Yasser Lenis Sanín

Colaboradores:

Yasser Lenis Sanín
Lynda Jhailú Tamayo Arango
Leonardo Duque Muñoz
Diego Fernando Carrillo González
Juan Guillermo Maldonado Estrada
Nélida Rodríguez Osorio
José Ignacio Naranjo Nicholls
Mónica Duque Quintero
Ariel Marcel Tarazona Morales

ISBN: 978-958-58070-5-1
Primera edición, junio de 2014

Instituciones patrocinadoras:

Corporación Universitaria Remington
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia

Presidente de la Sala General Organización Remington:

Jorge Eduardo Vásquez Posada

Miembros del Comité Editorial de la Corporación Universitaria Remington

Pedro Juan González Carvajal, rector
Andrés Mauricio Higuera Palacio, vicerrector académico
Margarita María Zapata Restrepo, directora general de investigación
Héctor Augusto Jiménez Arboleda, coordinador de publicaciones Dicur
Lina María Alvarado Pérez, directora de comunicaciones
Adriana Patricia Bustamante Fernández, jefe de biblioteca
César Augusto Muñoz Restrepo, corrector de estilo

Fotografía de la carátula: Agropecuaria Tres Coronas

Dirección de fotografía: Yasser Lenis Sanín

Creación de los juegos y aprende y personaje Nacho: Yasser Lenis Sanín

Diseño y diagramación: Iko Audiovisual

Ilustración: Iko Audiovisual - Alejandro Hoyos Taborda

Dirección Fondo Editorial Remington:

Corporación Universitaria Remington
Editora en Jefe: Margarita María Zapata Restrepo
E-mail: mzapata@remington.edu.co
Dirección: Calle 51 No 51-27, Edificio Remington
Telefax: (57) (4) 5111000. Medellín, Colombia
<http://corporacion.remington.edu.co/fondo-editorial/publicaciones>

Reconocimiento del Fondo Editorial Remington ante Colciencias:

Colciencias, mediante la Resolución No. 000094 de 2014, ha reconocido el Fondo Editorial Remington como una de las editoriales nacionales con capacidad para "gestionar, reconocer, producir, catalogar, y distribuir libros de investigación y libros de capítulos que sean resultado de investigación".

Depósito Legal:

Esta obra cumple con lo dispuesto por la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 1995 y la Ley 1379 de 2010, con el fin de "garantizar su conservación e incrementar la memoria cultural del país".

Notas legales:

"Las opiniones expresadas por el autor no constituyen ni comprometen la posición oficial o institucional de la Corporación Universitaria Remington".

"Está prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización de la Corporación Universitaria Remington, salvo las excepciones legales vigentes".

Índice

Listado de fotografías

Listado de figuras

Listado de tablas

Presentación

Palabras del coordinador y autor principal

Agradecimientos

Autores

¿Quién es Nacho?

Capítulo 1. Anatomía aplicada del aparato reproductor de la vaca

Ovarios

Oviducto

Útero

Cérvix

Vagina

Vulva

Vascularización y drenaje

Bibliografía

Juega y aprende

Capítulo 2. Fisiología del ciclo estral de la vaca

Endocrinología del ciclo estral

Dinámica folicular

Fases del ciclo estral 38

Estro 39

Metaestro 40

5 Diestro 41

6 Proestro 42

7 Etología del estro 42

Mecanismos de la luteólisis 44

9 ¿Cómo se da la ovulación? 45

Bibliografía 45

10 Juega y aprende 47

11 **Capítulo 3. Estructuras ováricas** 55

12 Folículos 57

14 Cuerpo lúteo 58

Cuerpo albicans 59

15 Ovarios en proestro 60

17 Ovarios en estro 61

Ovarios en metaestro 61

18 Ovarios en diestro 61

19 Ovarios en diferentes estadios de la dinámica folicular 62

20 Bibliografía 64

22 Juega y aprende 65

25 **Capítulo 4. Conceptos básicos de desarrollo embrionario en la vaca** 71

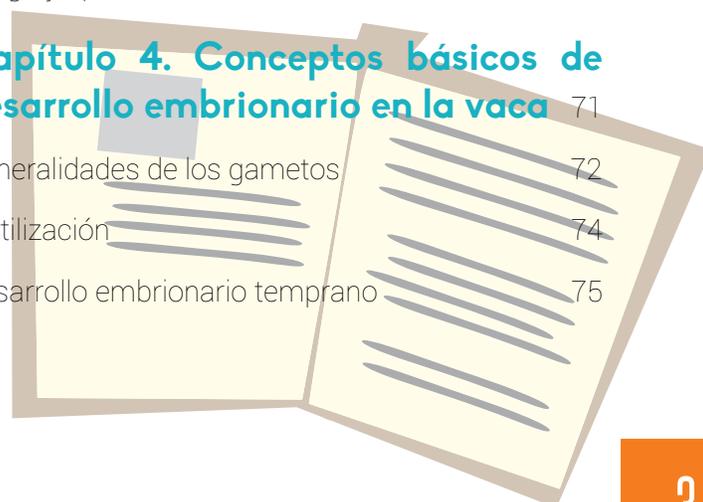
26 Generalidades de los gametos 72

27 Fertilización 74

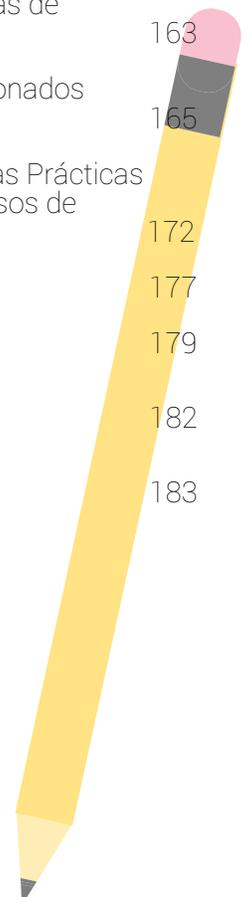
33 Desarrollo embrionario temprano 75

34

37



Reconocimiento materno embrionario	78	Lactogénesis	143
Gastrulación	80	Galactopoyesis	144
Formación de membranas extraembrionarias	81	Involución	145
Adhesión e implantación	82	Hormonas y su relación con la glándula mamaria	146
Placentación	83	Mecanismo fisiológico para la secreción de la leche	147
Clasificación de la placenta en la vaca	84	Reflejo liberador de prolactina	148
Organogénesis	86	Mecanismo de eyección de la leche	149
Bibliografía	90	Puerperio	150
Juega y aprende	91	Bibliografía	152
		Juega y aprende	153
Capítulo 5. Desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca	97	Capítulo 7. Bienestar animal y su relación con la reproducción en la vaca	159
Desarrollo fetal	98	Factores estresantes en los sistemas de producción	163
La gestación de la vaca	103	Factores de bienestar animal relacionados con la reproducción	165
¿Cómo podemos diagnosticar la gestación en la vaca?	105	Algunos componentes de las Buenas Prácticas Ganaderas importantes para procesos de certificación	172
Úteros bovinos en diferentes estadios de gestación	109	Bibliografía	177
Fisiología del parto	119	Juega y aprende	179
Bibliografía	123	Financian y apoyan	182
Juega y aprende	125	Almacén de pegatinas	183
Capítulo 6. Glándula mamaria, producción de leche y puerperio	131		
¿Qué es la glándula mamaria?	133		
Estructura de la glándula mamaria	133		
Fisiología de la glándula mamaria	140		
Mamogénesis	141		



Listado de fotografías

Capítulo 1

Fotografía 1. Estructuras del aparato reproductor de la hembra bovina	16
Fotografía 2. Oviducto	17
Fotografía 3. Localización de los ovarios	18
Fotografía 4. Carúnculas uterinas	18
Fotografía 5. Carúnculas en el endometrio de una hembra gestante	19
Fotografía 6. Unión de los cotiledones con las carúnculas formando los placentomas	19
Fotografía 7. Anillo caudal del cérvix	19
Fotografía 8. Vagina con corte transversal	20
Fotografía 9. Vista caudal del vestíbulo vaginal	21
Fotografía 10. Relación entre el recto y la vagina	21
Fotografía 11. Labios vulvares	22
Fotografía 12. Vista craneal de cuernos uterinos	23
Fotografía 13. Tracto reproductivo de una vaca <i>in situ</i>	24
Fotografía 14. Vista ventral de un útero inyectado con látex	25
Fotografía 15. Curso sinuoso de la arteria ovárica sobre la vena ovárica	25

Capítulo 2

Fotografía 1. Macho realizando la acción de flehmen	43
Fotografía 2. Comportamiento homosexual en las hembras bovinas	43

Capítulo 3

Fotografía 1. Ovario en etapa folicular	56
Fotografía 2. Ovario en etapa luteal	56
Fotografía 3. Sistema ligamentario del ovario	59

Fotografía 4. Ayuda topográfica para la ubicación de las estructuras en el ovario 60

Capítulo 4

Fotografía 1. Primeras divisiones embrionarias	76
Fotografía 2. Embriones en estado de blastocisto	77
Fotografía 3. Embrión en estado de blastocisto eclosionado	77
Fotografía 4. Gestación bovina aproximada de 35 días	82
Fotografía 5. Conformación de los placentomas	83
Fotografía 6. Placenta cotiledonaria	85
Fotografía 7. Gestación bovina aproximada de 35 días	87
Fotografía 8. Desarrollo embrionario en la vaca	88
Fotografía 9. Fetos bovinos en desarrollo	89

Capítulo 5

Fotografía 1. Fetos bovinos	99
Fotografía 2. Feto bovino con los ovarios de su madre	99
Fotografía 3. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza de aproximadamente 25 cm	100
Fotografía 4. Feto con características fenotípicas <i>Bos indicus</i> con una longitud alrededor de 20 cm	101
Fotografía 5. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza de aproximadamente 22 cm.	101
Fotografía 6. Vaca con una secreción vulvar de 22 días posinseminación	105
Fotografía 7. Médico veterinario realizando una palpación rectal en una hembra bovina	106
Fotografía 8. Útero de vaca en gestación	107
Fotografía 9. Uso de la ultrasonografía	108

Fotografía 10. Vaca en la etapa 1 de parto	119
Fotografía 11. Expulsión del feto	120
Fotografía 12. Expulsión de las membranas fetales	120

Capítulo 6

Fotografía 1. Glándula mamaria bovina	134
Fotografía 2. Cuartos traseros de un vaca	135
Fotografía 3. Ligamento suspensorio medio de la glándula mamaria	135
Fotografía 4. Vista dorsal de un corte sagital del cuarto posterior derecho de la glándula mamaria	138
Fotografía 5. Corte anatómico del pezón	138
Fotografía 6. Vacas recién paridas con sus crías	140
Fotografía 7. Embrión y feto bovino	141
Fotografía 8. Ternera de 10 días de nacida	141
Fotografía 9. Hembra bovina de 12 meses	142
Fotografía 10. Vaca en el último tercio de gestación	142
Fotografía 11. Vaca en el primer tercio de la lactancia	144
Fotografía 12. Hembra en período seco	145

Capítulo 7

Fotografía 1. Bovinos en condiciones potencialmente estresantes	161
Fotografía 2. Bovinos en ambientes estresantes con poca sombra	163
Fotografía 3. Condición corporal en hembras bovinas	164
Fotografía 4. Comportamiento filiativo en bovinos	165
Fotografía 5. Vacas en ambientes con suficiente oferta de forraje	166
Fotografía 6. Animal descansando bajo la	

sombra	168
Fotografía 7. Bovinos con una condición física saludable	171
Fotografía 8. Bovinos que evidencian su gregarismo	174

Listado de figuras

Capítulo 1

Figura 1. Representación de los recesos rectogenital y vesicogenital	22
--	----

Capítulo 2

Figura 1. Esquema del eje hipotálamo - hipófisis – ovario.	35
Figura 2. Dinámica de la FSH durante el ciclo estral de la vaca	36
Figura 3. Dinámica de la LH durante el ciclo estral de la vaca	36
Figura 4. Representación esquemática de la dinámica folicular del ciclo estral de la vaca	38
Figura 5. Dinámica de las principales hormonas involucradas en el ciclo estral de la vaca	39
Figura 6. Dinámica de los estrógenos durante el ciclo estral de la vaca	40
Figura 7. Dinámica de la progesterona durante el ciclo estral de la vaca	41
Figura 8. Representación de las estructuras ováricas que se encuentran en la etapa de proestro	40
Figura 9. Dinámica de la PGF _{2α} durante el ciclo estral de la vaca	44

Capítulo 3

Figura 1. Folículo primordial	57
Figura 2. Folículo primario	57
Figura 3. Folículo secundario	57
Figura 4. Folículo antral	58

Capítulo 4

Figura 1. Oocito maduro y sus partes	72
Figura 2. Diagrama de un espermatozoide	73
Figura 3. Desarrollo embrionario temprano	75
Figura 4. Mórulas o embriones de diferente número de blastómeras	76
Figura 5. Blastulación	77
Figura 6. Eclosión blastocisto	78
Figura 7. Efecto molecular del bINT- τ en las CEEP y en las CEES	79
Figura 8. Disco germinativo trilaminar	80
Figura 9. Placenta epiteliochorial y sindesmochorial	85

Capítulo 5

Figura 1. Esquema del sitio de presentación de cada una de las etapas, de la gestación en la vaca.	103
Figura 2. Mecanismos fisiológicos que desencadenan el parto	122

Capítulo 6

Figura 1. Esquema de los cuartos mamarios anteriores y posteriores	134
Figura 2. Componentes de la glándula mamaria	136
Figura 3. Esquema de alvéolos, ductos menores o lactíferos y células epiteliales mamarias.	137
Figura 4. Esquema de transporte biotransformación y secreción de la leche en la célula epitelial mamaria	148
Figura 5. Reflejos involucrados en la eyección de la leche	149
Figura 6. Esquema de la recuperación o involución uterina en el posparto	151

Capítulo 7

Figura 1. Efecto del estrés sobre el eje hipotálamo-hipófisis- glándula adrenal	162
---	-----

Listado de tablas

Capítulo 5

Tabla 1. Longitud céfalo caudal de fetos bovinos, relacionada con la edad aproximada en días.	100
Tabla 2. Otras medidas para calcular la edad del feto.	101

Capítulo 6

Tabla 1. Diferencias entre el calostro y la leche	143
Tabla 2. Hormonas asociadas a la glándula mamaria	146

Capítulo 7

Tabla 1. Indicadores de bienestar animal	176
--	-----



Presentación

Para un país con un poco más de 1.100.000 km², con cerca de 45 millones de habitantes y con una posición geográfica privilegiada para la producción de biomasa, lo cual le permitiría alimentar el ganado a base de pasturas durante todo el año, el tema de la ganadería debe ser un asunto de primer orden, cuando lo que se quiere es ser competitivo y por qué no, soberano en términos alimentarios.

A principio de los años sesenta, se hablaba del Blanco Orejinegro o BON y de los animales cebuinos como razas representativas en Colombia. Hoy casi cincuenta años después, el portafolio de razas ha aumentado, y el proceso de mejoramiento genético en nuestro país ha tenido avances significativos, obteniendo animales con una producción superior a las de sus padres; sin embargo el número de cabezas de ganado, sigue estando por debajo del estándar internacional.

En términos reales, la ganadería no es solo una actividad económica, sino un tipo de cultura que debe servir para mejorar el bienestar y la productividad de la actividad agropecuaria como un todo. En Colombia, consumimos menos carne en comparación con países de una menor área destinada a la ganadería; por lo anterior, el compromiso debe ser mayor para lograr producir no solamente carne en cantidad, sino también en calidad.

Para lograr potenciar el sector agropecuario, debemos poner los pies en la tierra, y reconocer que en el último decenio, su contribución al PIB nacional ha caído del 8.3% al 7.2%; y a nivel departamental, del 6.5% al 5.8%, de acuerdo con los estimados de PROANTIOQUIA. Es evidente que temas como la inseguridad en el campo y la tenencia o propiedad de la tierra, son asuntos que impactan, y de qué manera, esta actividad.

Es claro que el gran objetivo es el incremento de la productividad, lo cual implica el aumento en la generación de empleo, a partir de un mejoramiento genético que permita el crecimiento de la calidad y la cantidad de la población ganadera. Para el 2032, se espera pasar de 24 millones de cabezas de ganado, a 40.5 millones, de acuerdo con el Plan de Desarrollo Sectorial para el Sector Carne Bovina, y pasar de una tasa de natalidad del 53% al 65 %, datos ajustados teniendo en cuenta las olas invernales. Sin embargo, el anterior objetivo se alcanzará, aumentando la presencia no solo de entidades gubernamentales, sino también de jóvenes técnicos, tecnólogos y profesionales con vocación de campo, formados y concientes de las necesidades básicas para mejorar la ganadería de nuestro país.

En este sentido, es un verdadero motivo de satisfacción para la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y la Corporación Universitaria Remington, presentar a la comunidad en general, el libro: *Reproducción de la vaca. Manual didáctico sobre la reproducción, la gestación, la lactancia y el bienestar de la hembra bovina*, coordinado por el profesor Yasser Lenis Sanín, cuyo contenido y metodología abren una nueva perspectiva para la preparación de los nuevos técnicos, tecnólogos y profesionales que tendrán a su cargo la transformación integral del sector bovino.

El desarrollo del contenido se realiza a través de siete capítulos, donde inicialmente se parte del estudio de la: "Anatomía aplicada del aparato reproductor de la vaca", continúa con la "Fisiología del ciclo estral de la vaca", desarrolla el tema de las "Estructuras ováricas", y establece los "Conceptos básicos del desarrollo embrionario de la vaca"; posteriormente, se le da una mirada al "Desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca", se profundiza en el tema de la "Glándula mamaria, producción de leche y puerperio", y finalmente, termina con el análisis de los factores que influyen en el "Bienestar animal", tendientes a favorecer o no, la reproducción de la vaca; todo esto se presenta de una manera amable, detallada y con abundancia de material gráfico.

Cada capítulo se inicia con una bienvenida, que ubica al lector en relación con los objetivos por alcanzar. Seguidamente, se realiza en forma ordenada el desarrollo del contenido temático. Adicionalmente, se motiva al lector con respecto a una serie de datos e interrogantes relacionados con el tema, gracias a la presencia de una sección llamada: "Sabías qué...". Cada capítulo finaliza con una actividad lúdica, que pretende recoger y validar los conceptos desarrollados en este, alrededor de estrategias de "Juega y aprende", donde aparecen ejercicios para completar, colorear, argumentar y pegar.

Este texto es una herramienta, que debidamente empleada, permitirá potenciar, como todos lo queremos y como el país lo requiere, el sector ganadero.

Pedro Juan González Carvajal
Rector de la Corporación Universitaria Remington

Palabras del coordinador de la publicación

Alguna vez imaginé, que aprender puede ser divertido

Las ciencias básicas en las carreras profesionales, son los pilares para garantizar una formación académica sólida, para los egresados de distintas áreas. Sin embargo estas, también son asignaturas complejas para los estudiantes que recién se enfrentan con su nuevo reto de vida, convirtiéndose así en una causal que aumenta el porcentaje de deserción estudiantil.

Los docentes de las distintas universidades, tenemos un gran compromiso con la sociedad; además de formar profesionales en todo el sentido de la palabra, debemos garantizar que la metodología empleada para transmitir los conceptos, sea no solamente innovadora, sino que sirva para motivar a los educandos.

Este libro es un gran deseo cumplido, una nueva forma de motivar a los estudiantes sobre la reproducción en la vaca, que permite no solo darle un enorme protagonismo a las imágenes, sino también a la interacción de los aprendices con los conceptos aprendidos en cada capítulo.

Ignacio, o como le llaman sus amigos: "Nacho", es el reflejo de todo joven que soñó algún día con ser médico veterinario, algo que con esfuerzo, sacrificio y disciplina, logró. Dicho personaje, es el encargado de guiar este interesante viaje por el aparato reproductor de la hembra bovina.

El bienestar animal en los sistemas de producción, es un aspecto de suma importancia si lo que se quiere es ser más eficiente en la producción y la reproducción bovina. Por lo anterior, Nacho también enseña cómo, garantizando un adecuado bienestar de la hembra bovina, podemos mejorar su reproducción. Adicionalmente, y para darle mayor valor académico al contenido del libro, en cada capítulo hay, como invitados, uno o varios docentes especialistas con una amplia experiencia en la reproducción bovina, quienes realizan valiosos aportes y enriquecen los conceptos emitidos.

Es importante aclarar que los tractos reproductivos, los embriones y los fetos mostrados en las fotografías de este libro, provinieron de animales de abasto.

Bienvenidos a esta metodología, donde aprender haciendo será el mejor instrumento para fortalecer el conocimiento.

Yasser Lenis Sanín



Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios, a mi padre Ramón Guillermo Lenis Gil, a mi madre Fabiola Sanín Naranjo y a mis cuatro hermanos, por haber originado una familia, en donde el amor por los animales, fue una vigorosa inspiración para ser hoy el médico veterinario que algún día deseé.

Al doctor Luis Guillermo Palacio Baena, decano de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, quien siempre me apoyó para hacer realidad este proyecto.

Al doctor Ignacio Ramos Jaramillo, decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Corporación Universitaria Remington, quien día a día me dio fuerzas y argumentos para seguir adelante, a pesar de las múltiples adversidades; y a todos los profesores y entidades, que aceptaron esta invitación para hacer parte de este plan.

Quiero también agradecer, a la Agropecuaria Tres Coronas y al Departamento de Formación Académica de Haciendas de la Universidad de Antioquia, quienes facilitaron muy amablemente sus instalaciones para obtener muchas de las fotografías de este libro.

Por último agradecer al señor Luis Fernando Acevedo Ruíz, psicólogo y bibliotecario de la Universidad de Antioquia por su colaboración en el ajuste de todas las referencias del texto a las normas APA.

Yasser Lenis Sanín

Médico veterinario - zootecnista, especialista en reproducción bovina tropical y transferencia de embriones de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA); adicionalmente, también es especialista en ciencias básicas biomédicas de la Universidad de Antioquia, y magíster en ciencias animales de la misma universidad. En los últimos años, se ha desempeñado como docente investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia y en la Corporación Universitaria Remington, en áreas como: anatomía, fisiología, reproducción, y biotecnología animal.



Lynda Jhailú Tamayo Arango



Médica veterinaria de la Universidad de Antioquia, especialista en pequeñas especies animales de la misma universidad y magíster en cirugía veterinaria de la Universidad Estatal Paulista (UNESP-Brasil); también es doctora en ciencias animales, con énfasis en anatomía de la Universidad de São Paulo (USP-Brasil). Desde hace 10 años, se desempeña como docente e investigadora en el área de anatomía animal en la Universidad de Antioquia. Además, es docente de cátedra en la Maestría en Medicina Veterinaria de Pequeñas Especies Animales, de la Universidad CES.

Leonardo Duque Muñoz

Médico veterinario, egresado de la Universidad de Antioquia, magíster en ciencias animales de la misma universidad. Desde el 2007, ha sido docente en la Universidad de Antioquia en las cátedras de biotecnología de la reproducción, sistemas orgánicos y clínica de bovinos. Actualmente, es docente e investigador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en la Corporación Universitaria Remington.



Diego Fernando Carrillo González



Médico veterinario – zootecnista, egresado de la Universidad de los Llanos y magíster en ciencias - biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. En los últimos años se ha dedicado a la docencia y a la investigación en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia en áreas como: anatomía, fisiología, y biotecnología de la reproducción animal.

Juan Guillermo Maldonado Estrada



Médico veterinario - zootecnista, magíster en inmunología y doctorado en Ciencias. Desde 1995 se vinculó a la Universidad de Antioquia como docente y en la actualidad es profesor titular adscrito a la Escuela de Medicina Veterinaria (Facultad de Ciencias Agrarias). Su área de desempeño es la teriogenología, con énfasis en aspectos básicos y clínicos de la reproducción. Además de las actividades de docencia de pregrado y posgrado, investigación y extensión en reproducción e inmunología veterinaria, participa en proyectos de investigación del área de la inmunología de la reproducción.

Nélida Rodríguez Osorio

Médica veterinaria de la Universidad Nacional Agraria de Ucrania, realizó su proyecto de maestría en el Instituto Roslin (Edimburgo), y recibió el título de Maestra en Biotecnología de la Universidad Abertay-Dundee en Escocia. Realizó su doctorado en fisiología animal con énfasis en embriología molecular, en la Universidad Estatal de Mississippi, Estados Unidos. En la última década, se ha desempeñado como docente e investigadora de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en el área de biología del desarrollo, y biotecnología de la reproducción.



José Ignacio Naranjo Nicholls



Médico veterinario - zootecnista egresado de la Universidad CES. Se ha desempeñado como funcionario público en la Secretaría de Medio Ambiente del municipio de Sabaneta, y actualmente es docente catedrático de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en la asignatura de biotecnología animal. Tiene una amplia experiencia práctica en el manejo reproductivo de grandes especies (equinos y bovinos).

Mónica Duque Quintero

Zootecnista y especialista en nutrición animal de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Ciencias Animales y candidata a doctorado en ciencias animales de la Universidad de Antioquia en la línea de investigación: nutrición - fisiología de la lactancia y la reproducción. En los últimos años, se ha desempeñado como docente investigadora de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia.



Ariel Marcel Tarazona Morales



Zootecnista de la Universidad de Cundinamarca, magíster en ciencias básicas biomédicas de la Universidad de Antioquia, en la línea de fisiología y biotecnología de la reproducción. Es doctor en ciencias animales en el área de comportamiento y bienestar animal, de la misma universidad. Actualmente se desempeña como docente e investigador en la Universidad Nacional de Colombia, en estas áreas del conocimiento.

¿Quién es Nacho?

Mi nombre es Ignacio,
pero mis amigos me dicen
NACHO.

Soy médico veterinario, tengo 27 años y como tú, soy un apasionado por descubrir permanentemente el mundo de los animales, velar por su bienestar, y acercarme a sus instintos.

Mi cotidianidad transcurre entre vacas, entendiendo su morfología, atendiendo sus necesidades, y preservando las diferentes razas existentes.

Soy médico veterinario especializado en reproducción bovina, y por eso guiaré y acompañaré tu recorrido por este libro, para indicarte de forma ilustrativa, aspectos clave de su aparato reproductor; para que de esta forma, cuentes con herramientas suficientes para asistir de manera metodológica y práctica, diferentes procesos de la medicina veterinaria.

**Prepárate, porque compartiré contigo todos mis saberes sobre el maravilloso mundo de la reproducción bovina.
¡BIENVENIDO!**



Capítulo 1

Anatomía aplicada del aparato reproductor de la vaca

Autores:

Lynda Jhailú Tamayo Arango, MV, MSc, DSc¹

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc²



¹ Grupo de Investigación Biogénesis y Vericel. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51- 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

Capítulo 1

Anatomía aplicada del aparato reproductor de la vaca



Bienvenido al capítulo de anatomía reproductiva. Lo que vas a encontrar a continuación, es la descripción de los órganos reproductores de la vaca, tal y como los puedes encontrar en una hembra no gestante.

El aparato reproductor de la vaca está formado por las siguientes estructuras: **ovarios, oviducto, útero** (cuernos y cuerpo), **vagina, cérvix y vulva** (Fotografía 1).



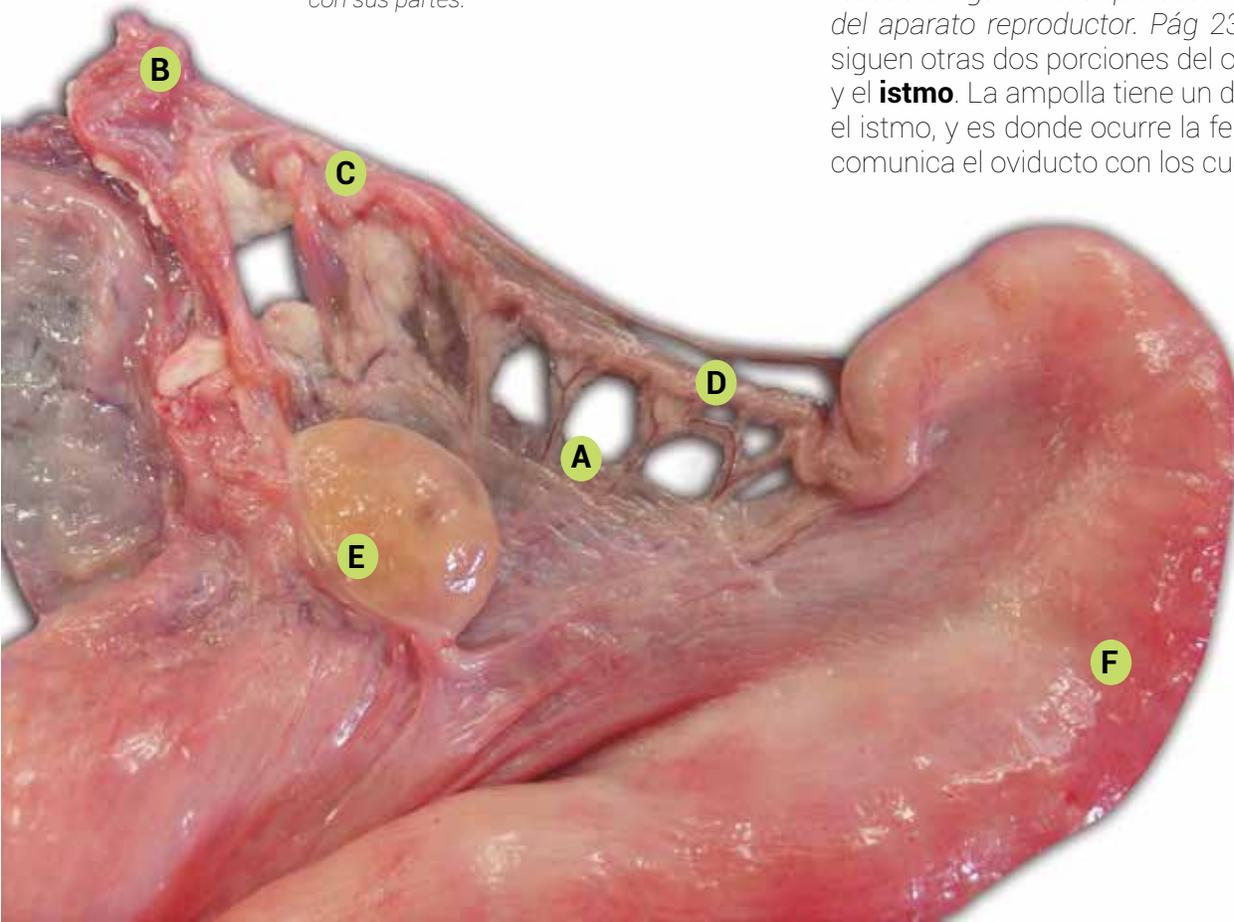
Fotografía 1. Estructuras del aparato reproductor de la hembra bovina.

El sistema reproductor de la vaca cambia de tamaño y posición por factores como la edad, la fase del ciclo estral, el número de partos, la raza y la gestación, entre otros. Este hecho debe tenerse muy en cuenta cuando se realiza palpación rectal de los órganos reproductores y es de gran ayuda para diagnosticar condiciones específicas como las fases del ciclo estral, la edad de la gestación y condiciones patológicas de la vaca vacía o gestante.

Ovarios

Los ovarios son las gónadas de la vaca, es decir, los órganos productores de gametos en la hembra, que además de producir hormonas que participan en la endocrinología del ciclo estral, son responsables de las manifestaciones fisiológicas en las fases del ciclo. Los ovarios de la vaca se localizan, generalmente, en la parte más caudal del abdomen cerca al reborde pélvico (pubis). En la mayoría de los casos, estos órganos poseen una forma ovoide; sin embargo, debido a los cambios cíclicos que sufren, su superficie es irregular, y su tamaño varía entre 1 y 10 cm de longitud.

Fotografía 2. Oviducto. Extendiendo el mesosálpinx, se observa el oviducto con sus partes.



Oviducto

El oviducto o trompa uterina, es una estructura tubular con un recorrido tortuoso, localizada entre la extremidad craneal de cada cuerno y los ovarios (ver más adelante), cuya función es transportar los oocitos hacia el útero y propiciar el sitio de encuentro entre los gametos (oocito y espermatozoide), para que ocurra la fertilización y la consecuente formación del cigoto. El oviducto consta de: **infundíbulo, ampolla e istmo** (Fotografía 2).

El **infundíbulo**, está ubicado en el extremo ovárico del oviducto, se extiende a lo largo del borde libre del mesosálpinx y es bastante amplio, de paredes delgadas y engloba la parte lateral del ovario (ver recuadro: *ligamentos que sostienen las estructuras del aparato reproductor. Pág 23*). Al infundíbulo le siguen otras dos porciones del oviducto: la **ampolla** y el **istmo**. La ampolla tiene un diámetro mayor que el istmo, y es donde ocurre la fertilización. El istmo, comunica el oviducto con los cuernos uterinos.

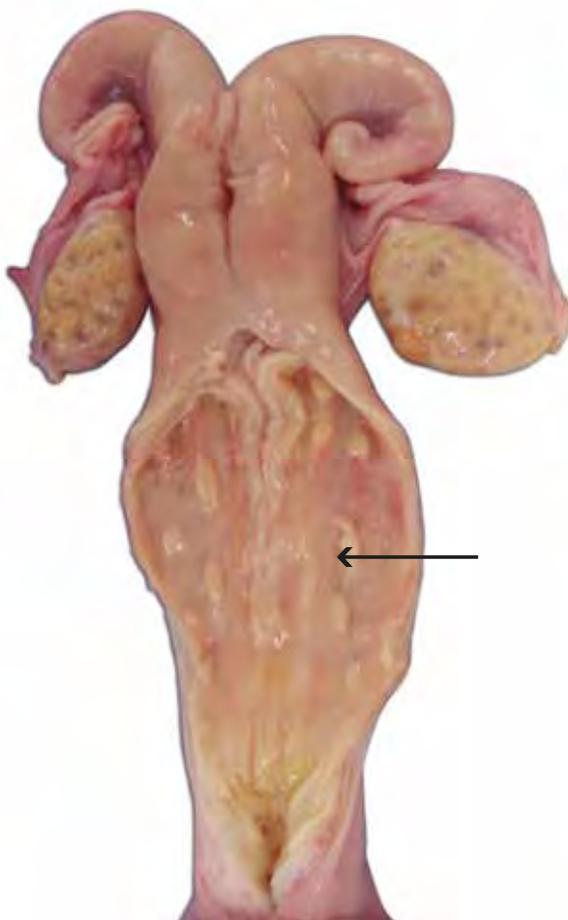
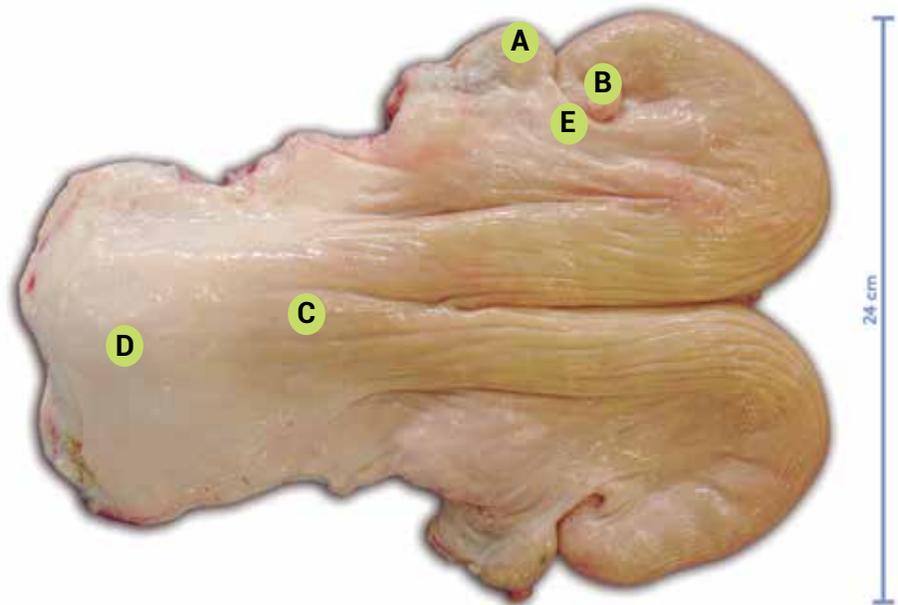
- (A) Mesosálpinx
- (B) Infundíbulo
- (C) Ampolla
- (D) Istmo
- (E) Ovario
- (F) Cuerno uterino

Útero

El útero está formado por un cuello, un cuerpo y dos cuernos divergentes. Los ovarios se encuentran hacia el extremo craneal de los cuernos; sin embargo, dado que los cuernos están enrollados en espiral sobre sí mismos ventralmente, los ovarios toman una ubicación caudal (*Fotografía 3*). El útero consta de una capa externa de tipo serosa o **perimetrio**, una capa muscular o **miometrio**, y una capa mucosa o **endometrio**; esta última, forma pliegues poco elevados, de disposición tanto longitudinal como circular.

Fotografía 3. Localización de los ovarios. Observa la localización de los ovarios con respecto a la extremidad craneal de los cuernos.

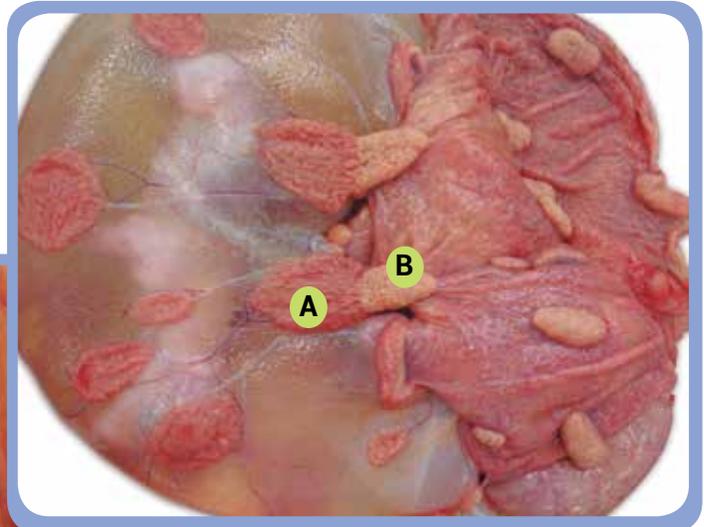
- (A) Ovarios
- (B) Extremidad craneal del cuerno
- (C) Cuerpo del útero
- (D) Cérvix
- (E) Ligamento propio del ovario



Además, la mucosa del endometrio presenta unas proyecciones circulares denominadas **carúnculas uterinas** (*Fotografía 4*), donde se fijan los **cotiledones** de las membranas fetales durante la gestación. Dicha unión forma las estructuras denominadas placentomas (*Fotografías 5 y 6*).

Fotografía 4. Carúnculas uterinas. Observa las carúnculas uterinas a nivel del endometrio del cuerpo del útero (flecha).

Fotografía 5. Carúnculas en el endometrio de una hembra gestante.



Fotografía 6. Unión de los cotiledones con las carúnculas formando los placentomas.

(A) Carúncula en el endometrio
(B) Cotiledones en membrana fetal

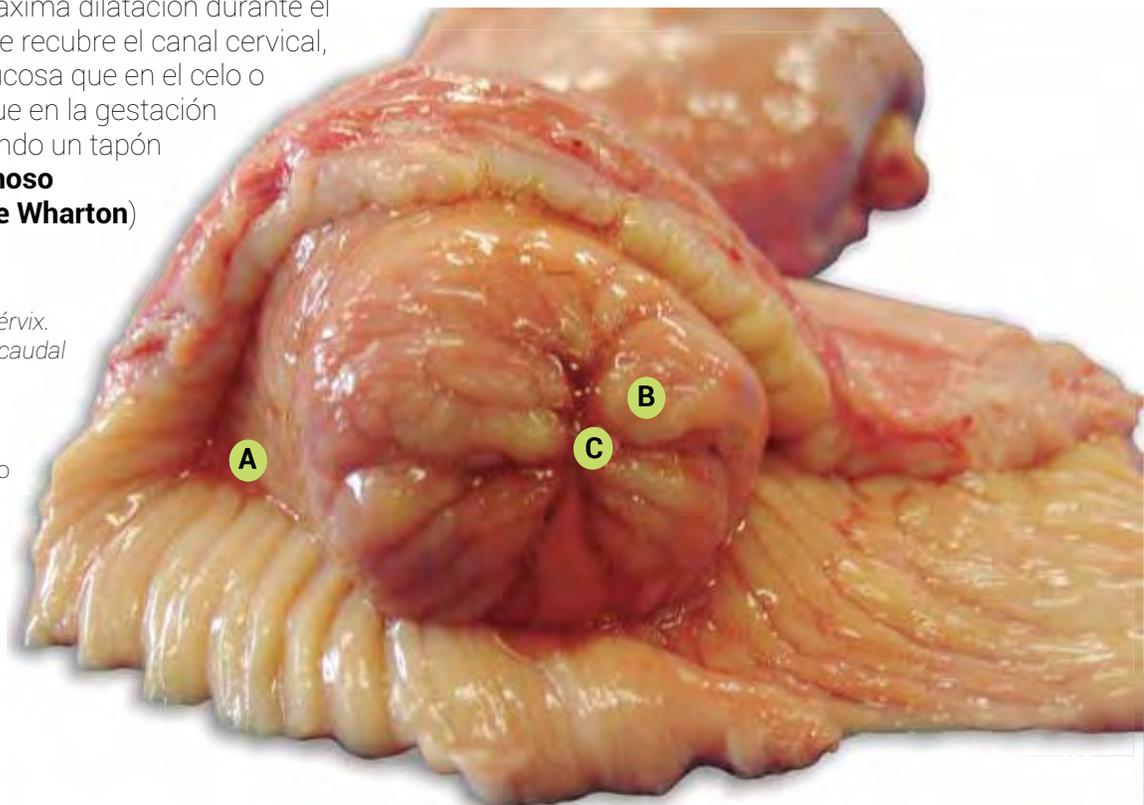
Cérvix

El **cérvix** o **cuello uterino**, corresponde a la parte más caudal del útero. Tiene de 8 a 10 cm de longitud, y comunica el cuerpo uterino con la vagina, a través del **canal cervical**. Hacia el cuerpo uterino, se ubica el extremo craneal del canal que desemboca en el **orificio uterino interno** y, hacia la vagina, el extremo caudal que desemboca en el **orificio uterino externo**. El cuello uterino presenta una consistencia firme a la palpación, debido a la presencia de tres o cuatro pliegues cartilagosos circulares irregulares ("anillos"), el último de los cuales se proyecta hacia la vagina. Dicha proyección, forma un saco ciego llamado **fórnix vaginal**, en el cual es depositado el semen al momento de la monta natural (Fotografía 7).

En condiciones normales, el grado de apertura del canal cervical dependerá del estado fisiológico del animal, presentando su máxima dilatación durante el parto. El epitelio interno que recubre el canal cervical, produce una secreción mucosa que en el celo o estro es fluida, mientras que en la gestación se hace más densa formando un tapón denominado **tapón gelatinoso** (llamado también **tapón de Wharton**) (Fotografía 7).

Fotografía 7. Anillo caudal del cérvix. Observa la proyección del anillo caudal del cuello uterino.

(A) Fórnix vaginal
(B) Anillo caudal del cuello uterino
(C) El orificio uterino externo está cerrado por el tapón gelatinoso, demostrando que es un útero de una hembra gestante.



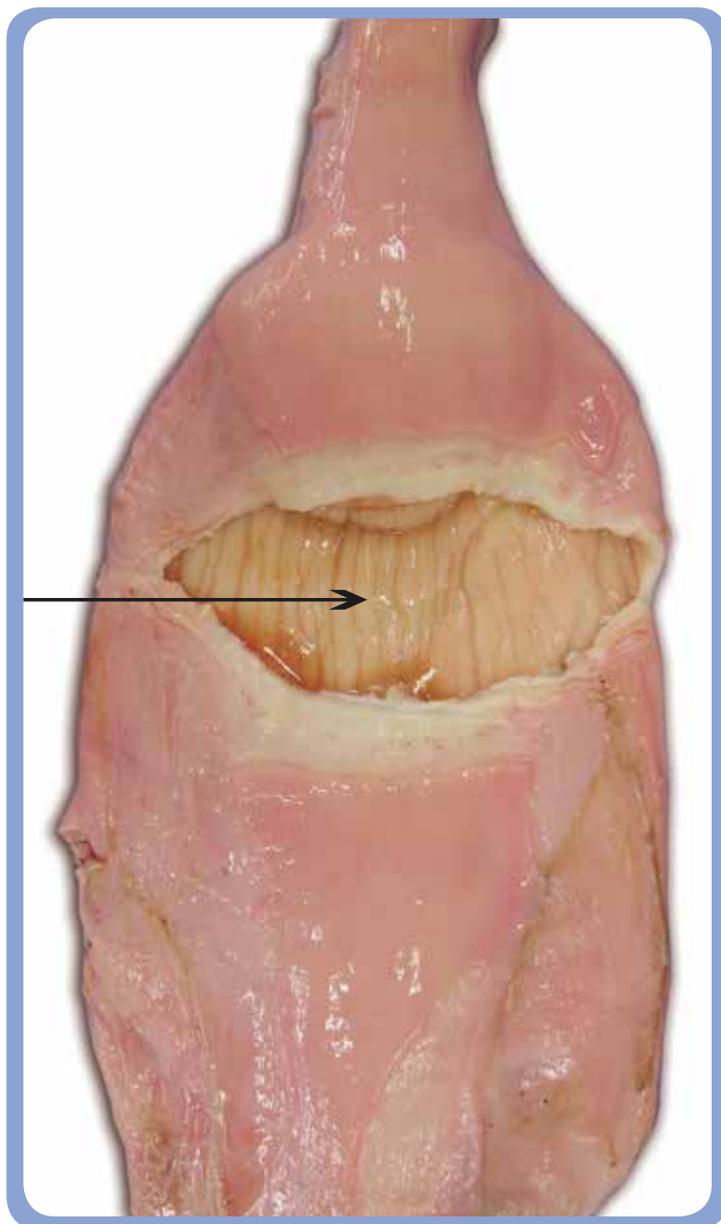


Sabías que...

Al realizar la inseminación artificial, la pistola de inseminación debe inclinarse 45 grados hacia el techo del vestibulo vaginal, para evitar introducirla por la uretra; además, si no tienes mucha experiencia en esta técnica, el semen puede quedar depositado en el fórnix y no en el útero como debe ser.

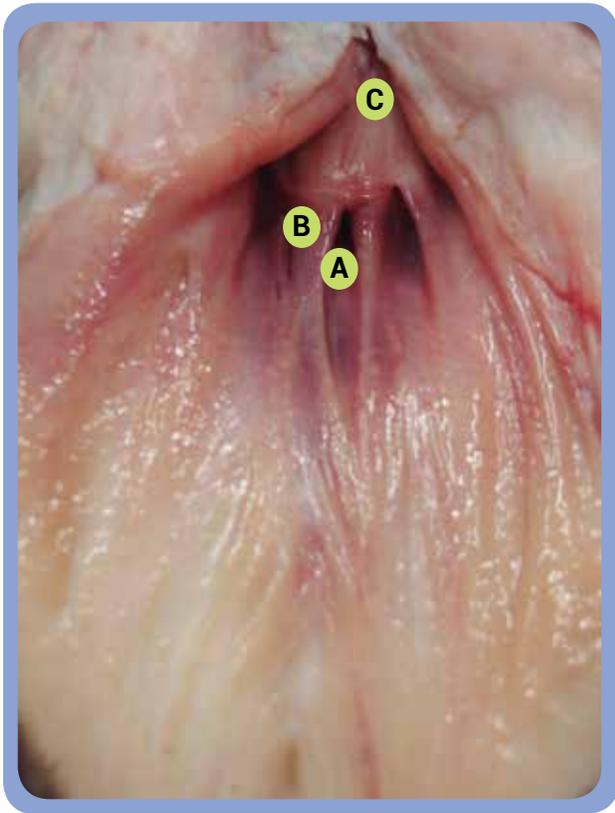
Vagina

La vagina es una estructura tubular fibroelástica con pliegues longitudinales internos, que al momento del apareamiento propicia el paso de los espermatozoides hacia el canal cervical; incluso, al momento del parto, permite la salida del feto gracias a su gran capacidad de expansión. Generalmente permanece cerrada, debido a la aproximación de sus paredes dorsal y ventral (*Fotografía 8*).



Fotografía 8. Vagina con corte transversal para mostrar los pliegues longitudinales (flecha).

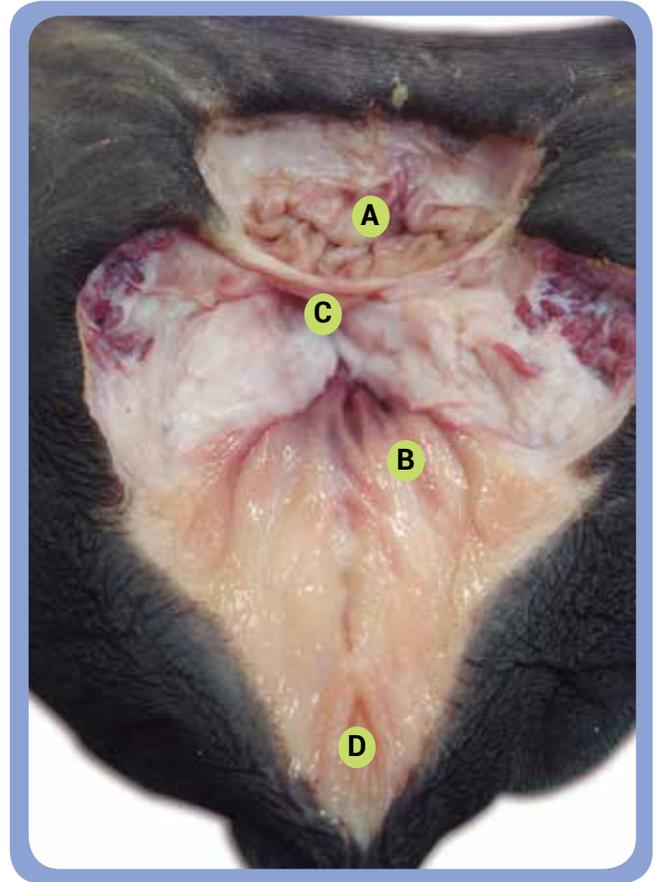
La parte más caudal de la vagina se denomina **vestíbulo vaginal** que está delimitado de la vagina propiamente dicha, por el **orificio uretral externo** (ubicado en posición ventral). En posición caudal al orificio uretral externo, se observan dos depresiones laterales correspondientes a la desembocadura del conducto de las **glándulas vestibulares mayores** (glándulas de Bartolini). En la vaca, existe un pequeño saco ciego en la parte ventral del orificio uretral llamado **divertículo suburetral** (Fotografía 9).



Fotografía 9. Vista caudal del vestíbulo vaginal.

- (A) Divertículo suburetral (caudal)
- (B) Desembocadura de las glándulas de Bartolini (caudal)
- (C) Orificio uretral externo (craneal)

En la superficie serosa dorsal de la vagina, la porción retroperitoneal se fija al recto, a través de una membrana de tejido conectivo y adiposo (**septo rectovaginal**) (Fotografía 10).



Fotografía 10. Relación entre el recto y la vagina. Observa la cercanía existente entre estas dos estructuras.

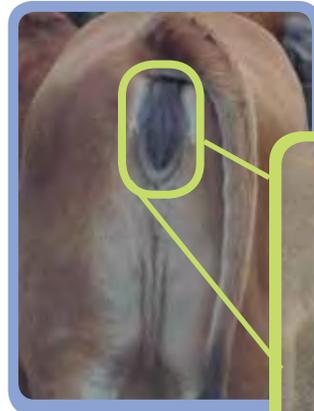
- (A) Recto (dorsal)
- (B) Vagina (ventral)
- (C) Septo rectovaginal
- (D) Fosa del clítoris

Vulva

La vulva está conformada por los labios vulvares, los cuales son pliegues cutáneos que se unen formando las comisuras dorsal y ventral, con un ángulo más demarcado en la comisura ventral (*Fotografía 11*). En esta, se encuentra la fosa donde se aloja el clítoris (**fosa del clítoris**) (*Fotografía 10*). La vulva cumple funciones como: paso de la orina hacia el exterior, entrada al pene durante la monta, y salida del feto durante el parto.

¿Por qué podemos palpar el aparato reproductor de una vaca por el recto?

Es importante tener en cuenta que la cavidad peritoneal se extiende hasta el nivel de la última vértebra sacra, o sea que la parte caudal de la vagina, no está recubierta por peritoneo. En esta zona, el peritoneo forma dos fondos de saco ciego: el **receso rectogenital** (entre el recto y la vagina), y el **receso vesicogenital** (entre la vagina y la uretra) (*Figura 1*). Esta condición permite el abordaje interno de los ovarios, que están intraperitoneales, a través del fórnix vaginal, para la realización de cirugías o procedimientos médicos.



Fotografía 11. Labios vulvares.

(A) Comisura dorsal
(B) Comisura ventral

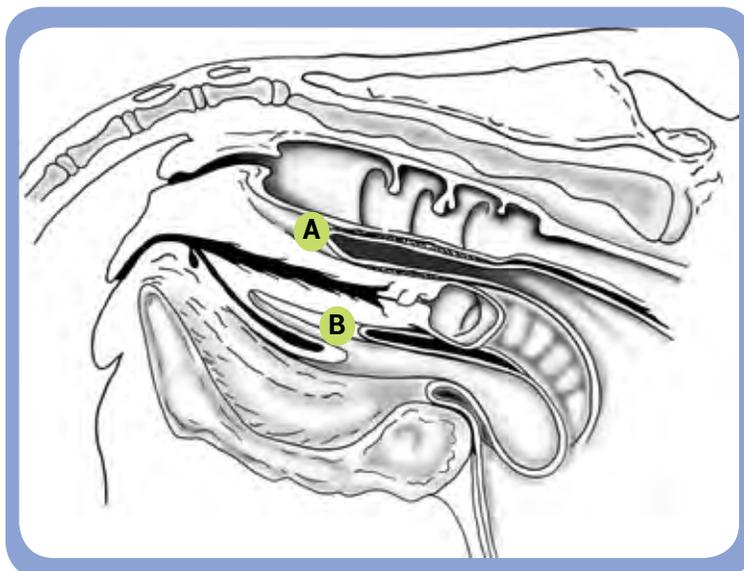


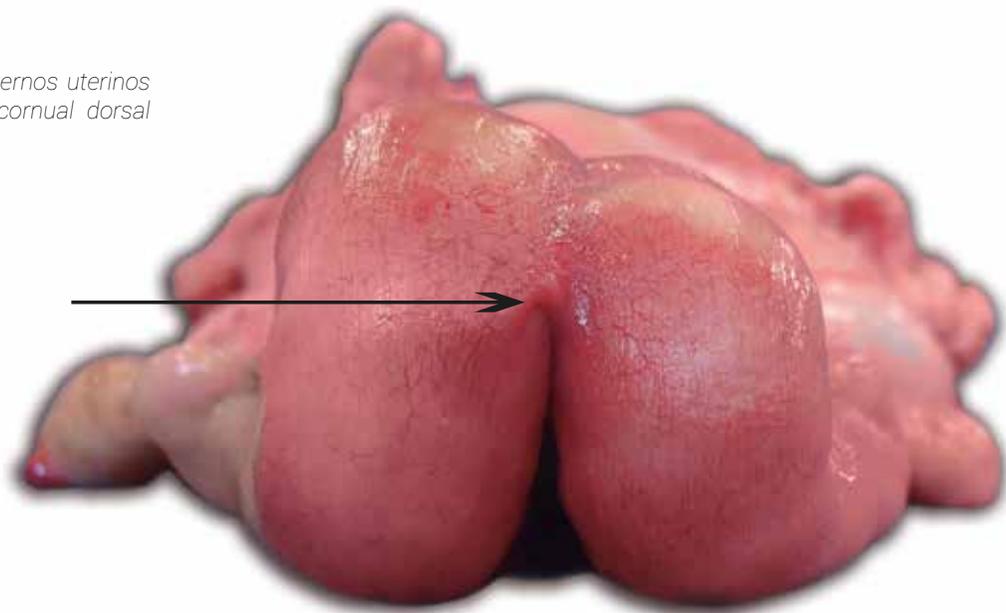
Figura 1. Representación de los recesos rectogenital y vesicogenital.

(A) Receso rectogenital
(B) Receso vesicogenital

Ligamentos que sostienen las estructuras del aparato reproductor

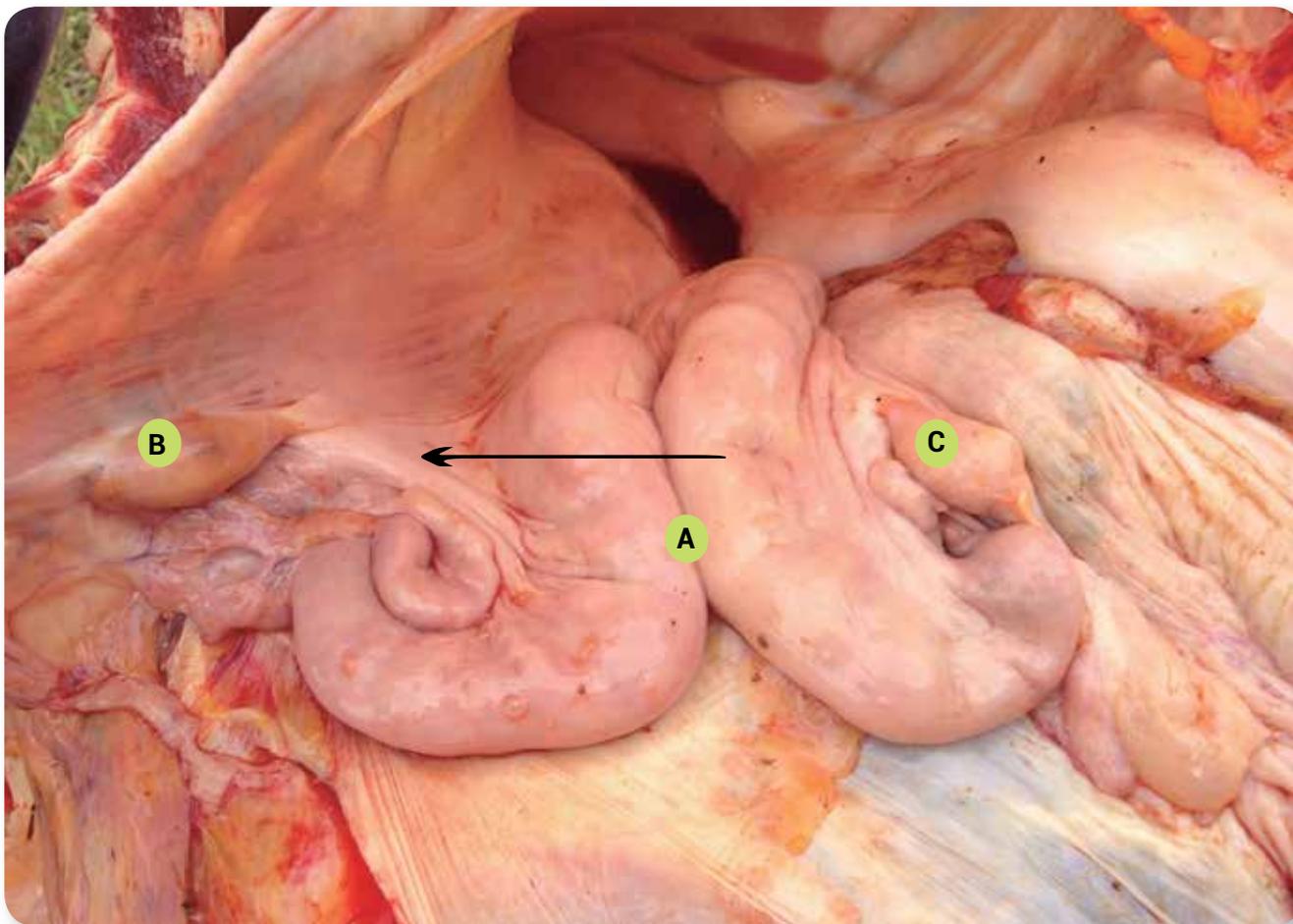
Tanto los ovarios como el útero, están unidos a la pared abdominal laterodorsal por el **ligamento ancho**. Este se fusiona con el **perimetrio** (membrana serosa que recubre el útero) en su parte lateral. Por lo tanto, el ligamento ancho está formado por dos membranas serosas superpuestas, entre las cuales hay abundante tejido adiposo y por donde corren los vasos sanguíneos uterinos y ováricos (Fotografía 13). A nivel del origen de los cuernos, el perimetrio forma los **ligamentos intercornuales dorsal y ventral**, entre los cuales se forma un pequeño receso, que puede ser usado en la palpación rectal para retraer el tracto reproductor hacia caudal, facilitando así la palpación de los ovarios (Fotografía 12).

Fotografía 12. Vista craneal de los cuernos uterinos donde se observa el ligamento intercornual dorsal (flecha).



Sabías que...

El mesovario y el mesosálpinx forman la bolsa ovárica, que cubre completamente el ovario cuando la vaca está ovulando, evitando que el oocito se pierda en la cavidad abdominal.



Fotografía 13. Tracto reproductivo de una vaca in situ. Observa las estructuras del tracto reproductivo de la hembra bovina en sentido craneocaudal.

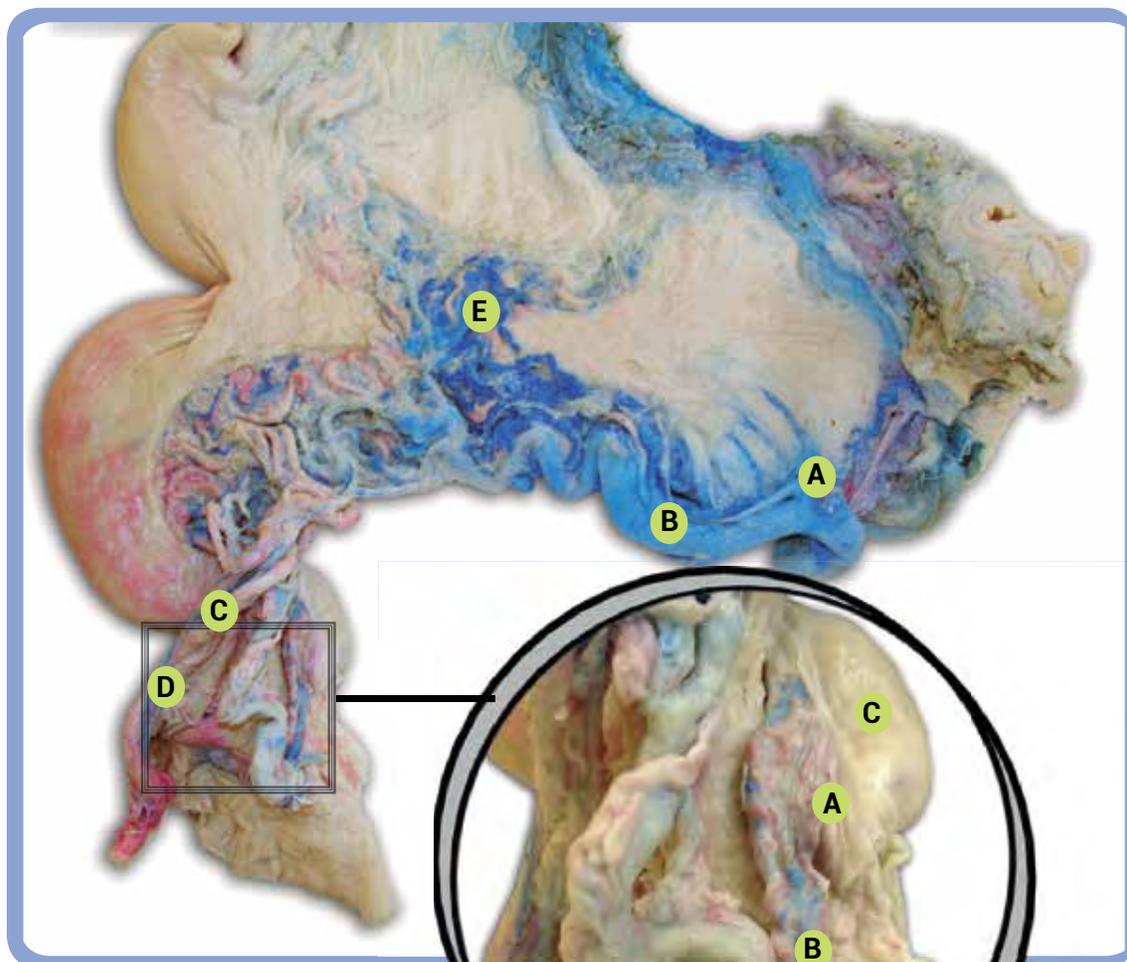
- (A) Útero
- (B) Ovario derecho
- (C) Ovario izquierdo
- (Flecha) Ligamento ancho del útero

La parte del ligamento ancho que sostiene el ovario es llamada **mesovario**, del cual se desprende una banda fibromuscular denominada **ligamento propio del ovario**, que va del polo caudal del **ovario** hasta el extremo craneal del cuerno uterino (Fotografía 3). El ligamento ancho posee un pliegue lateral que sostiene el oviducto, llamado **mesosálpinx** (Fotografía 2), y finalmente una porción más larga y visible que sostiene los cuernos y cuerpo del útero, llamada **mesometrio**.

Vascularización y drenaje

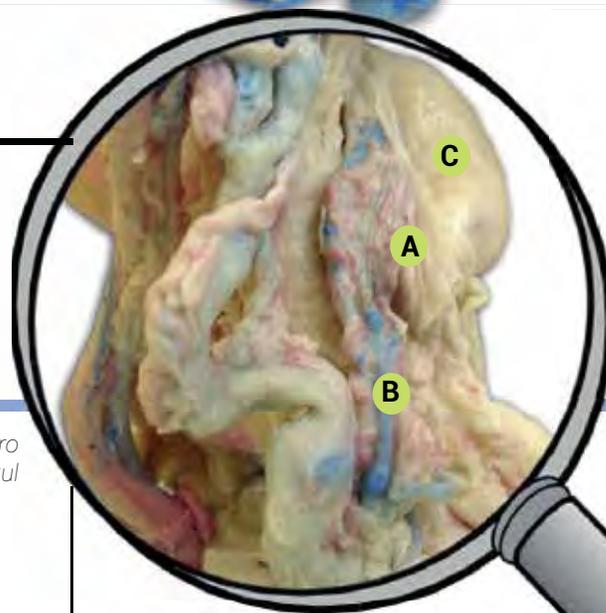
Las estructuras vasculares, linfáticas y nerviosas, llegan al sistema reproductor de la hembra bovina, a través del ligamento ancho. La **arteria ovárica** es una rama directa de la aorta, e irriga el ovario, el oviducto y la parte craneal del cuerno uterino (Fotografía 14). La **arteria ovárica** se anastomosa con la arteria uterina, rama de la arteria ilíaca interna, que viene de la parte caudal del cuerno, e irriga la mayor parte del útero. Existe además, otra anastomosis entre la arteria uterina y la **arteria vaginal**, también rama de la arteria ilíaca interna.

El drenaje es satelital, con la formación de un extenso **plexo venoso** en la parte ventral y lateral del tracto reproductor (Fotografías 14 y 15).



Fotografía 14. Vista ventral de un útero inyectado con látex rojo (arterias) y azul (venas).

- (A) Arteria uterina
- (B) Vena uterina
- (C) Arteria ovárica
- (D) Vena ovárica
- (E) Plexo venoso



Fotografía 15. Curso sinuoso de la arteria ovárica sobre la vena ovárica.

- (A) Arteria ovárica
- (B) Vena ovárica
- (C) Ovario

Bases anatómicas del mecanismo de contracorriente

La arteria ovárica presenta un curso sinuoso alrededor del plexo venoso que forma la vena ovárica, lo que permite un íntimo y prolongado contacto entre ambos vasos (*Fotografías 14 y 15*). Dado que la vena ovárica se anastomosa con la vena uterina, las prostaglandinas producidas en el útero pasan a la arteria ovárica, llevando estas sustancias al tejido ovárico.

Bibliografía

- Dyce, K.M., Sack, W.O., & Wensing, C.J.G. (2012). *Textbook of veterinary anatomy*. (4th ed.). Philadelphia, PA: Saunders.
- Fernández, M. (2009). *El ciclo estral de la vaca: diagnóstico fotográfico*. Zaragoza, España: Servet Diseño y Comunicaciones S.L.
- Leung, P.C.K., & Adashi, E.Y. (2004). *The Ovary*. (2nd ed.). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Schummer, A., Nickel, R., Seiferle, E., & Sack, W.O. (1979). *The viscera of the domestic mammals*. (2nd ed.). New York: Springer-Verlag.
- Senger, P.L. (2012). *Pathways to pregnancy and parturition*. (3rd ed.). Redmond, OR: Current Conceptions.
- Sisson, S., & Grossman, J.D. (2001). *Anatomía de los animales domésticos* (5ª ed). Tomo I. Barcelona, España: Masson.

Juega y aprende

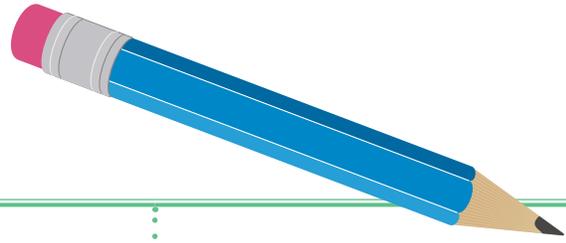
Para ser un buen médico veterinario, es necesario conocer la anatomía reproductiva en la hembra bovina. Realiza las siguientes actividades y demuestra lo mucho que aprendiste en este capítulo.



1. Identifica, pega y completa

Despega del almacén de pegatinas, cada una de las partes del aparato reproductivo que encontrarás a continuación y pégalas donde corresponda en el recuadro que dice: pegatina. Una vez termines, colócale a cada estructura su respectiva función, y mínimo dos características anatómicas.

Característica anatómica			
Función			
Pegatina			
Estructura	Ovarios	Oviductos	Útero



Vagina	Vulva

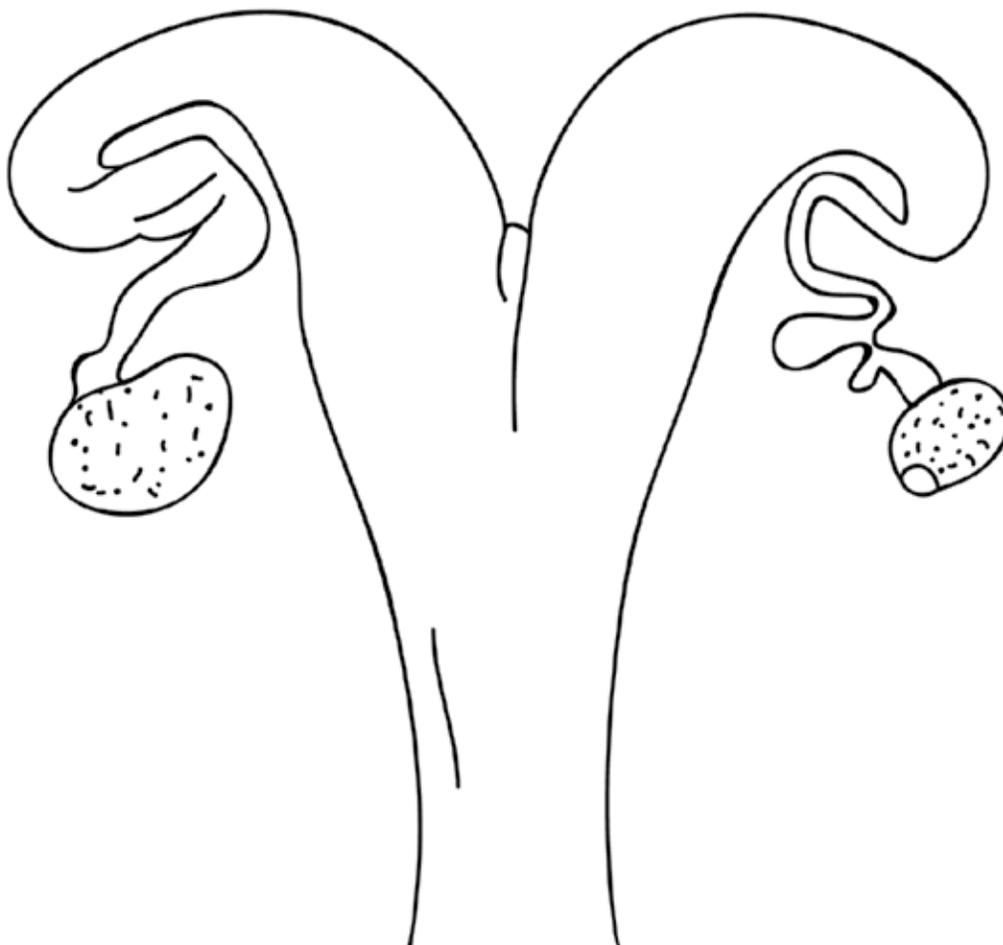
2. Identifica, pega y completa

Despega del almacén de pegatinas, cada una de las partes que sostienen el ligamento ancho y pégalas en la casilla que corresponda.

Parte del Ligamento Ancho	¿Qué sostiene?	Pegatina
Mesoovario		
Mesosálpinx		
Mesometrio		

3. Colorea y responde

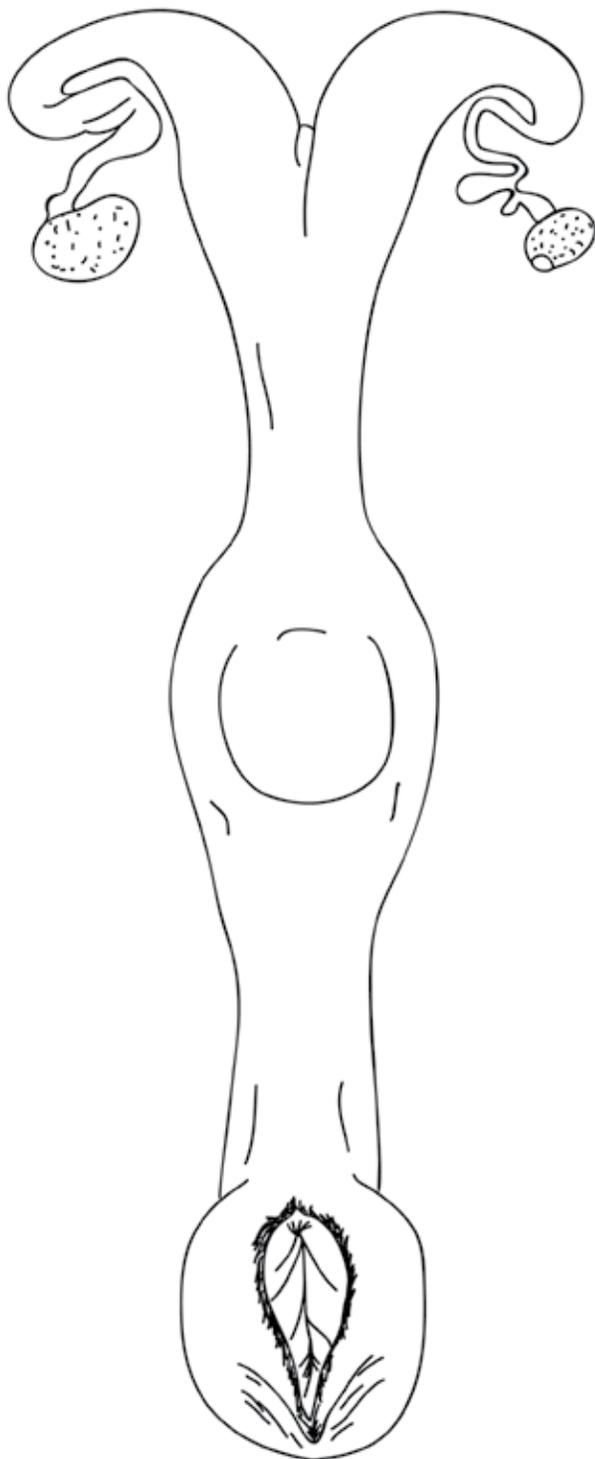
A continuación, encontrarás un segmento del aparato reproductor, donde debes colorear de color rosado ambos ovarios; adicionalmente, consulta qué es el cuerpo lúteo y píntalo de color amarillo; por último, investiga qué son los folículos y píntalos de color morado.



Consulta cuál es la principal hormona que se produce en el folículo y en el cuerpo lúteo. ¿Para qué sirve cada una de ellas?

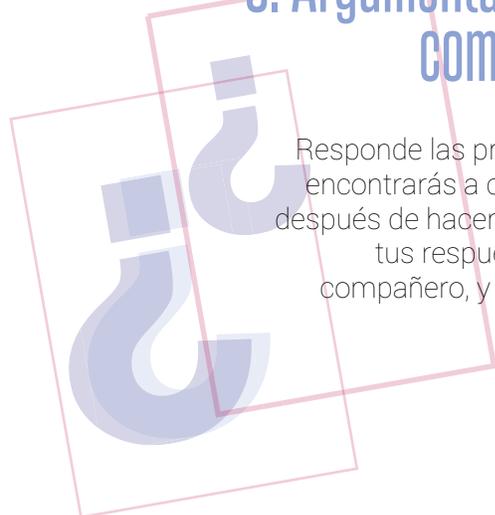
4. Colorea y acércate a la realidad

Colorea este aparato reproductor, y asígnale colores a cada estructura, para que sea lo más semejante al aparato reproductor de un animal vivo.



5. Argumenta con tus compañeros

Responde las preguntas que encontrarás a continuación; después de hacerlo, comparte tus respuestas con un compañero, y compáralas.



¿Cómo definirías el mecanismo de contracorriente en el aparato reproductor de la vaca?

¿Cuál es la importancia de este mecanismo?

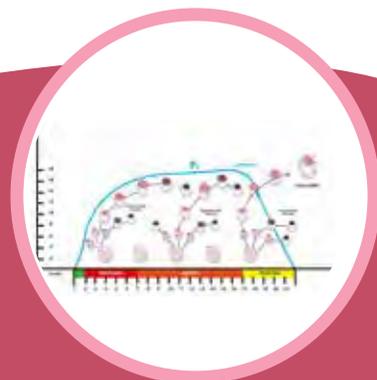
Capítulo 2

Fisiología del ciclo estral de la vaca

Autores:

Leonardo Duque Muñoz, MVZ, MSc¹

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc²



¹ Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51-27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51 - 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

Capítulo 2

Fisiología del ciclo estral de la vaca



Bienvenidos al capítulo sobre la fisiología del ciclo estral. A continuación, encontrarás la descripción de los principales eventos endocrinológicos en la reproducción en la vaca. Observaremos gráficas que nos mostrarán la dinámica de cada una de las hormonas relacionadas con el ciclo estral, y fotografías de momentos que he capturado, en las que algunas hembras presentan comportamientos reproductivos muy interesantes.

Endocrinología del ciclo estral

El sistema nervioso es el encargado de la regulación de las funciones reproductivas en la vaca; el **tálamo** e **hipotálamo** ubicados en el diencéfalo, contienen los núcleos neuronales que se especializan en la producción de neurotransmisores. Estos núcleos regulan la síntesis de las hormonas reproductivas producidas en la **hipófisis** y de allí viajan hacia los **ovarios** para estimularlos e iniciar la producción de hormonas ováricas. Es aquí cuando completamos el **eje hipotálamo - hipófisis - gónadas** (Figura 1).

Cuando la hembra bovina alcanza la pubertad, los centros neuronales hipotalámicos, específicamente el **arcuato**, comienzan la producción de la denominada **hormona liberadora de gonadotropinas** (GnRH), que estimula la porción anterior de la hipófisis; específicamente, las células gonadotropas, encargadas de producir la **hormona folículo estimulante** (FSH) y la **hormona luteinizante** (LH), conocidas como hormonas gonadotrópicas.

La FSH estimula la producción de **17-β estradiol** (E2) y el crecimiento de folículos emergentes, cuyo diámetro en promedio es de 3 mm aproximadamente, iniciando el reclutamiento de una cohorte folicular nueva, de donde será seleccionado el folículo que ovulará un occito (Figura 2). Por otro lado, la LH ejerce un efecto de luteinización de folículos, es decir, además de favorecer el crecimiento, induce cambios celulares intrafoliculares (Figura 3).

Cuando el folículo alcanza un tamaño mayor de 8 mm, llega a su máximo nivel de producción de E2, el cual viaja por vía sanguínea hacia el hipotálamo y allí induce la estimulación del centro de pico de GnRH para la liberación de LH, de manera que esta última se libere masivamente al torrente sanguíneo y llegue al ovario a desencadenar la producción de **progesterona** (P4) y la ovulación.

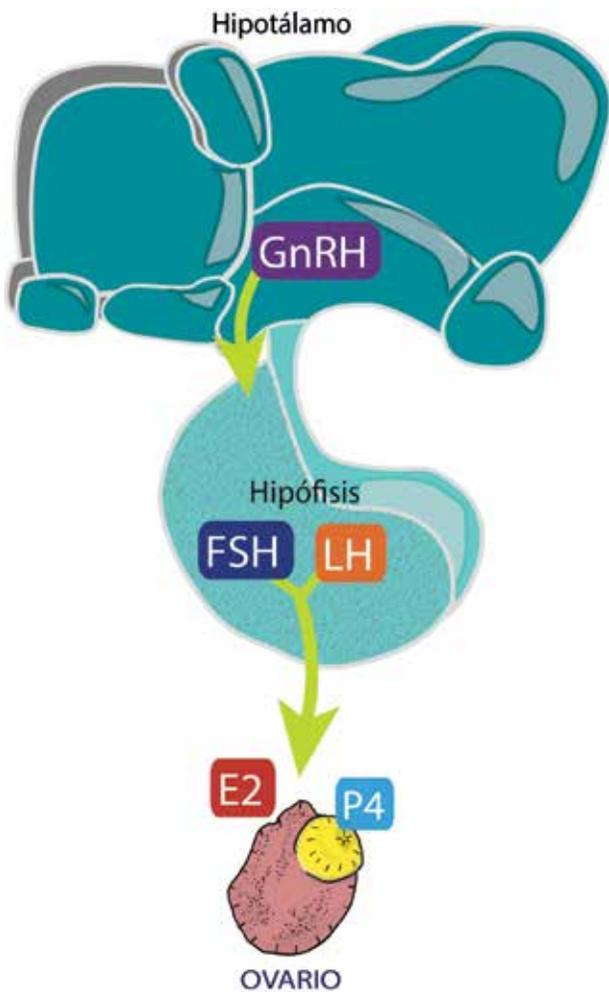


Figura 1. Esquema del eje hipotálamo - hipófisis - ovario. Observa cómo la GnRH estimula la producción de LH y FSH, las cuales viajan hasta el ovario donde estimulan la producción de E2 y P4.

Una vez culminado el proceso ovulatorio, el folículo que contenía al oocito sufrirá cambios estructurales que le permitirán convertirse en un cuerpo lúteo. Sus células de la granulosa y teca interna, se convertirán en células luteales grandes y pequeñas, respectivamente; ambas tendrán la función de producir la P4, responsable del mantenimiento de la gestación, conocido como el **factor progestacional**.

La P4 es una hormona de naturaleza esterooidal, llamada así porque su principal precursor es el colesterol. En el ovario, esta es sintetizada principalmente en las células de la teca interna mediante diferentes reacciones enzimáticas, para posteriormente ser transportada a las células de la granulosa, donde por medio de una enzima llamada aromatasa, es biotransformada a E2.

Las concentraciones de la FSH durante el ciclo estral de la vaca, varían de acuerdo al desarrollo folicular ovárico; por lo tanto, a mayor cantidad de esta hormona, los folículos alcanzan un mayor número, tamaño y grado de desarrollo.





Figura 2. Dinámica de la FSH durante el ciclo estral de la vaca. Observa cómo con cada aumento de esta hormona, coincide con el inicio de una oleada folicular. Para este caso, se presentan cuatro oleadas foliculares.



Figura 3. Dinámica de la LH durante el ciclo estral de la vaca. Observa cómo aunque se evidencian dos picos en la gráfica, solo uno hace parte del ciclo estral. Este es el responsable de la ovulación para este ciclo.

Dinámica folicular

La dinámica folicular se describe como los procesos biológicos que ocurren en el ovario, para conformar un folículo competente, dominante y preovulatorio, con el fin de que la LH pueda inducir la ovulación y generar un cuerpo lúteo (Figura 4).

Para entender mejor el proceso de dinámica folicular, debemos definir los siguientes conceptos: **atresia**, **reclutamiento** o **emergencia**, **selección** o **divergencia** y **dominancia folicular**.

El proceso de atresia, se entiende como la degeneración funcional y estructural de un folículo, proceso mediado por factores intrínsecos en él, y por la **inhibina** que producen los folículos de mayor tamaño.

El proceso de reclutamiento o emergencia, como su nombre lo indica, es el desarrollo de pequeños folículos, cuyo diámetro no excede los 3 mm. Estos, emergen del parénquima ovárico y comienzan a desarrollar un antro folicular, que es una cavidad llena del llamado fluido folicular. En esta etapa, el porcentaje de atresia es de aproximadamente 90 a 95%; los folículos que no sufren atresia continuarán el proceso de selección o divergencia llegando a un tamaño aproximado de 5 a 7 mm; estos pocos folículos seleccionados, responderán a los estímulos de la FSH y la LH para lograr un estadio de desarrollo óptimo.



Sabías que...

El fluido folicular está compuesto principalmente por: suero, trasudado, glicoproteínas, relaxina, inhibina, ácido hialurónico, carbohidratos, proteínas, aminoácidos y E₂, producidos en las células de la granulosa de dichos folículos. Este fluido cumple entre otras funciones, la nutrición del oocito.

En la etapa de selección o divergencia, el folículo que alcance un mayor tamaño respecto a los demás, producirá en sus células de la granulosa, mayor concentración de inhibina, la cual tiene un efecto en el hipotálamico de inhibir la producción de FSH, dando como resultado la atresia de los folículos de menor tamaño o subordinados. A partir de este momento, quedan uno o dos folículos denominados **folículos dominantes**, cuyo diámetro es mayor a 8 mm; sin embargo, uno de estos dos folículos producirá más E₂ que el otro, convirtiendo a este, en el folículo dominante de la onda folicular.

Los niveles altos de E2, inducirán en el hipotálamo la activación del centro de pico para la GnRH, que permitirá la presentación del pico LH, y dará como resultado, la ovulación del folículo dominante. Normalmente, las vacas hacen entre dos y tres oleadas foliculares; sin embargo, dependiendo de la raza, pueden ser hasta cuatro (*Bos indicus*), lo que implica que las primeras dos o tres oleadas foliculares no presentan una ovulación efectiva, ya que en esos días del ciclo se encontrará un cuerpo lúteo funcional, cuya producción de P4 mantendrá bloqueado el centro de picos de GnRH, para la liberación masiva de LH (Figura 5).

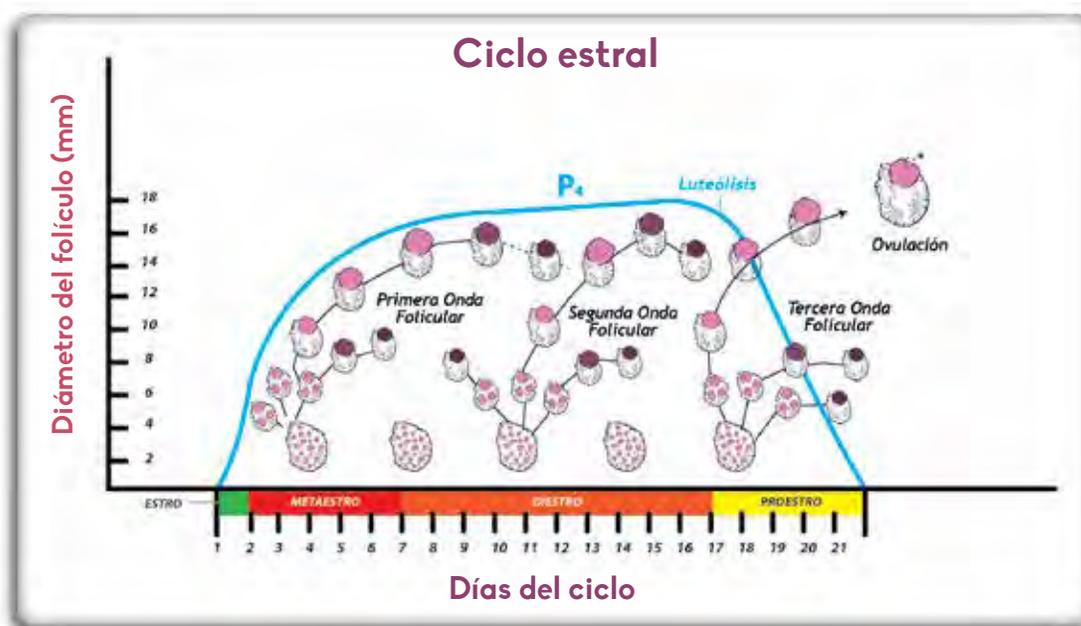


Figura 4. Representación esquemática de la dinámica folicular del ciclo estral de la vaca. Observa que esta presenta tres oleadas foliculares, y que el folículo dominante de la tercera oleada, es el único que ovula; esto, por los bajos niveles de P4 que permiten que se presente el pico preovulatorio de LH.

Fases del ciclo estral

El ciclo estral de la hembra bovina, es el conjunto de acontecimientos fisiológicos que ocurren cada 18 a 24 días aproximadamente, gracias a la actividad conjunta del hipotálamo, la hipófisis y el ovario. La variabilidad en la duración del ciclo, puede deberse a factores como: la raza, el ambiente, el manejo, la nutrición, entre otros.

En general, el ciclo estral de los mamíferos se dividen en dos importantes etapas: la fase folicular y la fase lútea. La primera, es aquella donde existe una dominancia de estructuras foliculares en el ovario, que producen concentraciones importantes de estrógenos. En la vaca, esta etapa la conforma el **proestro** y el **estro**. La segunda fase, es aquella donde existe una dominancia ovárica de un cuerpo lúteo maduro o inmaduro, que produce P4, y la conforman: el **metaestro** y el **diestro**.

A continuación, se describirá cada una de las fases del ciclo estral de la vaca, haciendo énfasis en los cambios fisiológicos presentados en el útero, los ovarios, y en su comportamiento y signos externos.

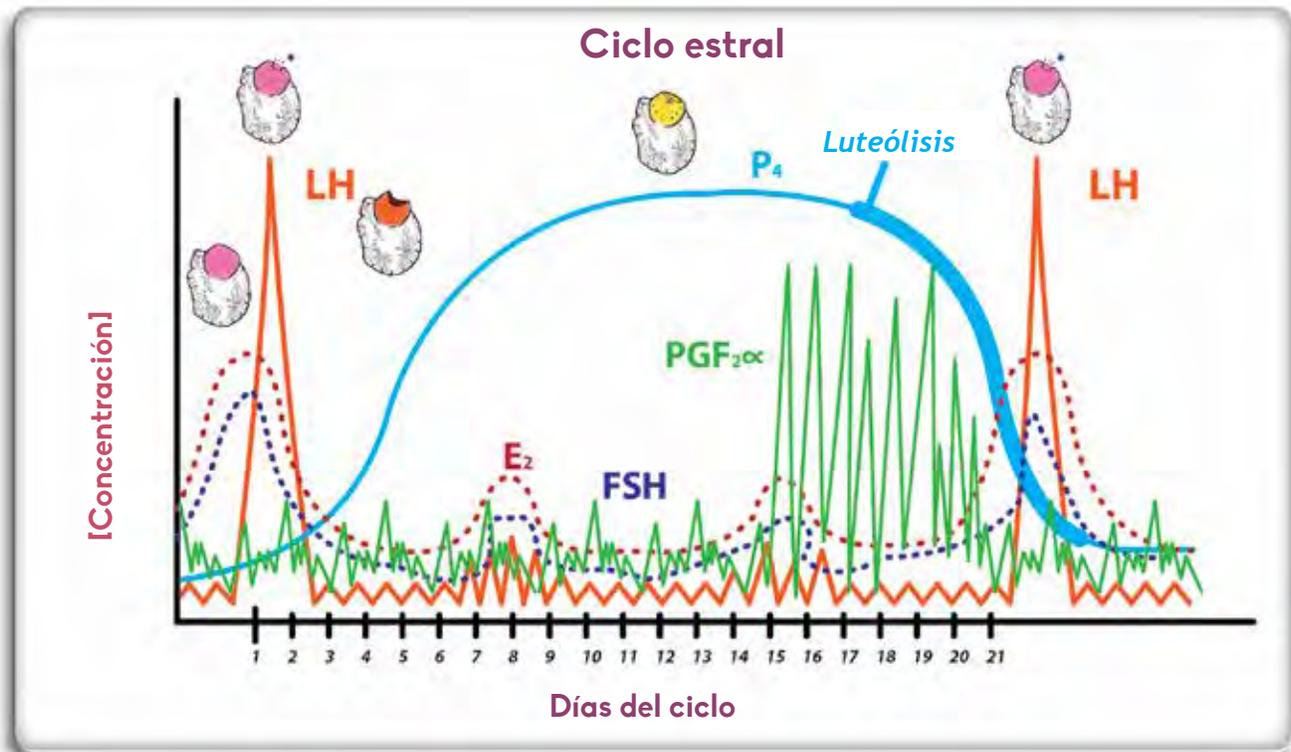


Figura 5. Dinámica de las principales hormonas involucradas en el ciclo estral de la vaca. Observa los cambios ováricos que se presentan, de acuerdo a las diferentes concentraciones hormonales en cada fase del ciclo estral.

Estro

El estro es la etapa del ciclo estral, caracterizada por la receptividad de la hembra hacia el macho, permitiendo la monta (*Fotografía 1*). En esta etapa, los niveles sanguíneos de E2 producidos por el folículo preovulatorio, llegan a su máxima concentración (*Figura 6*). Tiene una duración entre 12 y 18 horas; sin embargo, este tiempo dependerá de factores como la raza, la edad, el clima, el manejo, y la nutrición.

Útero: aumenta la producción de moco, preparando el tracto reproductivo para la monta. Se aumenta la síntesis de proteínas contráctiles en el miometrio, lo que hace que el útero esté tónico. El endometrio se encuentra en una etapa proliferativa debido, entre otras cosas, a un efecto vasodilatador de los E2.

Ovarios: presentan un folículo dominante que produce altas concentraciones de E2.

Comportamiento y signos externos: el E2 induce en la hembra cambios externos como la inapetencia, el comportamiento homosexual, el aumento de la fonación (mugido), la inquietud, la presencia de moco cristalino vulvar, la acción de Flehmen, entre otros.





Figura 6. Dinámica de los estrógenos durante el ciclo estral de la vaca. Observa que la concentración máxima de estrógenos, coincide con la presencia de un folículo dominante en el ovario.

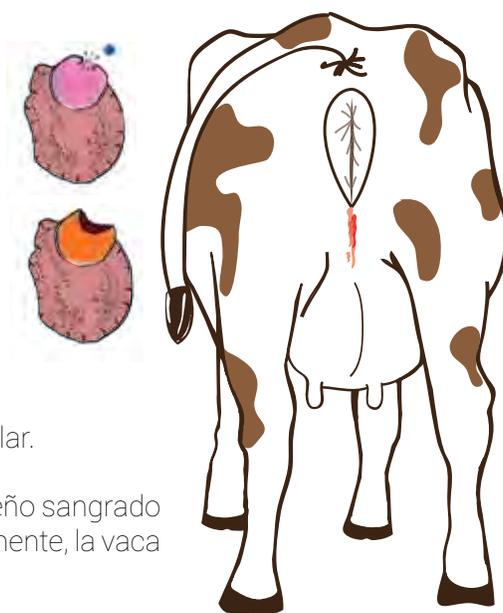
Metaestro

El metaestro es la etapa del ciclo estral que se presenta después del estro, y se caracteriza porque se da la ovulación del folículo preovulatorio o dominante. En esta etapa, los niveles de E2 disminuyen, y comienza a aumentar la producción de P4 (Figura 7). Dura aproximadamente de 2 a 5 días.

Útero: pierde la tonicidad y se presenta un leve edema uterino, con actividad secretora de las glándulas endometriales.

Ovarios: comienza la fase lútea con el cuerpo hemorrágico. Simultáneamente, comienza a emerger una nueva cohorte folicular.

Comportamientos y signos externos: la vaca presenta un pequeño sangrado llamado "sangrado metaestral", que proviene del útero. Adicionalmente, la vaca cesa los comportamientos típicos del celo, estro o calor.



Diestro

El diestro es la etapa del ciclo estral caracterizada por la presencia de un cuerpo lúteo funcional, el cual es responsable de aumentar los niveles sanguíneos de P4 al máximo, con el fin de mantener una eventual gestación. Si la vaca queda gestante, el cuerpo lúteo permanecerá funcional hasta unos días antes de finalizar la gestación; de lo contrario, el cuerpo lúteo sufrirá **lisis** por acción de la prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}), entre los días 15 y 17 del ciclo, dando fin a esta fase. La duración de esta etapa, es de aproximadamente 10 a 12 días.

Útero: se encuentra flácido, si no está gestante, y grávido si hay gestación.

Ovarios: presentan un cuerpo lúteo funcional.

Comportamiento y signos externos: no hay evidentes o relevantes.

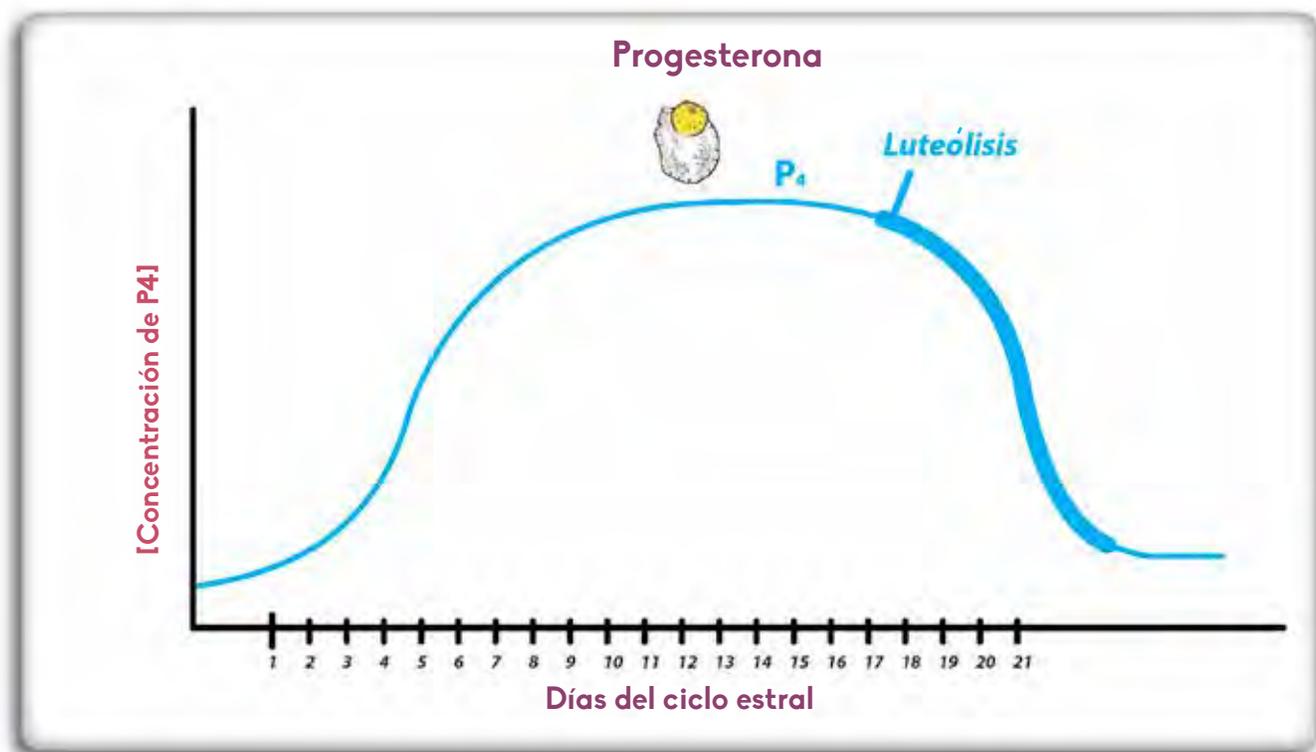


Figura 7. Dinámica de la progesterona durante el ciclo estral de la vaca. Observa que la P4, es la hormona que más predominancia tiene durante el ciclo, coincidiendo con que la fase de mayor duración en la vaca es la lútea.

Proestro

El proestro es la etapa del ciclo estral, caracterizada por el aumento gradual en los niveles de E2, producidos por el folículo dominante (Figura 8). La duración de esta etapa es aproximadamente 3 a 5 días.

Útero: comienza a tener consistencia semitónica.

Ovarios: presentan un folículo dominante y un cuerpo lúteo en regresión.

Comportamientos y signos externos: algunas vacas comienzan a expresar signos de celo, siendo más común el flujo vulvar, el cual debe ser transparente, inoloro y mucoide.

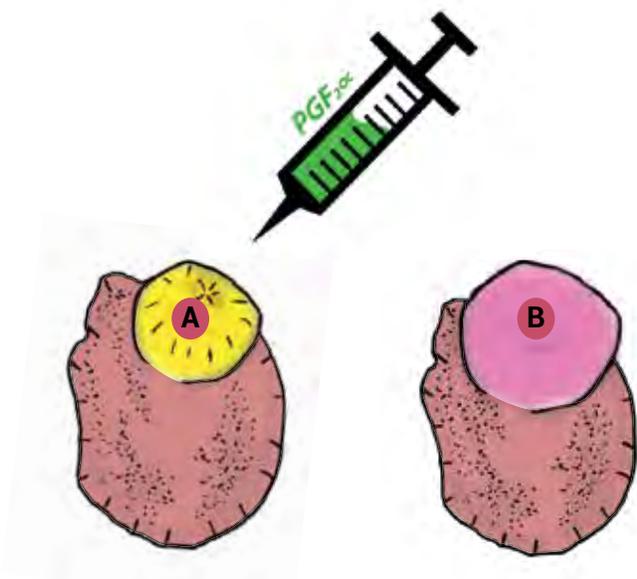


Figura 8. Representación de las estructuras ováricas que se encuentran en la etapa de proestro. Un cuerpo lúteo en proceso de luteólisis funcional avanzado y estructural temprano, además de un folículo dominante que produce altas concentraciones de E2.

(A) Cuerpo lúteo
(B) Folículo dominante

Etología del estro

Durante el estro, calor o celo, ocurren algunas modificaciones en el comportamiento de la vaca; dichos cambios están determinados en gran medida por la acción del E2 en el sistema nervioso central, principalmente en el hipotálamo.

Durante el estro se pueden diferenciar tres momentos, en los cuales la hembra tiene diferentes comportamientos:

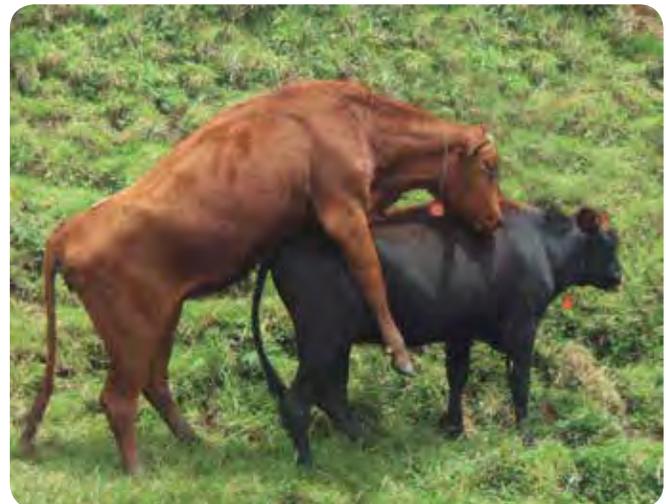
1. Al inicio del estro, la vaca se torna inquieta, se aleja del lote, disminuye el consumo de alimento y comienza a montar otras vacas (Fotografía 2).
2. Hacia la mitad del estro, comienza a aceptar la monta de otras vacas, presentando un comportamiento homosexual, y es en este momento en el que la hembra acepta al macho.
3. En el final del estro, la vaca cesa los comportamientos típicos anteriores, dando por terminada la etapa de celo.

Se ha definido como único signo verdadero de celo, la receptividad de una vaca al macho o a otras vacas; los demás signos, son secundarios.



Fotografía 1. Macho realizando la acción de Flehmen. Observa cómo el macho levanta el labio superior, con el fin de percibir posibles feromonas que la hembra libera al ambiente. Esto le permite percatarse si la hembra está o no, presentando estro o celo.

Sabías que...
¿Es a finales del estro cuando debe hacerse la inseminación artificial de la vaca? Si se observa que la vaca se deja montar de otras vacas en horas de la mañana, la inseminación debe realizarse en horas de la tarde.



Fotografía 2. Comportamiento homosexual en las hembras bovinas. Observa como una vaca monta a una novilla que está presentando su primer estro o celo.

¿Cómo evaluar el celo en vacas?

En los programas de inseminación artificial se recomienda evaluar los animales o lotes, al menos dos veces al día, mínimo 15 minutos por observación. Normalmente en zonas de trópico bajo, las vacas presentan signos de celo menos intensos y en menor tiempo que aquellas de trópico alto; esto se ha asociado a las altas temperaturas ambientales que inhiben su comportamiento de celo. Es importante aclarar que la presencia de problemas de movilidad como cojeras o alguna enfermedad, no permite que la vaca manifieste claramente los signos de celo.



Mecanismos de la luteólisis

La **luteólisis** es el proceso por el cual un cuerpo lúteo pierde la capacidad de producir P4 (luteólisis funcional), e inicia el proceso de apoptosis de las células que lo conforman (luteólisis estructural). Las concentraciones de P4 en un cuerpo lúteo funcional, deben estar por encima de 5 ng/ml, con el fin de mantener una posible gestación.

En una vaca no gestante, alrededor del día 15 del ciclo estral, el cuerpo lúteo comienza a producir oxitocina (OT), la cual viaja vía sanguínea y se une a sus receptores ubicados en las células endometriales epiteliales (CEEP).

Estos receptores se expresaron por acción del E2 del folículo dominante, que aumenta la expresión del RNA mensajero para este fin. La unión de la OT con su receptor en las CEEP, induce la activación de una enzima llamada fosfolipasa A2 (FA2), encargada de clivar el ácido araquidónico (AA), a partir de los fosfolípidos de la membrana.

Una vez clivado, el AA es biotransformado en compuestos intermedios para la producción de diferentes tipos de prostaglandinas como: la $PGF_{2\alpha}$, la PGE_2 , la PGD_2 y la PGI_2 . Esto ocurre por la acción de las ciclooxigenasas y prostaglandinas sintasas, respectivamente.

En la vaca, el principal factor luteolítico es la $PGF_{2\alpha}$, la cual se produce principalmente en las CEEP, y por vía endocrina viaja a través de la vena uterina, por el plexo útero-ovárico, llegando al ovario donde ejerce su efecto luteolítico funcional y estructural (Figura).



Figura 9. Dinámica de la $PGF_{2\alpha}$ durante el ciclo estral de la vaca. Observa que a partir del día 15 del ciclo estral, inicia el aumento de la producción de $PGF_{2\alpha}$, lo que inducirá la luteólisis funcional y estructural.



Sabías que...

La hembra bovina es una de las pocas especies que no ovula en el estro; lo hace en el metaestro.



¿Cómo se da la ovulación?

La ovulación la podemos definir como el proceso fisiológico por el cual un folículo, mediante señales moleculares, libera un oocito al oviducto de la hembra. Este proceso se da cada 21 días aproximadamente, por cambios hormonales y permite que eventualmente la vaca quede en gestación.

Una vez se presenta la luteólisis entre los días 15 y 17 del ciclo estral, los niveles sanguíneos de P4 caen a menos de 1 ng/ml; este cambio hormonal causa un desbloqueo del centro de picos hipotalámicos para la liberación de la GnRH; es así como el E2 producido por un folículo dominante durante el celo, induce en la hipófisis la liberación masiva de LH o el pico preovulatorio de LH, permitiendo que esta hormona viaje por el torrente sanguíneo hasta llegar al ovario, donde inducirá el inicio de la luteinización del folículo dominante, que coincide con la ovulación del mismo. Este evento se da entre las 18 y 24 horas después de finalizado el celo.

Existen teorías que explicarían por qué un folículo dominante ovula. Una de ellas, es que la LH acrecienta gradualmente la presión intrafolicular por aumento de tamaño de la cavidad antral, debido a una sobreproducción de líquido folicular. Adicionalmente, se cree que la perfusión del folículo dominante se ve afectada por factores como la PGE₂ y la histamina, que inducirían un aumento en el flujo sanguíneo ovárico, lo que afectaría la presión hidrostática, favoreciendo el paso de líquido al folículo y un eventual colapso del mismo. Gracias a este importante evento fisiológico, la hembra tendrá la posibilidad de perpetuar sus genes en las futuras generaciones.

Bibliografía

- Lenis, Y., Gutiérrez, M., & Tarazona, A. (2010). Efectos de los fitoestrógenos en la reproducción animal. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63(2), 5555-5565.
- Lenis, Y., Olivera, M., & Tarazona, A. (2010). Señales moleculares que afectan la síntesis de PGF₂ α y PGE₂ en el endometrio bovino. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3), 377-389.
- Lenis, Y., Olivera, M., & Tarazona, A. (2013). Efecto del ácido linoléico sobre la producción de las prostaglandinas PGF₂ α y PGE₂ en células endometriales. *Revista MVZ Córdoba*, 18(2), 3559-3568.
- Leung, P.C.K., & Adashi, E.Y. (2004). *The Ovary*. (2nd ed). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Olivera, A.M., Tarazona, M.A., Ruíz, C.T., & Giraldo, E.C. (2007). Modelo de luteólisis bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 387-393.
- Senger, P.L. (2012). *Pathways to pregnancy and parturition* (3rd ed.). Redmond, OR: Current Conceptions.



Juega y aprende

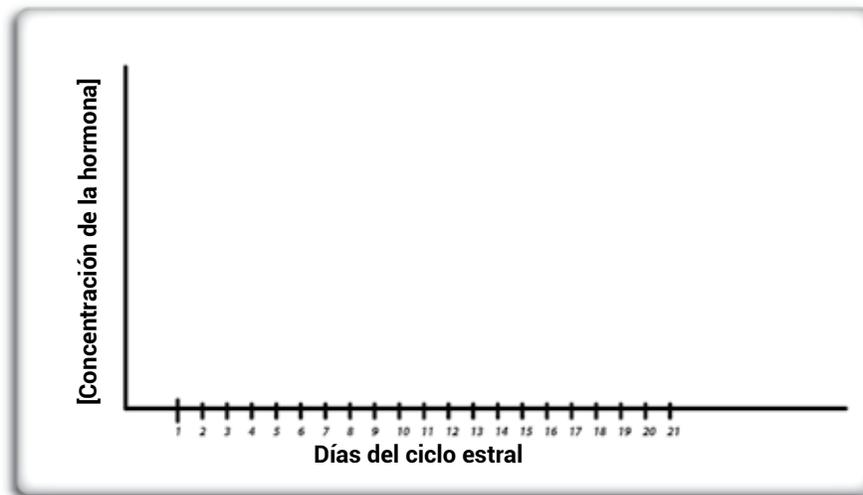


A continuación, encontrarás una forma divertida de recordar y reafirmar los conocimientos adquiridos en este capítulo, sobre el ciclo estral de la vaca.

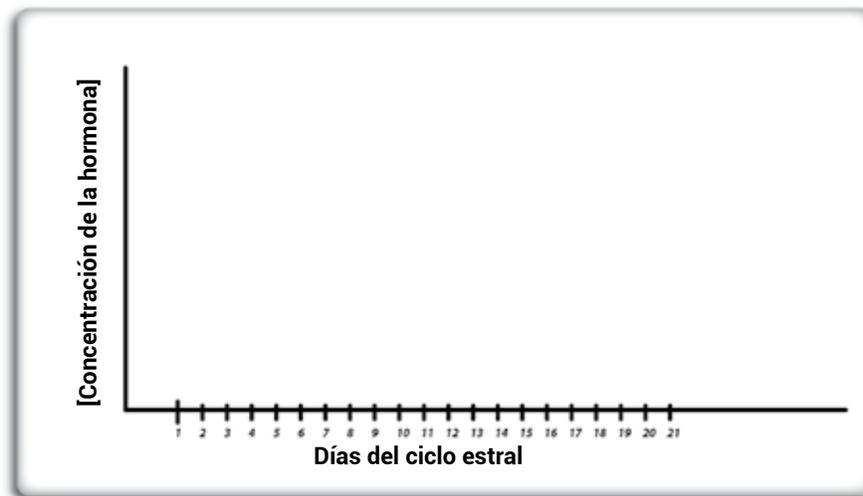
1. Dibuja y diviértete:

A continuación, encontrarás varias gráficas en las cuales deberás dibujar los eventos del ciclo estral que sean solicitados.

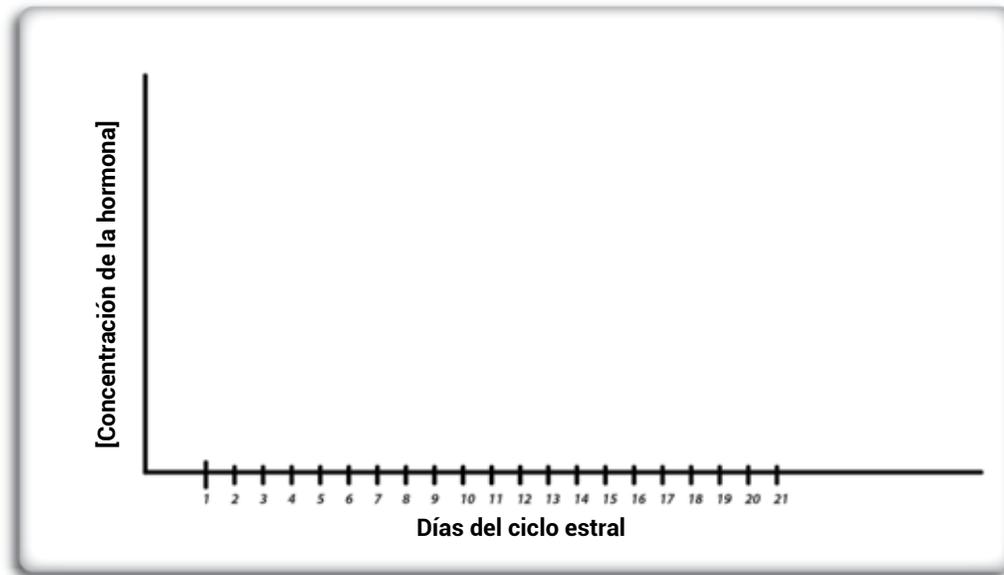
A. Dibuja el comportamiento característico de la hormona predominante en el metaestro y pega, justo en la parte de arriba del gráfico, la figura (pegatina) que mejor se ajuste a este evento.



B. Dibuja el comportamiento característico de la hormona predominante en el diestro y pega, justo en la parte de arriba del gráfico, la figura (pegatina) que mejor se ajuste a este evento.



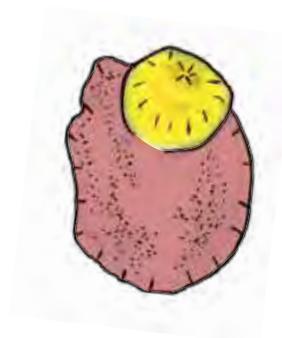
C. Dibuja el comportamiento de todas las hormonas que caracterizan el ciclo estral y en cada una de sus fases pega la figura (pegatina) que corresponda a cada uno de los eventos.



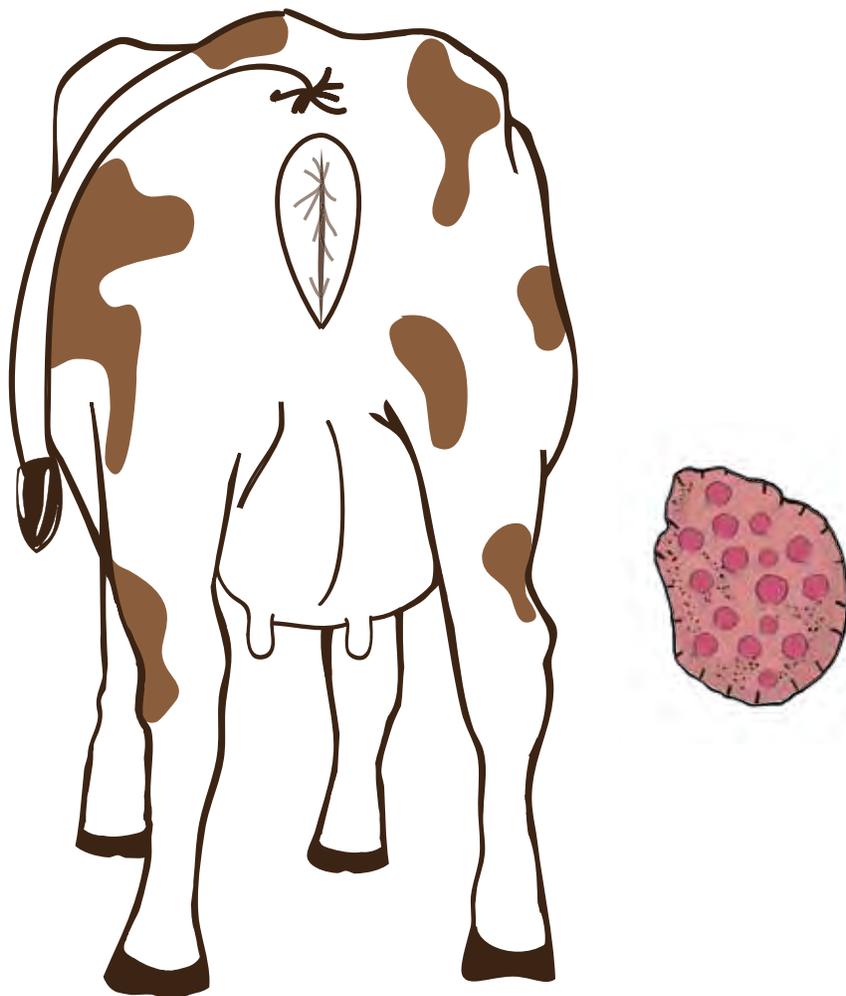
2. Identifica, juega y argumenta

A continuación, encontrarás diferentes vacas con una estructura ovárica predominante, las cuales serán sometidas a varios tratamientos hormonales. Además de pegar la figura correspondiente, deberás argumentar tu respuesta según el caso específico.

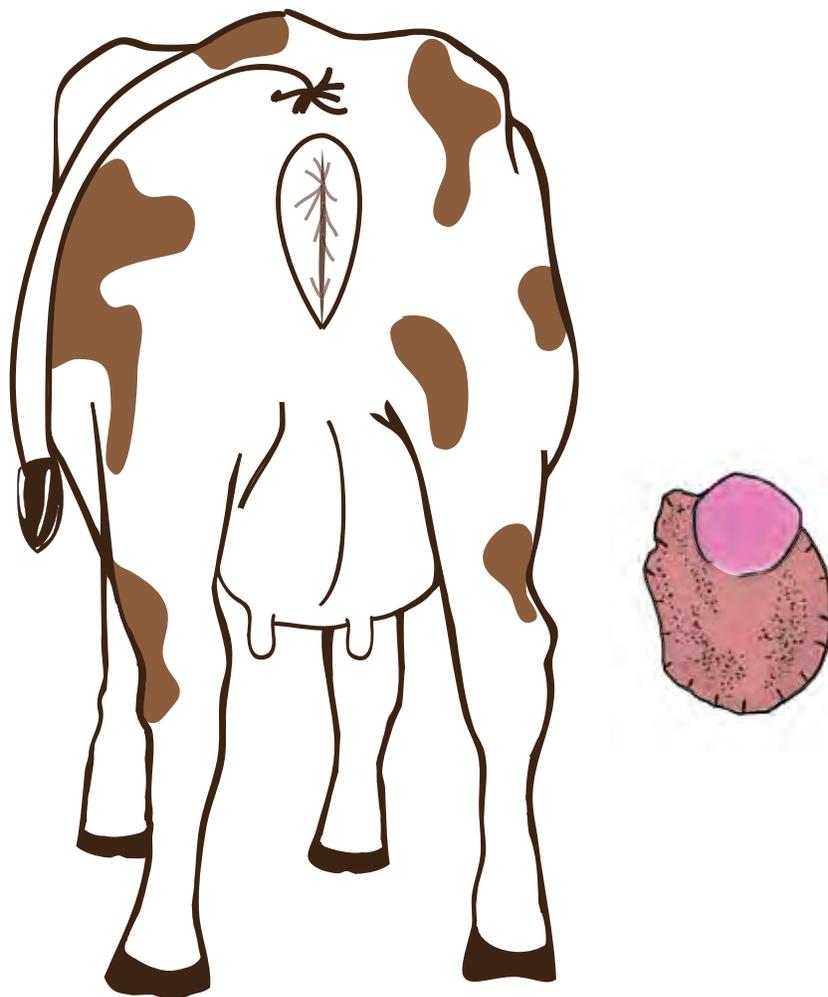
Vaca 1. Aplica la hormona utilizada para inducir la luteólisis y argumenta el porqué de tu selección.



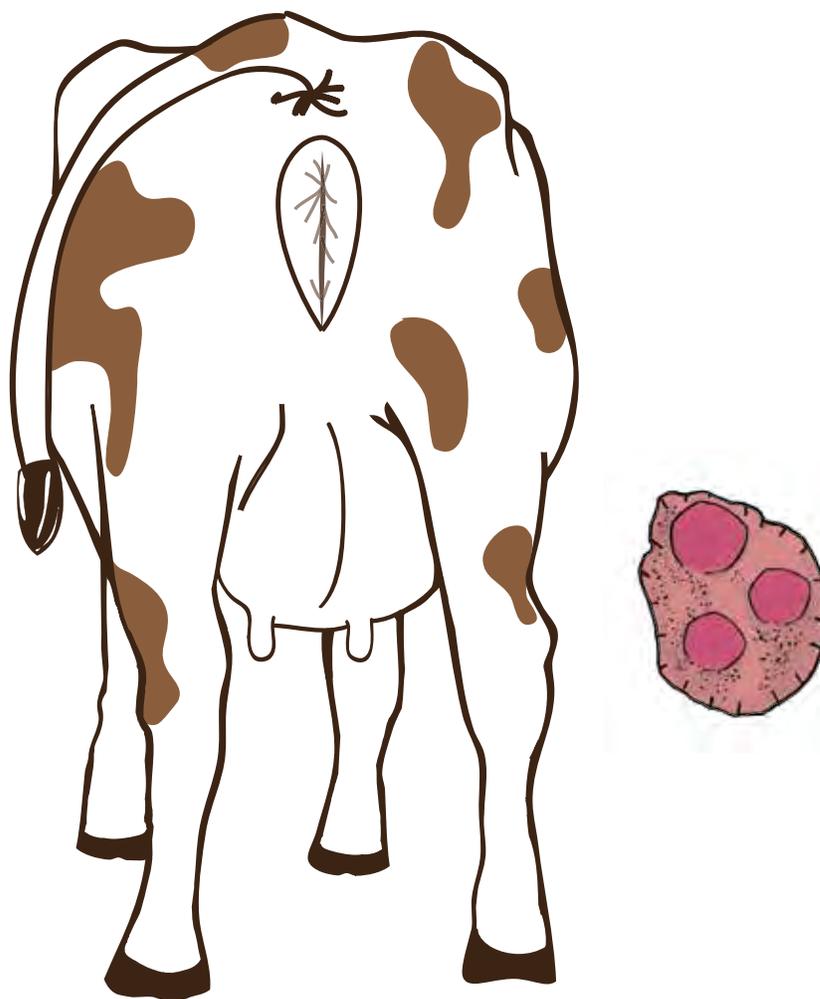
Vaca 2. Aplica la hormona utilizada para inducir la atresia folicular y argumenta el porqué de tu selección.



Vaca 3. Aplica la hormona utilizada para inducir la ovulación y argumenta el porqué de tu selección.



Vaca 4. Aplica la hormona utilizada para inducir una superovulación y argumenta el porqué de tu selección.



3. Argumenta

A continuación, argumenta la situación que se plantea.

Vaca 1. Selecciona y pega el ovario que mejor corresponda al estado fisiológico de esta vaca y argumenta el porqué tomaste esa decisión.



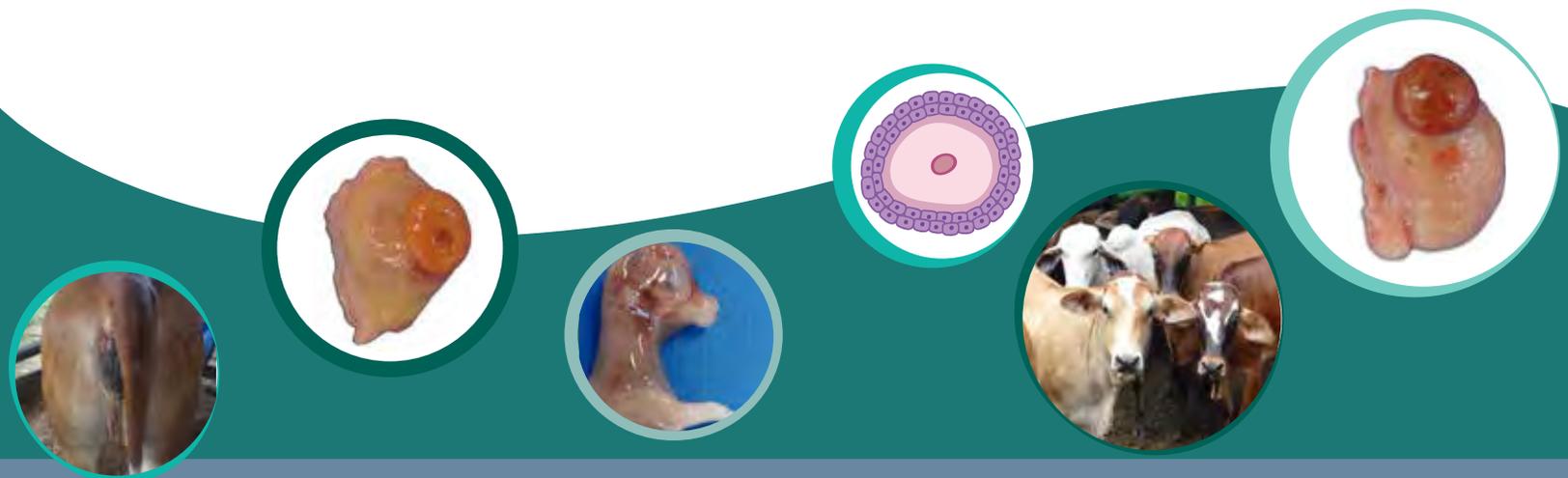
Capítulo 3

Estructuras ováricas

Autores:

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc¹

Diego Fernando Carrillo, MVZ, MSc²



¹ Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51- 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia.

Capítulo 3

Estructuras ováricas



Bienvenidos al capítulo de las estructuras ováricas.

A continuación, verás una descripción de las funciones del ovario y sus principales estructuras.

El **ovario** es la gónada sexual femenina responsable de la producción de oocitos y de hormonas tales como: los **estrógenos**, la **progesterona**, la **oxitocina**, la **inhibina**, la **activina**, las **prostaglandinas**; todas ellas en conjunto, regulan el ciclo estral de la vaca. El ovario es tal vez, el órgano de la hembra que más cambios morfológicos presenta durante su vida, puesto que en cada ciclo estral, las estructuras más representativas pueden variar entre **folículos**, **cuerpos lúteos** y **cuerpos albicans**, dependiendo de su endocrinología.

En la etapa folicular de la vaca, conformada por el estro y el proestro, la estructura dominante será un folículo, mientras que en la etapa luteal, integrada por el metaestro y diestro, la estructura dominante será un cuerpo lúteo. Los ovarios en la vaca presentan una forma ovoide y una estructura densa; sin embargo, la forma, el tamaño y la actividad de este varía, entre otros, con la edad, el estado fisiológico, la condición corporal y el número de partos.



Fotografía 1. Ovario en etapa folicular.



Fotografía 2. Ovario en etapa luteal.

El ovario se encuentra recubierto por una capa de tejido conectivo superficial llamada **túnica albugínea**, encargada no solo de protegerlo, sino también de permitirle que presente diversidad de configuraciones de acuerdo al día del ciclo estral. Las estructuras anatómicas de mayor importancia en los ovarios son: folículos, cuerpos lúteos y cuerpos albicans.

Folículos

Los folículos son estructuras ováricas que contienen el oocito durante el proceso de foliculogénesis (crecimiento y maduración folicular); adicionalmente, son los encargados de producir estrógenos los cuales en un momento dado serán los responsables de iniciar los signos de estro, calor o celo en la vaca. Dentro de los diferentes tipos de folículos se encuentran: primordiales, primarios, secundarios y antrales, siendo los primordiales, las estructuras de menor tamaño. En la foliculogénesis, los folículos aumentan paulatinamente de dimensión, lo que les permite incrementar la producción de estrógenos, hasta llegar a un folículo dominante preovulatorio.

Los **folículos primordiales**, presentan un tamaño no mayor a 0.03 mm aproximadamente, lo que hace imposible palparlos y verlos a simple vista, por lo que es necesario utilizar la ayuda de un microscopio. En este estadio el oocito contenido en un folículo primordial, está rodeado por una sola capa de células aplanadas (Figura 1).

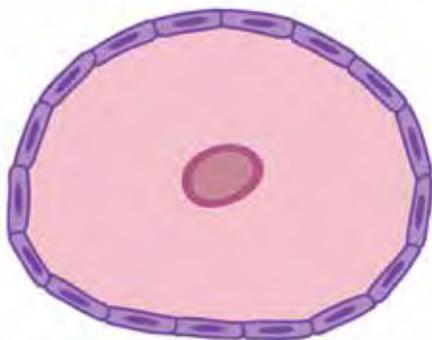


Figura 1. Folículo primordial. Observa que el oocito está recubierto por una sola capa de células aplanadas.

Cuando los folículos primordiales aumentan su crecimiento y maduración, son llamados **folículos primarios**, los cuales se caracterizan porque al oocito lo rodea una sola capa de células cuboidales (Figura 2).

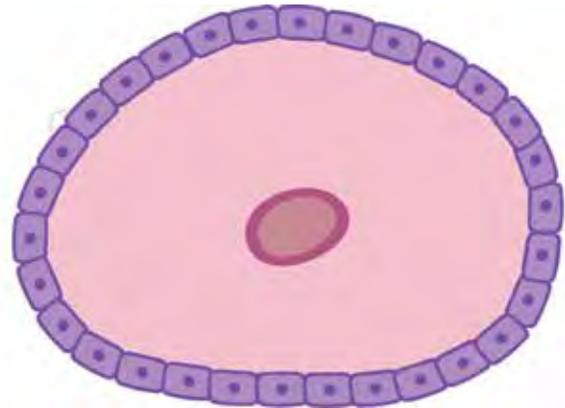


Figura 2. Folículo primario. Observa que el oocito está recubierto por una sola capa de células cuboidales.

Cuando el folículo primario crece, se convierte en un **folículo secundario**, el cual sigue siendo de tamaño microscópico; sin embargo, presenta dos o más capas de células que recubren el oocito (Figura 3).

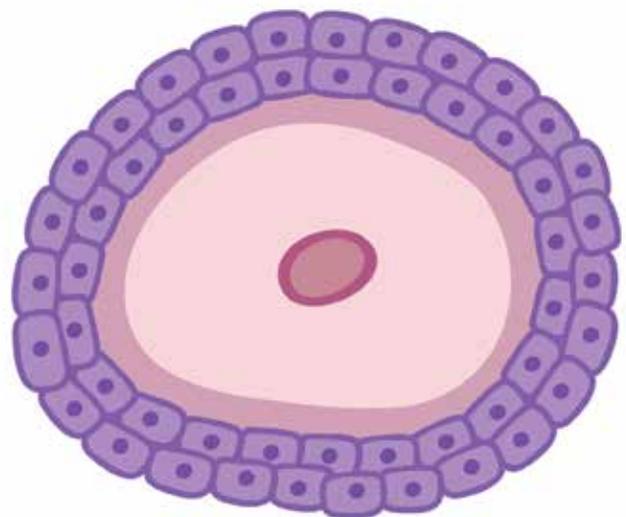


Figura 3. Folículo secundario. Observa que el oocito está recubierto por más de dos capas de células cuboidales.

Una vez el folículo secundario aumenta de tamaño, presenta una zona denominada antro, y es llamado **folículo antral**, caracterizado por la presencia de una cavidad que contiene líquido folicular. Estos folículos son palpables y visibles al ojo humano (Figura 4).

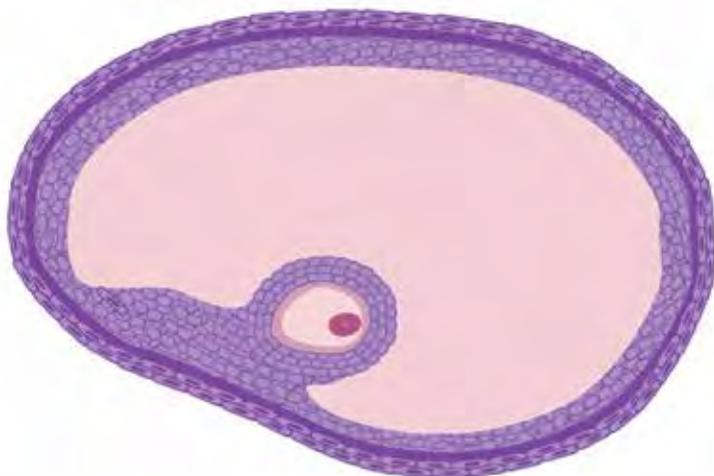


Figura 4. Folículo antral. Observa la presencia de una cavidad denominada antro.

Sabías que...

El médico veterinario puede inducir la ovulación de un folículo dominante, en estadio preovulatorio, al momento de la inseminación artificial, por medio de la aplicación de medicamentos denominados "inductores de la ovulación".



Cuerpo lúteo

El cuerpo lúteo es una estructura endocrina de color amarillo con tonos anaranjados, que aparece como resultado de la ovulación de un folículo. La LH es la principal hormona responsable de los cambios celulares dentro del folículo, para que este sea transformado en un cuerpo lúteo. Dichos cambios consisten en la reducción de la producción de estrógenos por la inhibición de la aromatasa y aumento en la producción de la progesterona, evento que se conoce como "**proceso de luteinización**". La principal función del cuerpo lúteo, es la producción de P4 o factor progestacional, hormona que participa en el mantenimiento de una eventual gestación. En el caso que la vaca no quede gestante, el cuerpo lúteo deberá sufrir luteólisis funcional y estructural para iniciar un nuevo ciclo estral.

Cuerpo albicans

Una vez culmina la luteólisis estructural y funcional, el cuerpo lúteo pasa a ser un cuerpo albicans que significa "albino", sin color, o de color blanco. Esta estructura presenta un alto contenido de fibras colágenas, que le confieren el aspecto de tejido cicatrizal. La ausencia del color, es un indicador de la pérdida de la funcionalidad del cuerpo lúteo, y por ende de la disminución en la producción de P4.

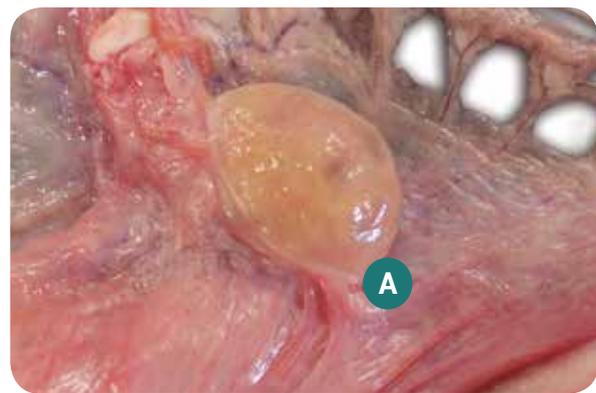


Sabías que...

En los protocolos de sincronización, el cuerpo lúteo es destruido por la aplicación de homólogos de prostaglandina F₂ alpha.

Sistema ligamentario en el ovario

El soporte anatómico del ovario al aparato reproductor y al borde lateral de la entrada en la cavidad pélvica, se realiza mediante la porción más craneal del ligamento ancho, denominado mesoovario, el cual contiene: vasos sanguíneos, linfáticos y nervios, que ayudan a cumplir al ovario su función hormogénica y citogénica (**Fotografía 3**).



Fotografía 3. Sistema ligamentario del ovario. Muestra una porción del ligamento propio del ovario, que es una banda que se desprende del mesoovario.

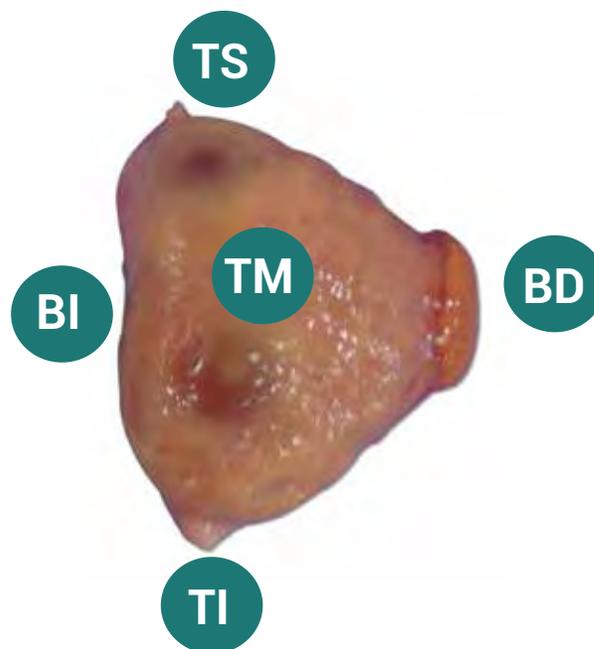
(A) Ligamento propio del ovario

Como se mencionó anteriormente, durante el ciclo estral de la vaca, las estructuras ováricas varían de acuerdo a la influencia hormonal del hipotálamo y de la hipófisis. A continuación, veremos fotos de ovarios que contienen estructuras características de cada una de las fases del ciclo estral.

Para facilitar la ubicación de las estructuras, en la foto que veremos a continuación, se ubican los diferentes bordes y tercios (*Fotografía 4*).

Fotografía 4. Ayuda topográfica para la ubicación de las estructuras en el ovario.

TS: Tercio superior.
BI: Borde izquierdo.
TM: Tercio medio.
BD: Borde derecho.
TI: Tercio inferior.



Ovarios en proestro

Ovario izquierdo:

Se observa una estructura folicular dominante en su tercio superior y otra de menor tamaño en el tercio medio.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal extraovárica muy palpable en su tercio inferior y otra de menor tamaño en el borde izquierdo superior, posiblemente no funcional. Adicionalmente, se observan estructuras foliculares en el tercio superior.



Ovarios en estro

Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal extraovárica de gran tamaño en el borde derecho.



Ovario derecho:

Se observa una estructura folicular de gran tamaño, posiblemente preovulatoria, en el tercio superior.



Ovarios en metaestro

Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal joven cavitaria, con aspecto hemorrágico y de gran tamaño, en su tercio superior. En el tercio medio se observa un folículo pequeño luteinizado.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal pequeña, en el borde izquierdo, difícilmente palpable.



Ovarios en diestro

Ovario izquierdo:

Se observan múltiples estructuras foliculares, posiblemente en una emergencia folicular temprana.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal extraovárica de gran tamaño en el borde derecho. Adicionalmente, se ven dos estructuras foliculares en los tercios superior e inferior, posiblemente expresando una codominancia folicular.



Ovarios en diferentes estadios de la dinámica folicular

Ovario izquierdo:

Se observan múltiples estructuras foliculares.



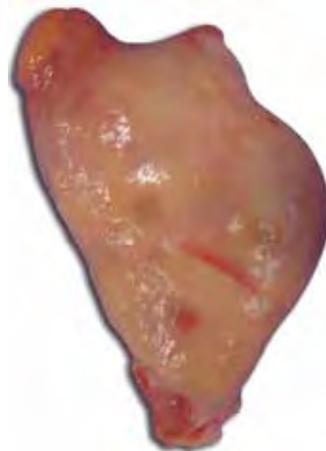
Ovario derecho:

Se observan dos estructuras foliculares en el tercio superior, posiblemente mostrando una codominancia folicular.



Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal dominante en su tercio superior; adicionalmente, una estructura folicular de gran tamaño en el borde derecho, y un folículo pequeño luteinizado en el tercio inferior.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal en su tercio medio, posiblemente en regresión o lisis estructural.



Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal extraóvarica de gran tamaño en el tercio medio.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal en regresión, posiblemente un cuerpo albicans.



Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal en su tercio medio y múltiples estructuras foliculares, apenas perceptibles.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal cavitaria en su borde derecho y múltiples estructuras foliculares.



Ovario izquierdo:

Se observa una estructura folicular dominante, de gran tamaño, en su tercio medio.



Ovario derecho:

Se observa un cuerpo lúteo de gran tamaño en su tercio superior, evidenciándose la vascularización luteal.



Ovario izquierdo:

Ovario sin aparentes estructuras dominantes. Se observan estructuras foliculares pequeñas, apenas perceptibles.



Ovario derecho:

Ovario sin aparentes estructuras dominantes; sin embargo, se observa en su tercio medio, una estructura que posiblemente fue un cuerpo lúteo, y un pequeño folículo luteinizado en su borde izquierdo.



Ovario izquierdo:

Se observa una estructura luteal pequeña, en su tercio inferior.



Ovario derecho:

Se observa una estructura luteal extraovárica de gran tamaño en el borde derecho; y una evidente vascularización luteal. Además, de un folículo pequeño en el borde izquierdo.



Bibliografía

- Dyce, K.M., Sack, W.O., & Wensing, C.J.G. (2012). *Textbook of veterinary anatomy*. (4th ed.). Philadelphia, PA: Saunders.
- Fernández, M. (2009). *El ciclo estral de la vaca: diagnóstico fotográfico*. Zaragoza, España: Servet Diseño y Comunicaciones S.L.
- Lenis, Y., Olivera, M., & Tarazona, A. (2010). Señales moleculares que afectan la síntesis de PGF₂ α y PGE₂ en el endometrio bovino. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3), 377-389.
- Leung, P.C.K., & Adashi, E.Y. (2004). *The Ovary*. (2nd ed.). San Diego, CA: Elsevier Academic Press.
- Olivera, A.M., Tarazona, M.A., Ruíz, C.T., & Giraldo, E.C. (2007). Modelo de luteólisis bovina. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 387-393.
- Senger, P.L. (2012). *Pathways to pregnancy and parturition* (3rd ed.). Redmond, OR: Current Conceptions.
- Welsch, U. (2009). *Sobotta: Histología*. (2a ed.). Madrid, España: Médica Panamericana.

Juega y aprende

Los ovarios son fundamentales en la reproducción animal; por esto llegó la hora de jugar y aprender sobre estas estructuras tan importantes.

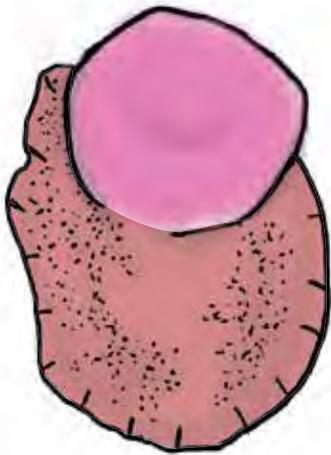




1. Argumenta con tus compañeros

Responde las preguntas formuladas a continuación, en los espacios destinados para ello; después de hacerlo, comparte tus respuestas con un compañero, y compáralas.

¿En qué fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario? ¿Por qué?

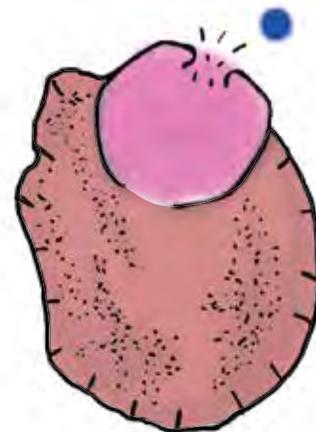


Handwritten response area with horizontal lines.

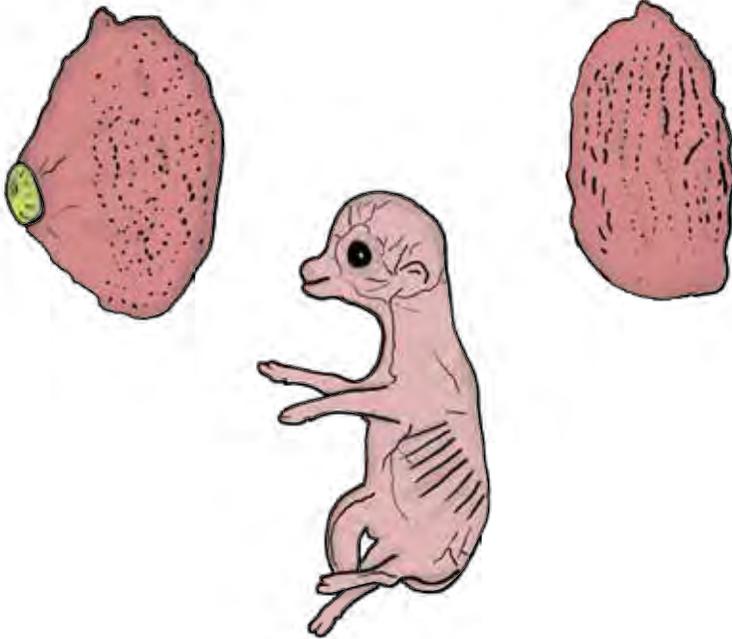
¿En qué fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario, y cuál hormona es la principal responsable de este evento fisiológico?



Handwritten response area with horizontal lines.



De acuerdo al siguiente esquema, ¿cuál es la estructura del ovario izquierdo?
¿Por qué el ovario derecho no tiene estructuras dominantes?

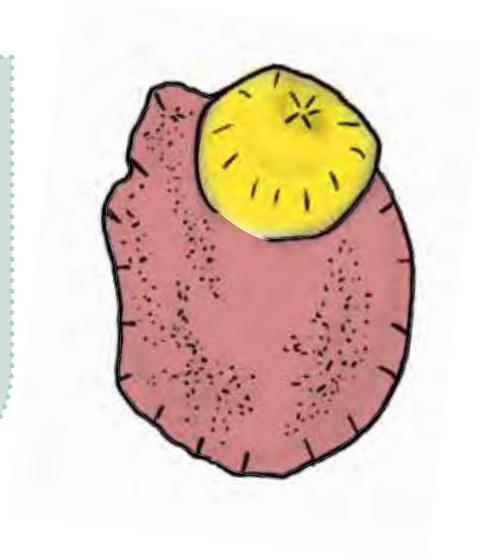
A small icon of a fountain pen and inkwell.

Handwritten area with horizontal lines for notes.

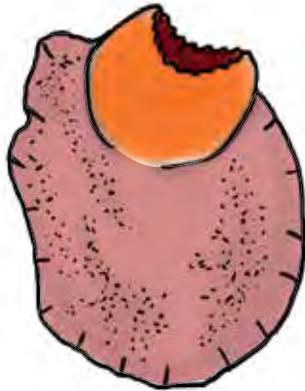
¿En qué fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario?
¿Cuál es la función fisiológica de la estructura que contiene este ovario?

A small icon of a fountain pen and inkwell.

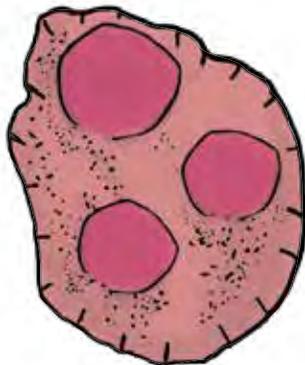
Handwritten area with horizontal lines for notes.



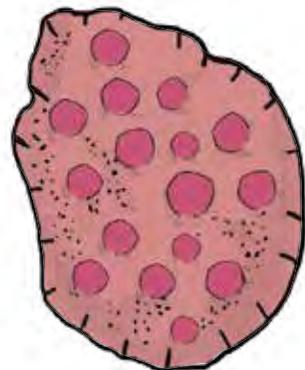
De acuerdo a lo que has aprendido ¿En qué fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario? ¿A qué se debe ese color rojizo?



¿Por qué este ovario presenta tres folículos de distinto tamaño?
¿En cuál fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario?

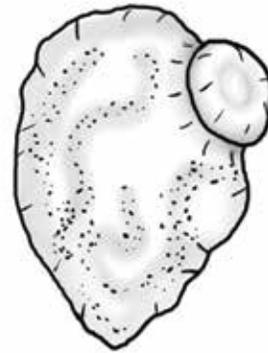


¿En cuál fase del ciclo estral de la vaca puede estar este ovario?
¿Cuál(es) estructura(s) se esperaría estuviese su ovario homólogo?



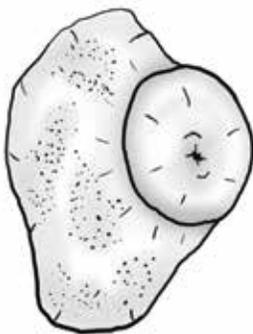
2. Colorea y responde

Colorea los siguientes ovarios de acuerdo a tu criterio e imaginación. Asígnales a las estructuras un color que la caracteriza, de acuerdo a lo que creas que son. Adicionalmente, escribe una característica fisiológica de las estructuras que coloreaste.



Three horizontal lines for writing, enclosed in a dotted border.

Three horizontal lines for writing, enclosed in a dotted border.

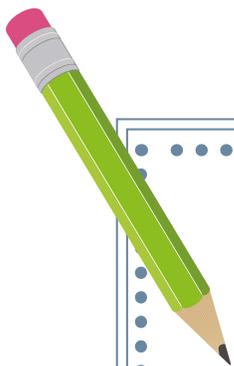


Three horizontal lines for writing, enclosed in a dotted border.

Three horizontal lines for writing, enclosed in a dotted border.

3. Dibuja y acércate a la realidad

En el siguiente recuadro, dibuja dos ovarios que tengan las estructuras que estarían presentes en un diestro, iniciando la primera oleada folicular.



Capítulo 4

Conceptos básicos del desarrollo embrionario en la vaca

Autores :

Diego Fernando Carrillo, MVZ, MSc¹
Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc²
Nélida Rodríguez Osorio, MV, MSc, PhD¹



¹ Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51- 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

Capítulo 4

Conceptos básicos del desarrollo embrionario en la vaca



En la reproducción animal existe una etapa donde ocurre la unión entre los gametos del macho y la hembra, para dar origen a una nueva estructura denominada cigoto, que exitosamente puede llegar a convertirse en un nuevo individuo. Bienvenidos al capítulo de desarrollo embrionario, donde veremos los principales procesos involucrados en la formación y desarrollo de un embrión bovino. Veamos ahora, cómo inicia este importante proceso.

Generalidades de los gametos

El inicio de un nuevo ser comienza con la unión de un espermatozoide y un oocito, que es como se conoce al gameto femenino. El oocito está alojado en un folículo preovulatorio que en el metaestro es estimulado por el pico de la LH, el cual induce la reanudación de su meiosis, y de esta forma expulsa el primer cuerpo polar. Una vez ocurre esto, se considera que ha madurado y está listo para ser ovulado hacia el oviducto. El oocito posee una capa externa llamada **zona pelúcida**, la cual está conformada por glicoproteínas que cumplen una función de reconocimiento, soporte y protección. Entre la membrana del oocito y la zona pelúcida, encontramos un espacio denominado **espacio perivitelino**, el cual es importante para la recepción de los cuerpos polares una vez son expulsados. La zona pelúcida se encuentra rodeada por una serie de células redondas, llamadas **células de la granulosa** o del cúmulo (*Figura 1*). El conjunto de células de la granulosa y el oocito, se denomina **complejo cúmulo oocito**, cuya función principal es la de protección y nutrición del oocito.

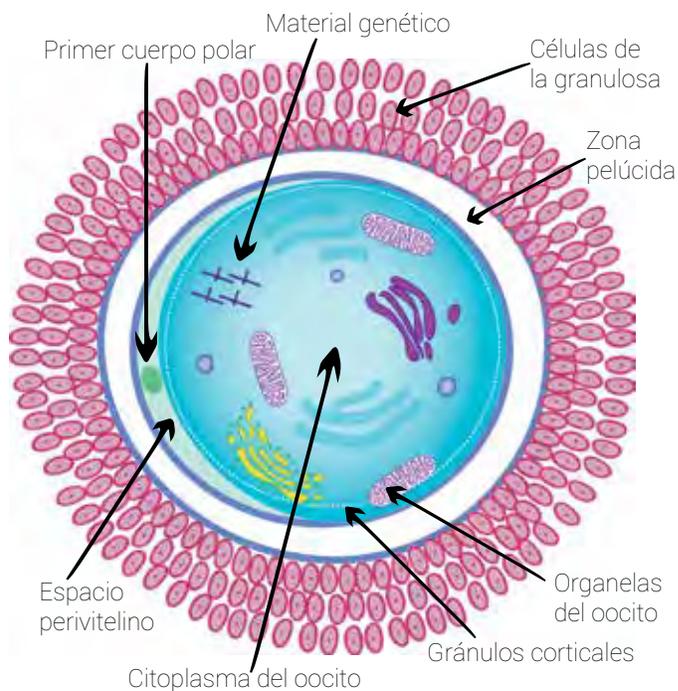


Figura 1. Oocito maduro y sus partes. Observa la presencia del primer cuerpo polar en el espacio perivitelino y la expansión de las células de la granulosa; además, el gráfico simula la ubicación de las organelos celulares hacia la región excéntrica del oocito.

El gameto masculino llamado espermatozoide, se caracteriza por tener una forma hidrodinámica que le permite avanzar a través del tracto reproductivo de la hembra, hasta alcanzar al oviducto, lugar donde ocurre la fertilización del oocito. El espermatozoide es una célula altamente especializada, compuesta por tres porciones principales (Figura 2):

- 1. Cabeza:** lugar donde se alberga el material genético altamente compactado, y se encuentra una carga enzimática, encapsulada en una estructura llamada acrosoma.
- 2. Pieza media:** lugar donde se inserta el flagelo, y están almacenadas todas las mitocondrias que generan la energía suficiente para su desplazamiento.
- 3. Flagelo:** es una modificación del citoesqueleto, que le permite al espermatozoide moverse.

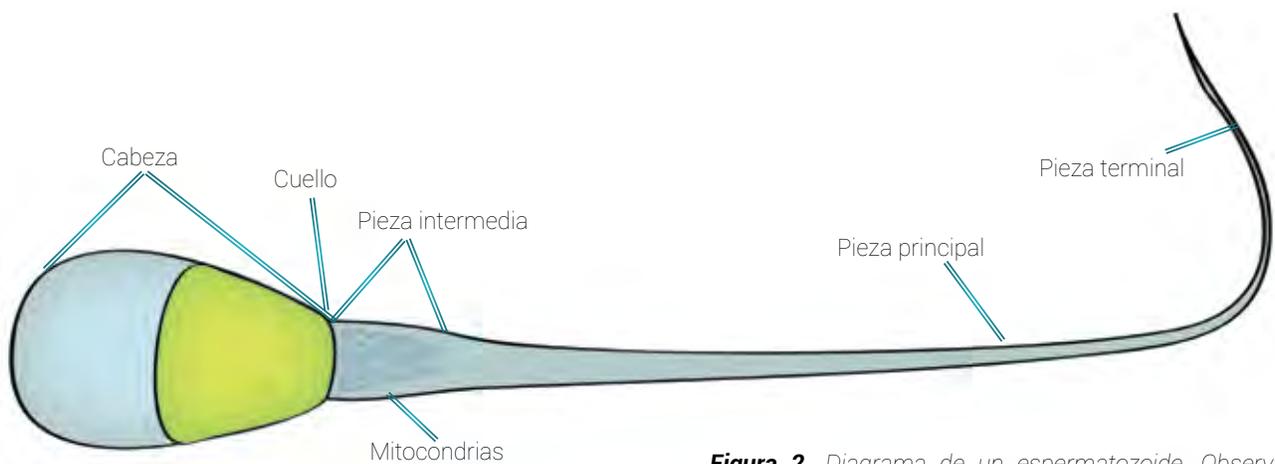


Figura 2. Diagrama de un espermatozoide. Observa cada una de las porciones: cabeza, pieza media y flagelo.

Sabías que...

- El oocito posee unas organelas denominadas gránulos corticales, que al ser liberados, impiden el ingreso de más de un espermatozoide.
- El espermatozoide es una célula altamente especializada y diferenciada, a tal punto que es la única capaz de desplazarse por sí misma.



Fertilización

El proceso de fertilización, es la unión del gameto masculino y el femenino, con el fin de dar lugar a un nuevo individuo, el cual tendrá una configuración genética única, producto del genoma del padre y la madre. Todo comienza con un oocito maduro que ha sido ovulado y está listo para recibir al espermatozoide; sin embargo, este último debe ser capaz de vencer varias pruebas y así poder fertilizar al oocito. Una de ellas es la **capacitación**, donde el espermatozoide aumenta su movilidad, su membrana plasmática cambia de configuración y pierde moléculas de colesterol, lo que hace que su interacción con el medio extracelular sea mucho más fluida y eficiente.

Posteriormente, y gracias a la capacitación, el espermatozoide expone receptores de reconocimiento para las glicoproteínas de la zona pelúcida del oocito denominadas **ZP2, ZP3 y ZP4**; una vez el espermatozoide reconoce estas glicoproteínas, se inicia la liberación de enzimas acrosomales, evento que se conoce como **reacción acrosomal**. Posterior a esta reacción, el espermatozoide entra al espacio perivitelino

del oocito. Finalmente, solo un espermatozoide será seleccionando para ingresar al oocito, el cual cuenta con mecanismos moleculares para evitar la polispermia (entrada de más de uno de ellos).

Ya en el espacio perivitelino, el espermatozoide se une a la membrana celular del oocito, donde se fusiona por completo y deja su núcleo espermático en el citoplasma oocitario; allí se debe descondensar el material genético, eliminando las protaminas (proteínas para el empaquetamiento del material genético del espermatozoide) y utilizando histonas oocitarias (proteínas para el empaquetamiento del material genético del oocito), para formar el pronúcleo masculino.

Una vez está formado el pronúcleo masculino, se fusiona con el pronúcleo femenino, en un proceso denominado **singamia**, dando origen a una nueva estructura llamada **cigoto**; a partir de este momento, comenzará una importante etapa conocida como: desarrollo embrionario temprano.



Sabías que...

En el bovino no existe la proteína ZP1 que se encuentra en otros mamíferos como el ratón, el humano y el equino. La ZP1 tiene una función estructural para el oocito, y en el bovino es la ZP4, la que cumple esta acción.

Desarrollo embrionario temprano

El desarrollo embrionario temprano, se inicia a partir de la formación del cigoto, el cual comenzará a dividirse en varias células. Estas primeras divisiones se llaman **clivaje** (del inglés: *cleavage*), o segmentación. Cada una de las nuevas células recibirá el nombre de **blastómera**; es decir, después del primer clivaje se forma un embrión de dos blastómeras; posteriormente, este embrión realizará un segundo clivaje para formar cuatro células o blastómeras (Figura 3 y Fotografía 1), y así repetidamente, hasta conformar una estructura de más de 16 blastómeras, llamadas mórulas, por su semejanza con una mora (Figura 4).

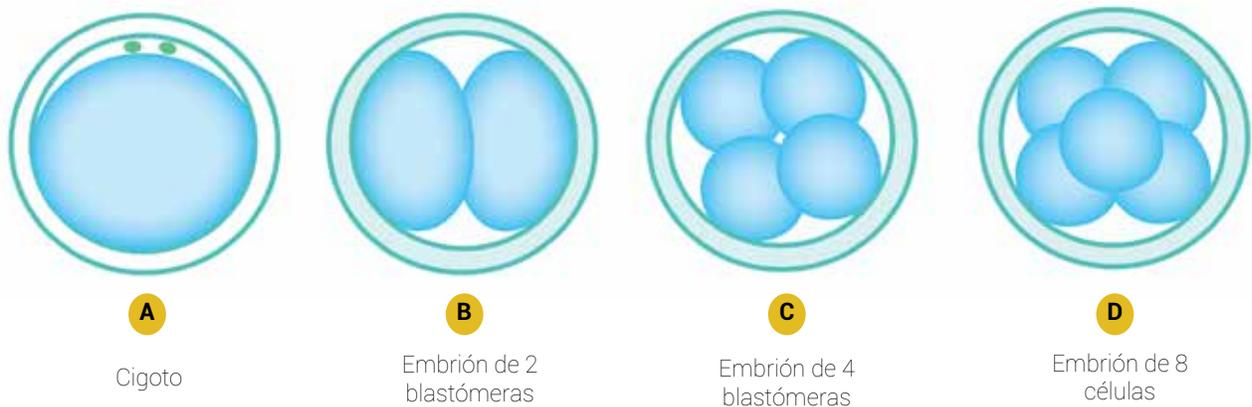


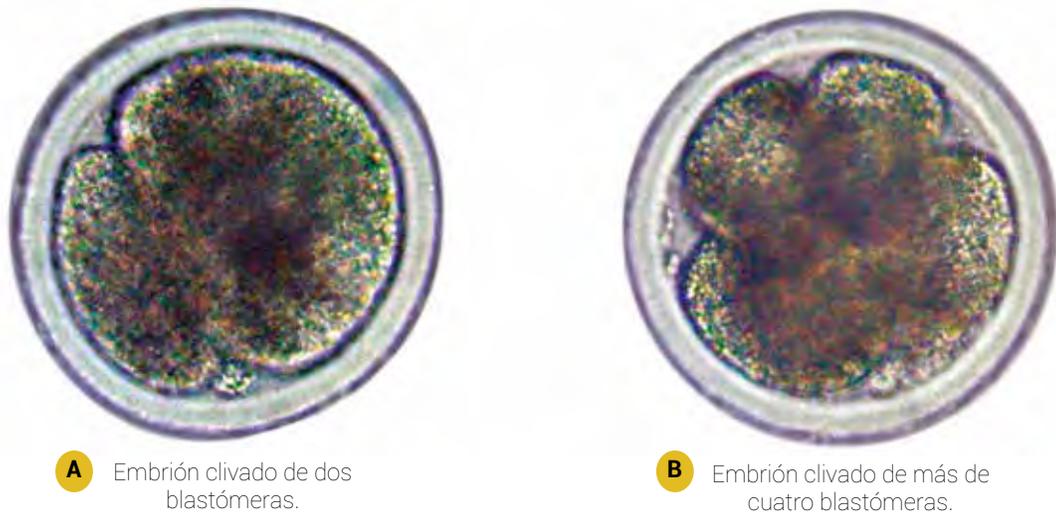
Figura 3. Desarrollo embrionario temprano. El aumento en el número de blastómeras a este punto del desarrollo embrionario, no evidencia un aumento en el tamaño del embrión.



Sabías que...

En el desarrollo embrionario temprano, no todas las blastómeras se dividen al mismo ritmo y por eso a veces se encuentran embriones de tres, cinco o siete blastómeras.





Fotografía 1. Primeras divisiones embrionarias (10 X), tomadas de embriones bovinos producidos in vitro.

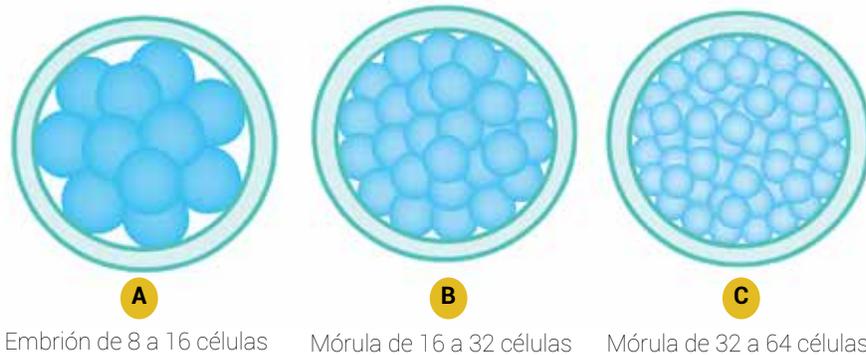
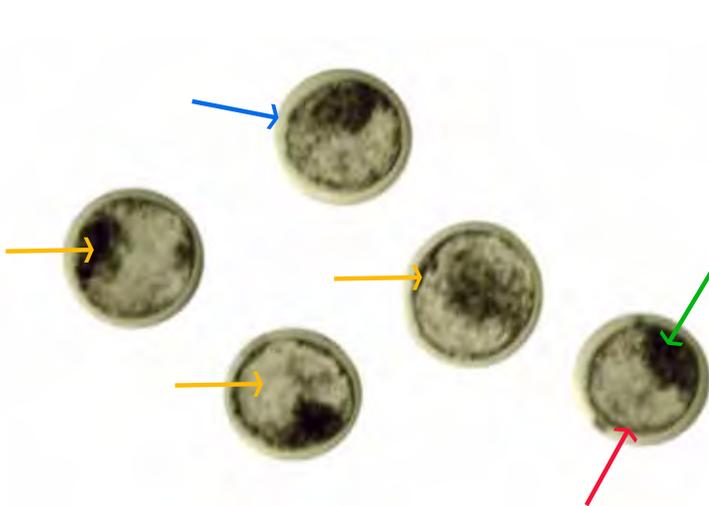


Figura 4. Mórulas o embriones de diferente número de blastómeras. Dado que el embrión es una figura tridimensional, después de las 16 blastómeras, es difícil contar el número de células con exactitud.

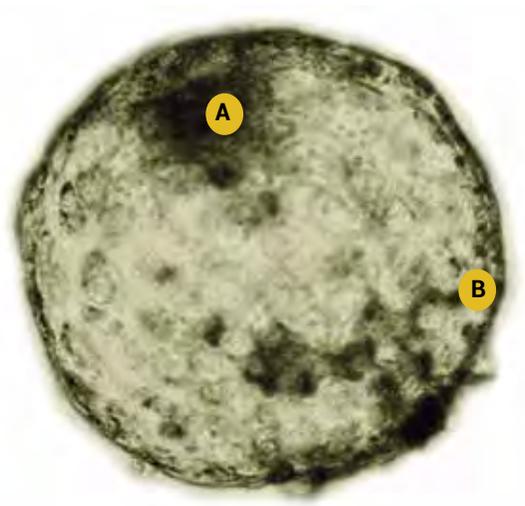
La mórula continúa su clivaje hasta un número alrededor de 64 blastómeras, donde comienza a observarse, gracias a la ganancia de iones y agua por el embrión, la formación de un espacio llamado blastocele. Este proceso recibe el nombre de cavitación, y da como resultado una estructura embrionaria llamada **blastocisto**, en la cual se diferencian dos tipos celulares: las células ubicadas en periferia interna de la zona pelúcida que se conocen como **células trofoblásticas** y conforman el trofoblasto, y las células que se agrupan en uno de los polos del embrión que se conocen como: **macizo celular interno o embrioblasto** (Figura 5 y Fotografía 2).



Figura 5. Blastulación. Observa de izquierda a derecha el desarrollo embrionario temprano, a partir de una mórula, hasta llegar a un blastocisto expandido.



Fotografía 2. Embriones en estado de blastocisto. Observa la presencia de la zona pelúcida (flecha azul) y el macizo celular interno (flecha verde), diferenciado de las células del trofoblasto (flecha roja). Algunos embriones se encuentran expandidos (flecha amarilla), pero permanecen rodeados por la zona pelúcida.



Fotografía 3. Embrión en estado de blastocisto eclosionado. Observa la ausencia de la zona pelúcida y la diferenciación entre el macizo celular (A) interno y las células del trofoblasto (B).

Una vez el blastocisto se expande, continúa su desarrollo, lo que hace que aumente de tamaño. En este momento, el fluido del blastocele ejerce presión sobre la zona pelúcida, dando como resultado el rompimiento de la misma y la eclosión del blastocisto (*Figura 6 y Fotografía 3*). El embrión ha llegado al cuerno uterino, y deberá hacerse reconocer por la madre, para poder continuar con su desarrollo.

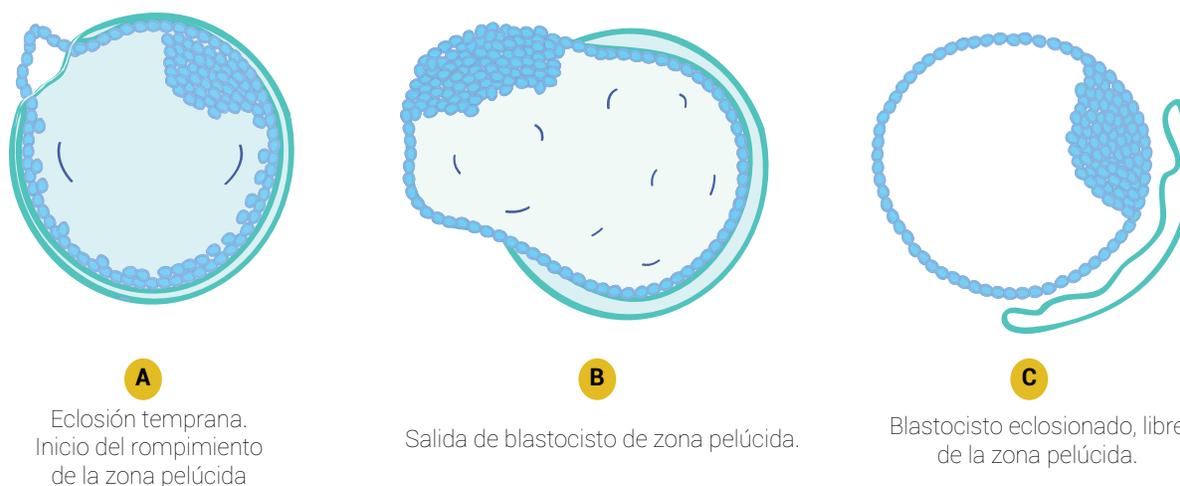


Figura 6. Eclosión del blastocisto. Observa el proceso de salida del blastocisto de la zona pelúcida.

Reconocimiento materno embrionario

Se constituye en uno de los eventos de mayor importancia en la reproducción, siendo el proceso fisiológico por el cual un embrión, mediante señales moleculares, anuncia su presencia a su madre, con el fin de que esta no inicie los procesos luteolíticos, que producirían muerte embrionaria temprana. Este proceso está regulado por múltiples señales celulares y endocrinas entre el embrión, el endometrio y el cuerpo lúteo. Este último constituye la glándula transitoria de mayor importancia en la ventana de reconocimiento materno embrionario, por ser la responsable de la producción de P4.

El embrión debe sintetizar una sustancia que sea capaz de bloquear la luteólisis y de modificar el ambiente endometrial, con el fin de crear condiciones ideales para su adhesión e implantación. Esta molécula en la vaca, es el **interferón trofoblástico bovino (bINT- τ)**, llamado así por el sitio de producción, pues se sintetiza en las células trofoblásticas del embrión.

Los mecanismos por los cuales el bINT- τ favorece el inicio de una gestación, son:

1. Disminuye la síntesis del **principal factor luteolítico en la hembra (PGF $_{2\alpha}$)**, producido en las células endometriales epiteliales bovinas (CEEP). Esta disminución en la producción, busca que los procesos luteolíticos no se den, y el cuerpo lúteo siga produciendo P4.
2. Favorece la síntesis de PGE $_2$ en las células endometriales estromales bovinas (CEES). La PGE $_2$ es la responsable de iniciar los mecanismos luteoprotectores como: la vasodilatación, la angiogénesis, la quiescencia uterina, la receptividad uterina, entre otros.
3. Disminuye la transcripción del receptor de oxitocina en las CEEP, lo que reduce la producción de la PGF $_{2\alpha}$.

El bINT-T es la molécula de mayor importancia en la ventana de reconocimiento materno embrionario, ya que debe inhibir los procesos luteolíticos desde antes que estos inicien. Esta se sintetiza y se secreta en altas concentraciones, entre los días 13 y 17 en promedio en la posfertilización; sin embargo, los niveles permanecen altos en promedio hasta el día 27 de la preñez (Figura 7).

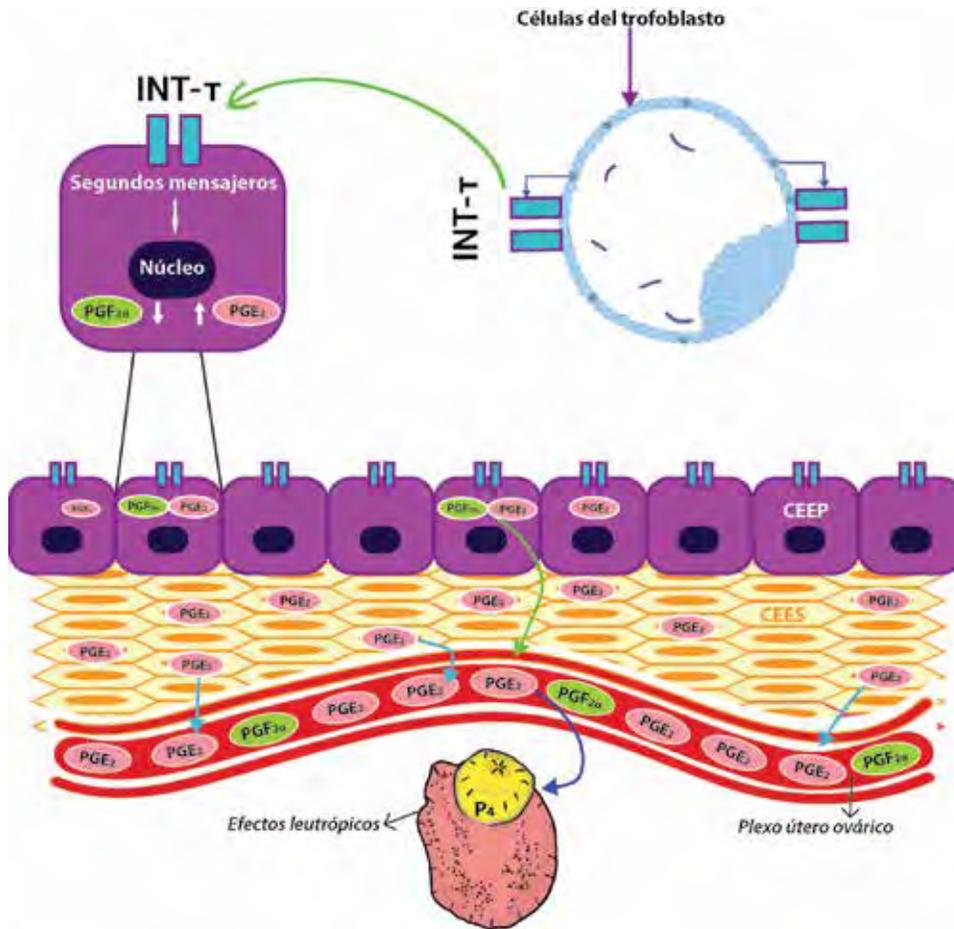


Figura 7. Efecto molecular del bINT-T en las CEEP y en las CEES. Observa que el bINT-T disminuye la producción de la PGF_{2α} y aumenta la PGE₂, favoreciendo la viabilidad, adhesión y reconocimiento embrionario en la vaca.

Sabías que...
Una de las principales causas para la pérdida embrionaria temprana, es la respuesta inadecuada del endometrio al INT-T. Esto se asocia principalmente a la calidad del embrión, teniendo más posibilidad de producir INT-T un embrión de excelente calidad, que uno de calidad regular.

Gastrulación

Ocurrida la eclosión del embrión, se presentará una serie de cambios. A partir del trofoblasto, se formará el corion, que hace parte de la placenta fetal, junto con otras membranas extraembrionarias. En un proceso conocido como gastrulación (que incluyen diferenciación celular, invaginación y migración celular), las células del embrioblasto forman una estructura denominada: **disco germinativo trilaminar**, compuesto por tres capas celulares: **endodermo**, **mesodermo** y **ectodermo** (Figura 8). Cada una será la responsable de dar origen a los diferentes tejidos, así:

1. El endodermo, dará origen a tejidos como el revestimiento interno del tubo digestivo, las vías respiratorias y algunas glándulas como: el hígado, el páncreas, la próstata, entre otras.
2. El mesodermo, originará estructuras reproductoras como: el pene y la vagina, la musculatura, el esqueleto y el aparato circulatorio.
3. El ectodermo, será el encargado de originar: el cerebro, el sistema nervioso central y el periférico, la epidermis, entre otros.

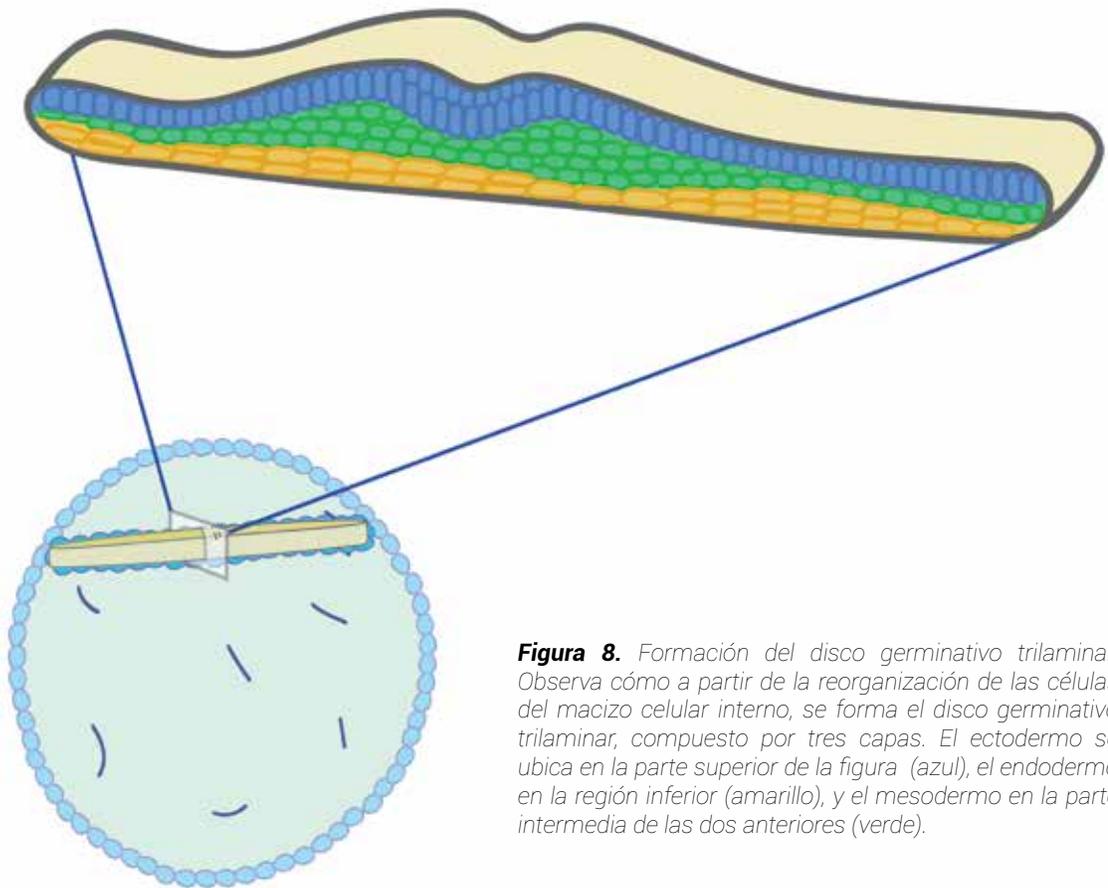


Figura 8. Formación del disco germinativo trilaminar. Observa cómo a partir de la reorganización de las células del macizo celular interno, se forma el disco germinativo trilaminar, compuesto por tres capas. El ectodermo se ubica en la parte superior de la figura (azul), el endodermo en la región inferior (amarillo), y el mesodermo en la parte intermedia de las dos anteriores (verde).

Posterior a la gastrulación, ocurren dos procesos de forma simultánea: la formación de las membranas extraembrionarias, que darán origen a la placenta, y la organogénesis para la formación de los órganos. Para fines prácticos, veremos primero la formación de las membranas extraembrionarias, hasta la placentación, y posteriormente, nos adentraremos en la organogénesis.

Formación de membranas extraembrionarias

La formación de las membranas extraembrionarias en el embrión bovino, se inicia antes de ocurrir el proceso de adhesión y de implantación que veremos más adelante (*Fotografía 4*).

Las membranas extraembrionarias son:

- 1. Amnios**, derivado del ectodermo. Forma una cápsula protectora llena de líquido alrededor del embrión, que se conoce como el líquido amniótico.
- 2. Saco vitelino**, derivado del endodermo. Cumple una función nutritiva en algunos mamíferos, al fusionarse con el corion. En bovinos, cumple solo una función hematopoyética en el primer trimestre de la gestación; luego sufre una regresión.
- 3. Alantoides**, derivado del endodermo y del **mesodermo extraembrionario**. Forma los vasos sanguíneos placentarios, y se asocia a la eliminación de los desechos metabólicos del embrión, mediante la formación del cordón umbilical.
- 4. Corion**, derivado del trofoblasto. Establece contacto directo con la mucosa del útero, pero al ser avascular, debe recibir vasos sanguíneos del alantoides, formando el corioalantoides.



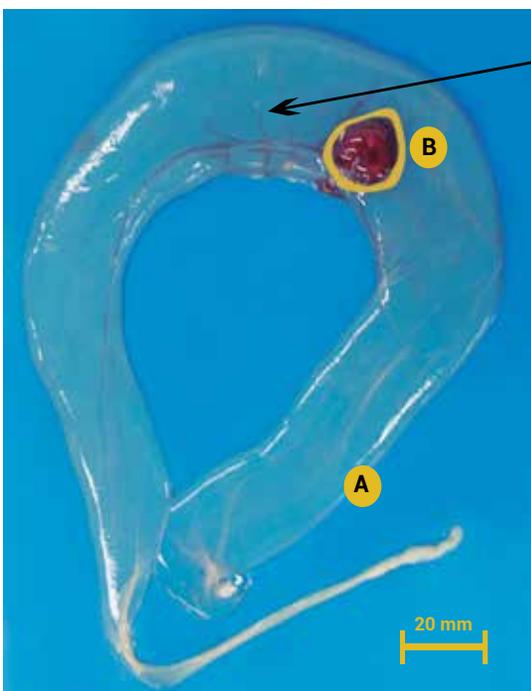
Sabías que...

- El líquido amniótico, sirve para amortiguar las presiones mecánicas a las que puede estar sometido el embrión o feto.

Diferencia de las aves y los reptiles, el saco vitelino de los mamíferos es pequeño y está desprovisto de yema.

¿Qué función cumple el cordón umbilical?

En mamíferos placentarios, el **cordón umbilical** comunica el embrión o feto con su madre, conteniendo vasos sanguíneos que permiten el intercambio de nutrientes, oxígeno, y metabolitos de desecho entre ambos.



C

(A) Corión.

(B) Amnios.

(C) Vascularización de la placenta.

Fotografía 4. Gestación bovina de aproximada de 35 días. Se observa el **corión** muy unido al alantoides, con una longitud de 48 cm aproximadamente y con presencia de líquido alantoideo. Los **cotiledones** aún no son visibles. El **amnios** de 2 cm de diámetro aproximadamente, presenta escaso líquido amniótico y tiene, en esta fotografía, una apariencia hemorrágica, donde se evidencia la presencia del embrión en forma de C.

Adhesión e implantación

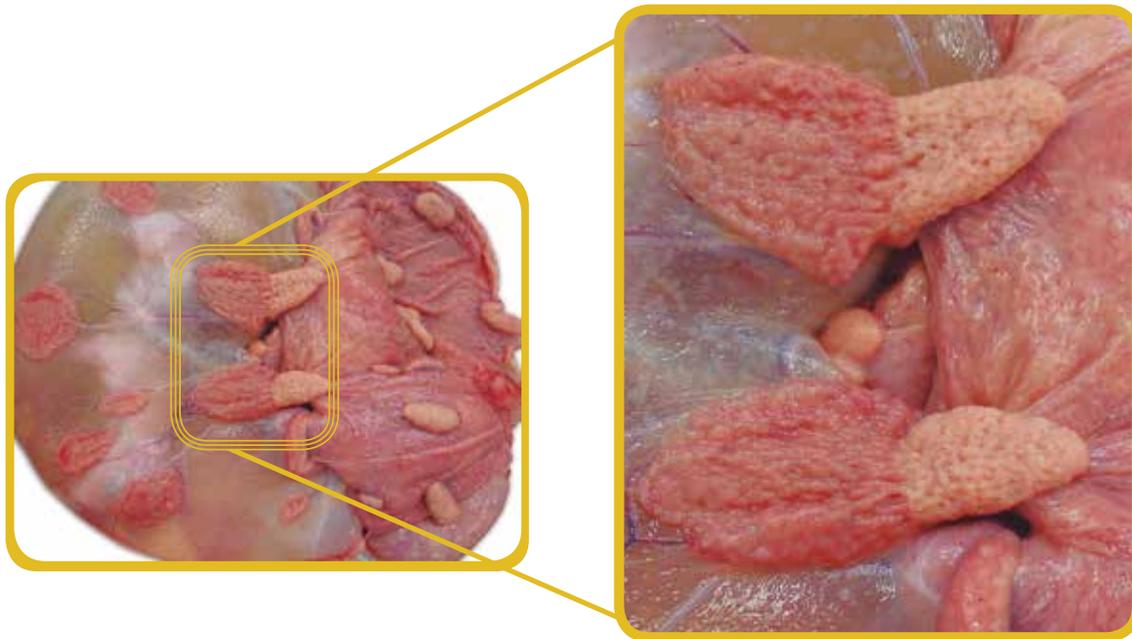
Se entiende como **adhesión**, el periodo en el cual el embrión desarrolla una unión inicial débil con el endometrio (aposición), para posteriormente comenzar un proceso de implantación.

La implantación, es un evento en el que el trofoblasto del embrión se une a la superficie del endometrio materno, comenzando la formación de la placenta, que permitirá un intercambio de sustancias entre el embrión (luego el feto), y la circulación materna.

Inicialmente, el trofoblasto desarrolla prolongaciones celulares o vellosidades corioalantoideas, que entran en contacto con las glándulas uterinas. Ellas permiten una unión transitoria para el embrión, mientras se complete la implantación. Posteriormente, células binucleadas del trofoblasto invadirán el endometrio, y serán las encargadas de producir el **lactógeno placentario**, que es el responsable de la estimulación del crecimiento de la glándula mamaria en la madre. Luego de la adhesión e implantación, el embrión comenzará el desarrollo de los órganos y sistemas.

Placentación

Culminado el proceso de formación de las membranas extraembrionarias, la adhesión y la implantación del embrión, continúa un proceso denominado: **placentación**, en el cual las vellosidades del corión se agrupan, formando una estructura llamada **cotiledón**. Cada cotiledón se unirá a una **carúncula** endometrial, para formar una estructura denominada placentoma. En la gestación de la vaca, se ha establecido que el número de **placentomas** que se forman, oscila entre 73 y 120, aproximadamente. En los bovinos, la placenta es la suma de todos los placentomas (*Fotografía 5*).



Fotografía 5. Conformación de los placentomas. La unión de la carúncula materna con el cotiledón fetal, permitirá el paso de nutrientes, gases y otras moléculas, desde o hacia, el feto y la madre.

El papel de la placenta, incluye funciones: digestivas, metabólicas, hormonales e inmunológicas, debido a que diferentes sustancias son transportadas a través de la ella, como: oxígeno, dióxido de carbono, agua, electrolitos, vitaminas, minerales, aminoácidos y azúcares. Por el tipo de placenta en la vaca, solo proteínas muy pequeñas pasan a través de esta; por lo tanto, moléculas como las inmunoglobulinas maternas, no llegan a la circulación fetal. Otras funciones de la placenta, incluyen la protección del embrión y feto contra golpes o movimientos bruscos. Como órgano endocrino, ayuda a la producción de hormonas como: bINT- τ , P4, PGF $_2\alpha$ y relaxina.



Sabías que...

La placenta es el único órgano formado por dos cuerpos diferentes: la madre que contribuye con su endometrio, y el feto que aporta la fusión del corión y el alantoides.

¿Y qué hacen los placentomas?

Los placentomas como estructura para la nutrición del feto, permiten el paso de los nutrientes de la madre hacia este y el paso de los desechos del feto hacia la madre. Se debe aclarar que por el tipo de placentación que presenta el bovino, no hay posibilidad de intercambio de sangre materna con la fetal, aunque algunas enfermedades pueden transmitirse de la madre al feto. Cada uno de los cotiledones que se encuentra en la placenta, se conecta hacia el cordón umbilical, para llevar sangre, desde, y hacia, el embrión.

Clasificación de la placenta en la vaca

La placenta de los bovinos puede clasificarse, dependiendo de algunos factores como: el número de capas de tejido que separan a la sangre fetal de la materna, y la distribución de las vellosidades corioalantoideas.

Clasificación según el número de capas de tejido

Según esta clasificación, la placenta de la vaca se conoce como: **epiteliocorial**, porque conserva los seis tejidos que son: endotelio de capilares del endometrio, intersticio del endometrio, epitelio del endometrio, endotelio de capilares alantoideos, intersticio del corión y epitelio del corión. Sin embargo, en algunas zonas el epitelio materno tiene períodos de transición, en los cuales se produce un contacto entre los tejidos conectivo materno y el epitelio fetal, por lo cual la placenta puede ser clasificada en algunas oportunidades como: **sindesmocorial** (Figura 9).

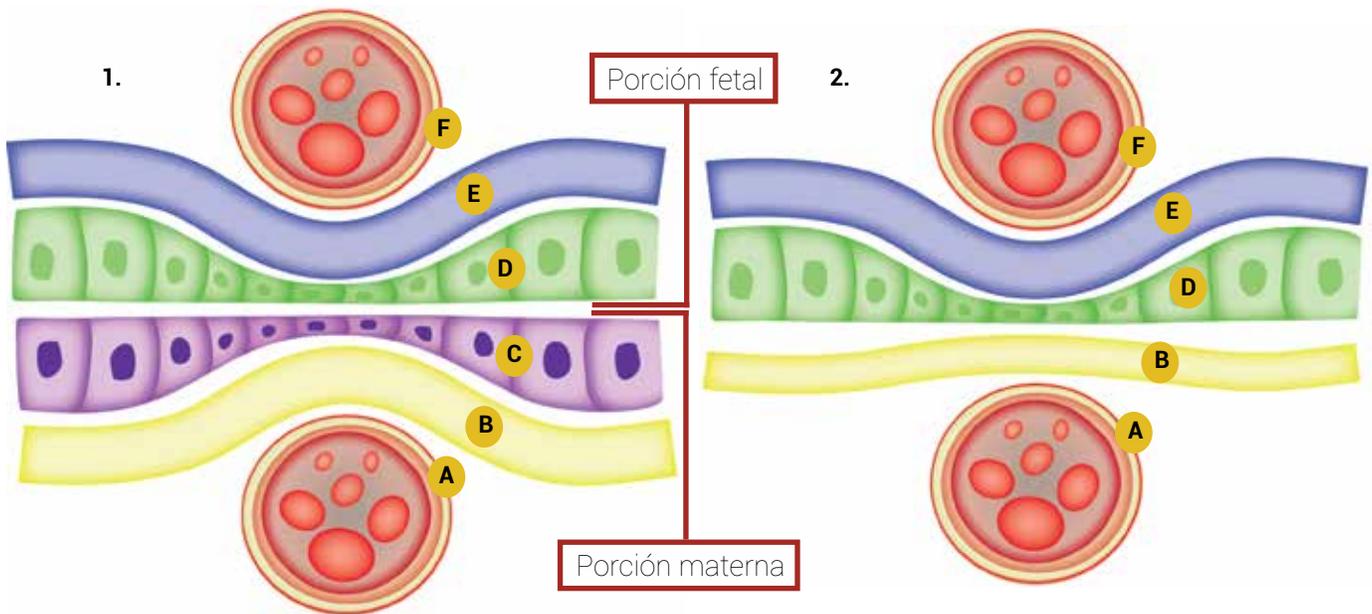
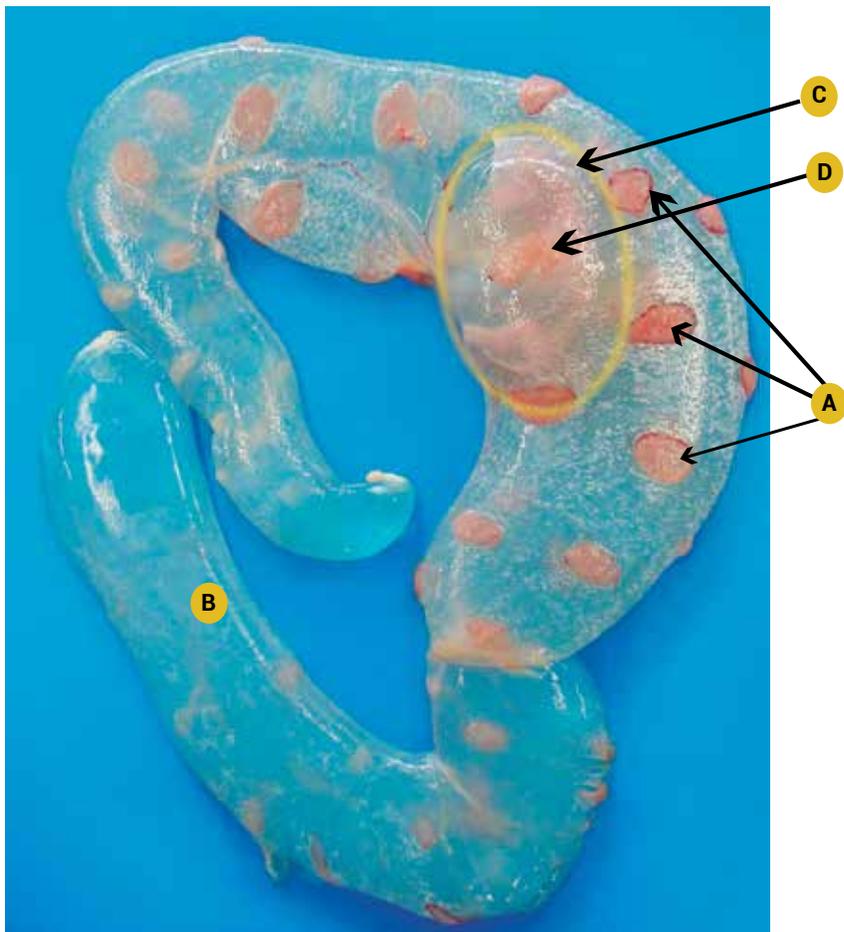


Figura 9. Placenta epiteliocorial y sindesmocorial. Observa la diferencia entre la placenta epiteliocorial (1) la cual presenta los 6 tejidos: endotelio de capilares del endometrio (A), intersticio del endometrio (B), epitelio del endometrio (C), epitelio del corión (D), intersticio del corión (E) y endotelio de capilares alantoideos (F) y la placenta sindesmocorial (2), que no posee el epitelio del endometrio.

Clasificación según la distribución de las vellosidades corioalantoideas

La placenta se clasifica como: **cotiledonaria**, por la forma en que se agrupan las vellosidades. Es por eso que las venas y arterias umbilicales llegan a la placenta y se distribuyen mayormente en los cotiledones, cuya conformación permite el intercambio de nutrientes (Fotografía 6).

Fotografía 6. Placenta cotiledonaria. Observa la placenta de la vaca en donde se aprecia la conformación de los cotiledones y se diferencian estructuras como: la membrana corioalantoidea, la vesícula amniótica y el feto.



- (A) Cotiledones.
- (B) Membrana corioalantoidea.
- (C) Vesícula amniótica.
- (D) Feto.

Organogénesis

La organogénesis es el proceso de formación de todos los órganos y sistemas en el embrión, a partir de las tres capas germinales formadas en la gastrulación. Todos los órganos y sistemas, tienen un proceso de desarrollo muy interesante; sin embargo, por su importancia o por sus particularidades, algunos sistemas se estudian con más detenimiento que otros.

El primer sistema que se comienza a formar, es el sistema nervioso, derivado del ectodermo en un proceso que se ha denominado: **neurulación**. El sistema nervioso central comienza como un surco, que luego se cierra y se transforma en un tubo, el **tubo neural**, que va desde lo que será la cabeza del embrión, hasta lo que será la cola. En la parte de la cabeza el tubo neural, se ensancha formado primero tres vesículas y luego cinco; de las cinco vesículas, se forman todas las partes del encéfalo.

Otro sistema importante desde el desarrollo embrionario, es el cardiovascular, derivado del mesodermo. Las células del mesodermo forman vasos sanguíneos primitivos; otras células de esta misma capa, se ubican en el centro del vaso

sanguíneo, dando origen a las células sanguíneas. El corazón comienza a formarse de forma tubular, y por un difícil proceso de encorvamiento en forma de S, y posterior reordenamiento celular; aparece como un órgano con dos cavidades: una ventricular y una auricular. Finalmente, cada una de estas cavidades se separa, para dar lugar al corazón de cuatro cavidades. Antes del parto, aún hay comunicación entre las dos aurículas, conocidas como: el foramen oval, lo que permite el paso de la sangre de la aurícula derecha, a la izquierda. Una vez que el ternero nace, el foramen oval se cierra.

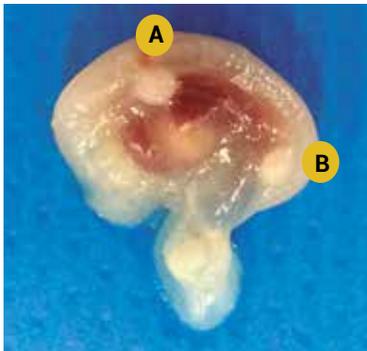
El sistema musculoesquelético axial, se forma mediante un proceso que se compone de dos partes. Primero, un grupo de células mesodérmicas se ubican justo debajo del tubo neural formando una estructura que se denomina la **notocorda**, la cual produce proteínas que sirven como señales de posición y destino para la formación de todo el sistema músculo esquelético axial. La notocorda, da forma y soporte, mientras se forman las vértebras y finalmente desaparece, aunque sus residuos forman parte del núcleo pulposo de los discos intervertebrales.



Sabías que...

Cuando el foramen oval no se cierra completamente al momento del nacimiento del ternero, se denomina agujero oval persistente.

En segundo lugar, a los lados de la notocorda se observan formaciones de células del mesodermo, que se organizan de manera par. Estas estructuras se llaman **somitas**, y son las que dan origen a las vértebras, costillas, músculos, tendones y ligamentos del esqueleto axial. Los somitas se forman primero en la región de la cabeza, y luego se van formando en sentido caudal, hasta la punta de la cola, activados por un "reloj" del desarrollo. En un embrión bovino, se pueden observar de 56 a 62 pares de somitas (*Fotografías 7 y 8*).



(A) Miembros anteriores
(B) Miembros posteriores

El sistema reproductivo, se deriva del mesodermo y tiene un tipo de desarrollo muy particular. Los órganos reproductivos externos e internos, se empiezan a desarrollar de la misma manera en embriones, sin importar que vayan a ser machos o hembras. Las gónadas embrionarias son indiferenciadas, y tienen el potencial de convertirse en testículos o en ovarios.

En un embrión destinado a ser hembra, se forman estructuras primitivas que darán origen al útero y a los oviductos; se conocen como: **conductos de Müller o paramesonéfricos**, que desaparecen en el macho. En un embrión destinado a ser macho, las estructuras primitivas que se forman son: los **conductos de Wolff o mesonéfricos**, que darán

Sabías que...

El número de somitas y la región en donde estén formados, es uno de los indicadores de la edad de un embrión.



Fotografía 7. Gestación bovina aproximada de 35 días. Observa un embrión con curvatura pronunciada en forma de C, y en su amnios se ve claramente los esbozos de miembros anteriores y posteriores, con vesículas encefálicas visibles con prominencia del telencéfalo. En esta etapa, el tubo neural ya se ha cerrado y el embrión tiene entre 30 y 36 pares de somitas.

origen al epidídimo y los conductos deferentes que desaparecen en la hembra. Los genitales externos, se forman de igual manera en ambos sexos, con estructuras localizadas alrededor de la abertura urogenital. El tubérculo genital, que es el órgano embrionario primitivo que dará origen al desarrollo de los órganos sexuales externos, se diferenciará para dar origen al glande o al clítoris; los pliegues urogenitales, dan origen a los labios menores en la hembra y se cierran en el macho, para participar en la formación del pene. Finalmente, los pliegues labioescrotales dan origen a labios mayores en la hembra o al escroto en el macho. Todo esto ocurre, por la ausencia o presencia de dos hormonas masculinas: la testosterona y la hormona antimülleriana. Cuando estas dos hormonas están

presentes, las estructuras se masculinizan. Cuando están ausentes, se feminizan. Durante el desarrollo embrionario, los estrógenos no juegan ningún papel en el desarrollo del sistema reproductivo.



Fotografía 8. Desarrollo embrionario en la vaca.

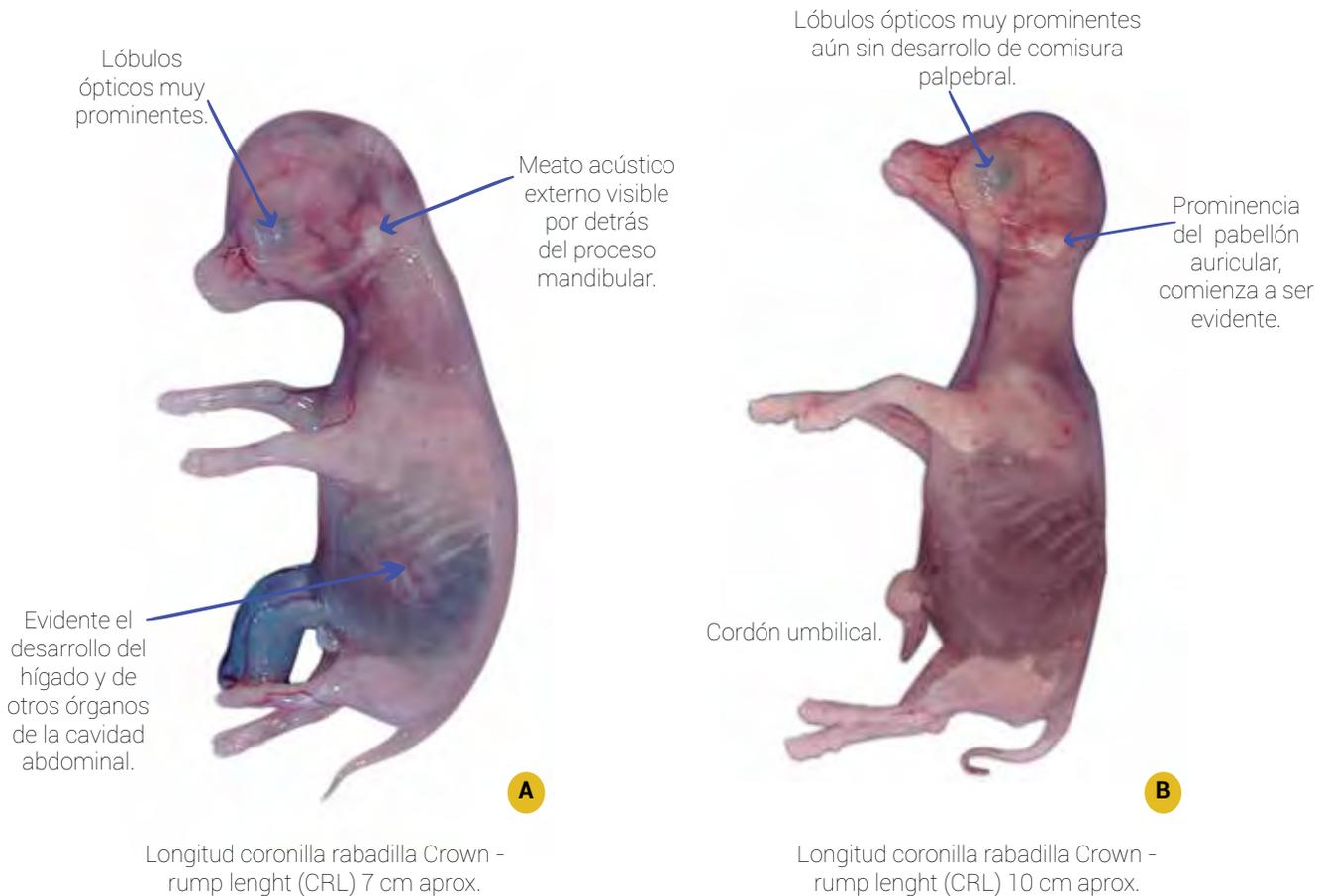
¿Cómo podemos conocer algunas edades de los embriones bovinos?

Para determinar la edad de los embriones, se debe tener en cuenta su tamaño, su forma y el desarrollo de los órganos. Una de las mediciones más usadas, es la que se hace desde la coronilla del embrión hasta su rabo (***crown-rump length***), y hay tablas que permiten determinar aproximadamente la edad del embrión y del feto, de acuerdo a esta longitud.

Longitud (cm)	Edad aproximada del embrión en días
1	30-35
2	36-38
3	38-41
4	41-44
5	44-47
6	47-51
7	51-55

Una vez finaliza la formación de los órganos y los sistemas, se da el proceso de deposición de calcio en los huesos, y el embrión, toma la forma característica de su especie; es aquí cuando podemos dejar de llamarlo embrión y debemos comenzar a llamarlo feto. No todos los embriones alcanzan el momento fetal el mismo día. Unos son más precoces que otros en ese proceso. En promedio, podemos esperar que se haya completado la organogénesis en bovinos, entre el día 54 y 60 (*Fotografía 9*).

Todo el proceso de desarrollo embrionario y fetal se conoce como gestación y en los bovinos dura aproximadamente 278 a 283 días, durante los cuales son notables los cambios en la conformación y la condición corporal de la madre. El feto seguirá con su crecimiento y desarrollo hasta el momento del parto.



Fotografía 9. Fetos bovinos en desarrollo. Observa dos fetos con diferente edad (A) 53 días y (B) 63 a 65 días, los cuales presentan desarrollo cartilaginoso evidente en: cabeza, costillas, columna vertebral y extremidades. El desarrollo osteomuscular está en etapas finales, puesto que sus miembros se encuentran completamente desarrollados, con articulaciones, dígitos y pezuñas definitivos. Además, el rostro se muestra completamente desarrollado y con vascularización evidente.

Estado de desarrollo	Descripción
Cigoto	Es la célula resultante de la fertilización y singamia con información genética diploide.
Embrión	Se refiere al desarrollo del cigoto desde la primera división mitótica o clivaje, hasta la culminación de la organogénesis.
Feto	Es una etapa de desarrollo posterior al embrión, en la cual ha culminado el proceso de organogénesis. Termina con el nacimiento del individuo.

Bibliografía

Bartolomé, J. (2009). Endocrinología y fisiología de la gestación y el parto en el bovino. *Taurus*, 11(42), 20-28.

Gilbert, S.F. (2003). *Developmental biology*. (7th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates Inc.

Góngora, A., Grajales, H., & Hernández, A. (2002). Aspectos morfofisiológicos y endocrinos durante la implantación embrionaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 49, 3-12.

Gordon, I.R. (2003). *Laboratory production of cattle embryos*. (2nd ed.). Wallingford, UK: CABI Publishing.

Hafez, E.S.E., & Hafez, B. (2000). *Reproducción e inseminación artificial de animales*. (7ª ed.). México: Mc Graw-Hill.

Lenis, Y., Olivera, M., & Tarazona, A. (2010). Señales moleculares que afectan la síntesis de PGF_{2α} y PGE₂ en el endometrio bovino. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(3), 377-389.

Lenis, Y., Olivera, M., & Tarazona, A. (2013). Efecto del ácido linoléico sobre la producción de las prostaglandinas PGF_{2α} y PGE₂ en células endometriales. *Revista MVZ Córdoba*, 18(2), 3559-3568.

Lenis, Y., Ramón, N., Restrepo, J., Olivera, M., & Tarazona, A. (2010). Interferón Tau en la ventana de reconocimiento materno embrionario bovino. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 17-28.

Noden, D.M., & De Lahunta, A. (1990). *Embriología de los animales domésticos: mecanismos de desarrollo y malformaciones*. Zaragoza, España: Acribia.

Pérez, J.F., & Pérez, F. (2006). *Tocoginecología*. España: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria.

Schwarze, E., Schröder, L., & Michel, G. (1970). *Compendio de anatomía veterinaria*. Tomo VI, Embriología. Zaragoza, España: Acribia.

Senger, P.L. (2012). *Pathways to pregnancy and parturition* (3rd ed.). Redmond, OR: Current Conceptions.

Slack, J.M.W. (2012). *Essential developmental biology*. (3rd ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.

Tokin, B.P. (1987). *Embriología general*. Moscú: Editorial MIR.

Tovío, N., Duica, A., & Grajales, H. (2008). Desarrollo embrionario y estrategias antiluteolíticas hormonales en programas de transplante de embriones bovinos. *Revista MVZ Córdoba*, 13(1), 1240-1251.

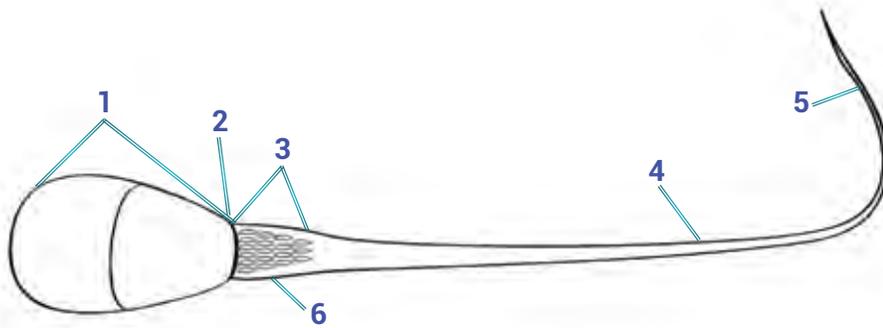
Juega y aprende

A continuación, encontrarás algunas actividades que te permitirán aplicar los conocimientos que adquiriste en este capítulo; colorea, completa, dibuja y aprende jugando.



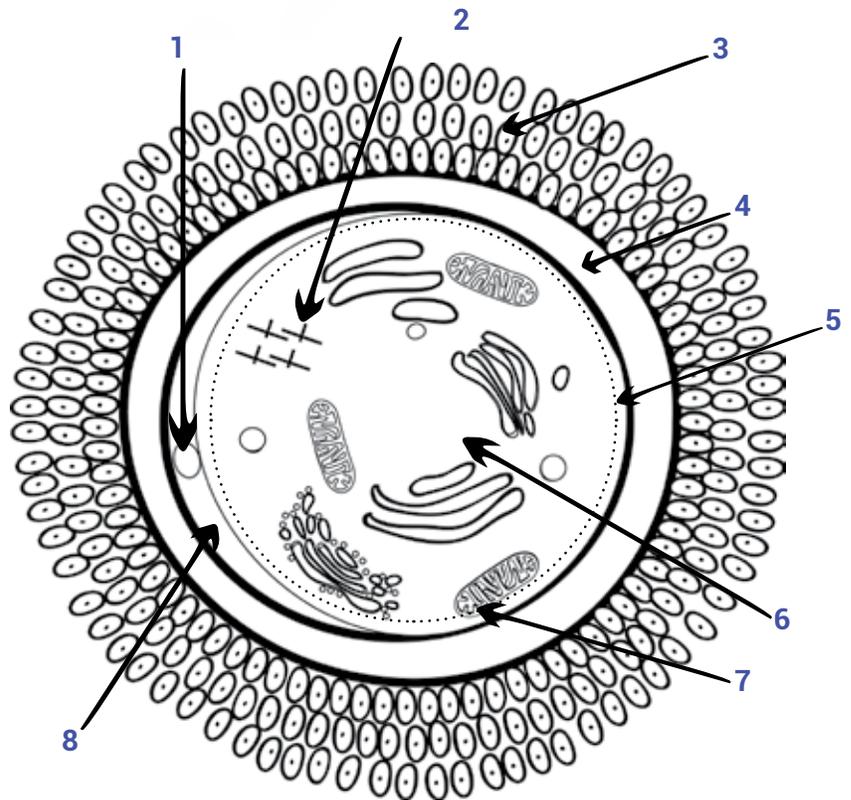
1. Colorea y escribe

Escribe cada una de las partes del espermatozoide y del oocito señaladas en las figuras; colorea cada una de ellas con un color diferente y escríbele una característica fisiológica.



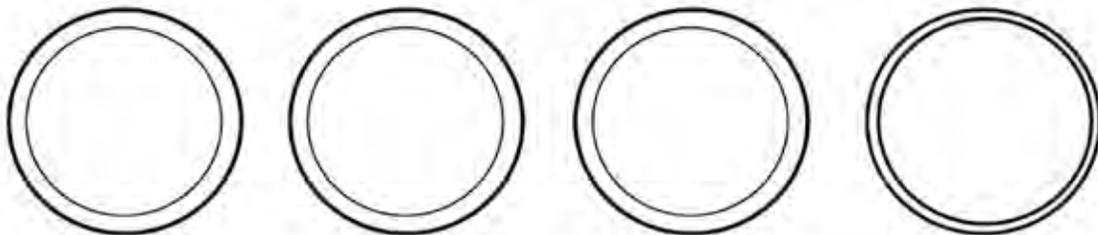
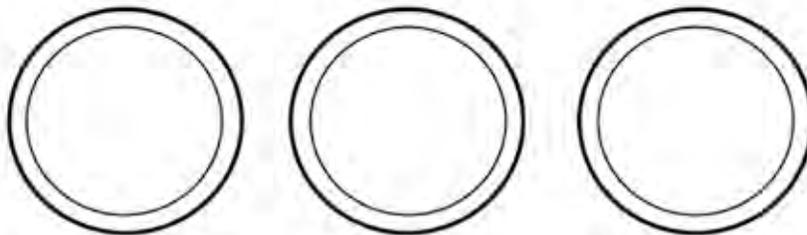
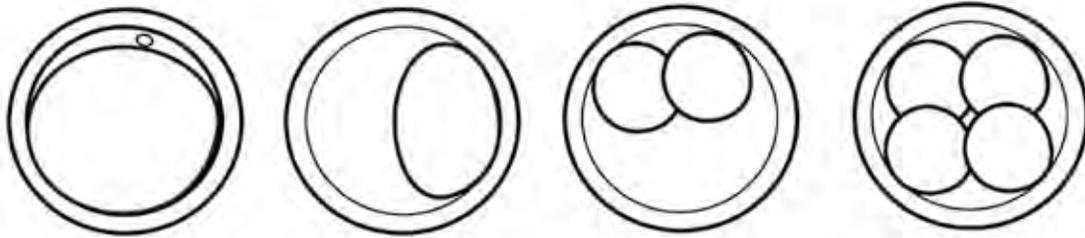
A green notepad with numbered lines 1 to 6, intended for writing the names and physiological characteristics of the sperm cell parts.

A blue notepad with numbered lines 1 to 8, intended for writing the names and physiological characteristics of the oocyte parts.



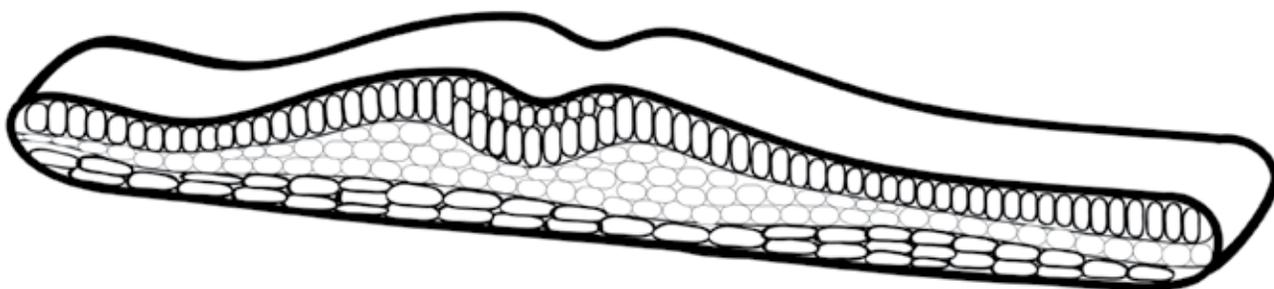
2. Identifica, escribe, dibuja y colorea

Identifica las estructuras embrionarias que encontrarás a continuación y asígnales a cada una de ellas un nombre. Adicionalmente, completa aquellas que consideres les haga falta algún detalle y dibújalo. Finalmente, pinta con un color diferente la zona pelúcida, las blastómeras, el embrioblasto y el trofoblasto.



3. Identifica, colorea y completa

En la siguiente gráfica, encontrarás un disco trilaminar; identifica las tres capas de tejido que lo componen. Posteriormente, colorea cada una de ellas con un color diferente que las identifique. Finalmente, completa el cuadro que encontrarás, escribiendo el nombre de al menos tres tejidos que se formarán a partir de cada una de estas capas.



Disco germinativo trilaminar	
Nombre	Tejidos

4. Identifica, colorea y argumenta

A continuación, encontrarás una figura en tamaño real; coloréala de un color rosado claro, y utiliza las herramientas para determinar su edad aproximada. Argumenta tu respuesta, definiendo si es un embrión o un feto, de acuerdo a las características de desarrollo que encuentres en él.

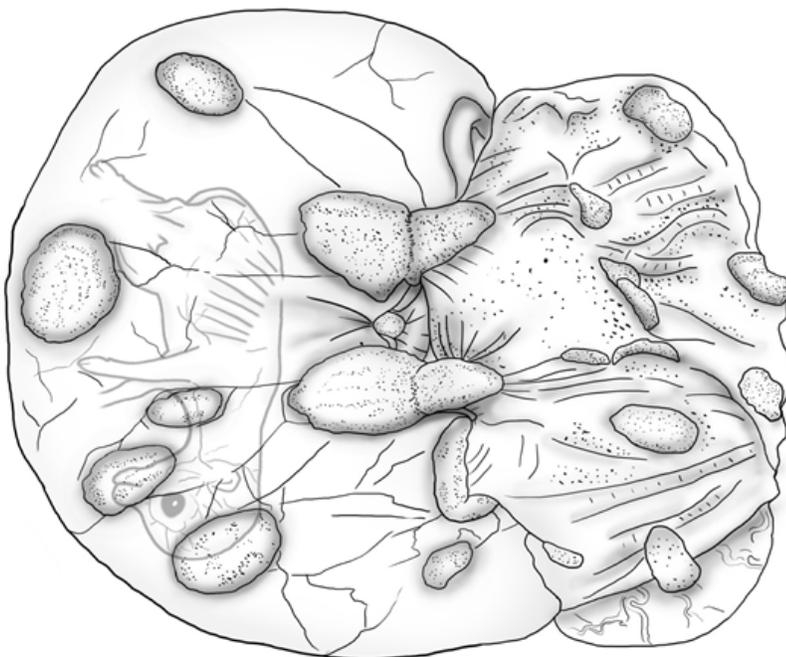


La figura corresponde a un:
A. Embrión
B. Feto

Argumenta:

5. Busca, colorea y escribe

Identifica y colorea con un color diferente el cotiledón y la carúncula; además, escribe el nombre de la estructura que conforman y su función principal.

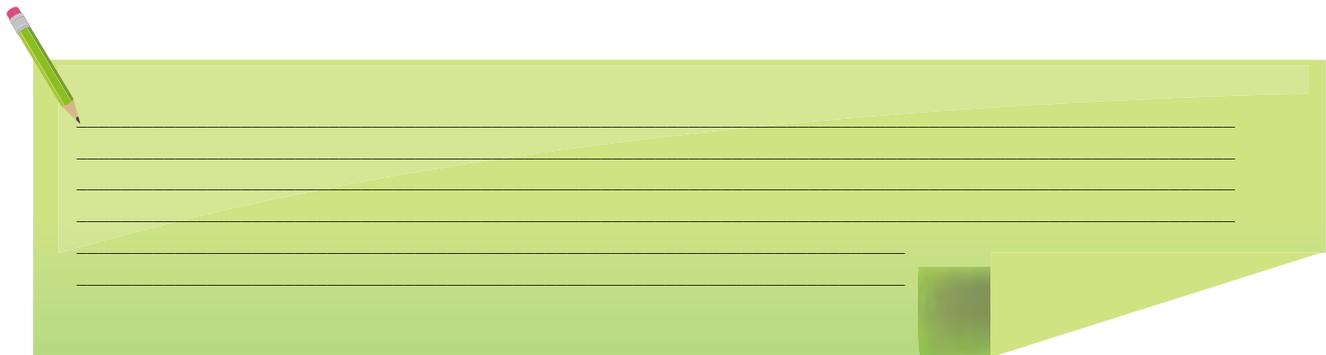
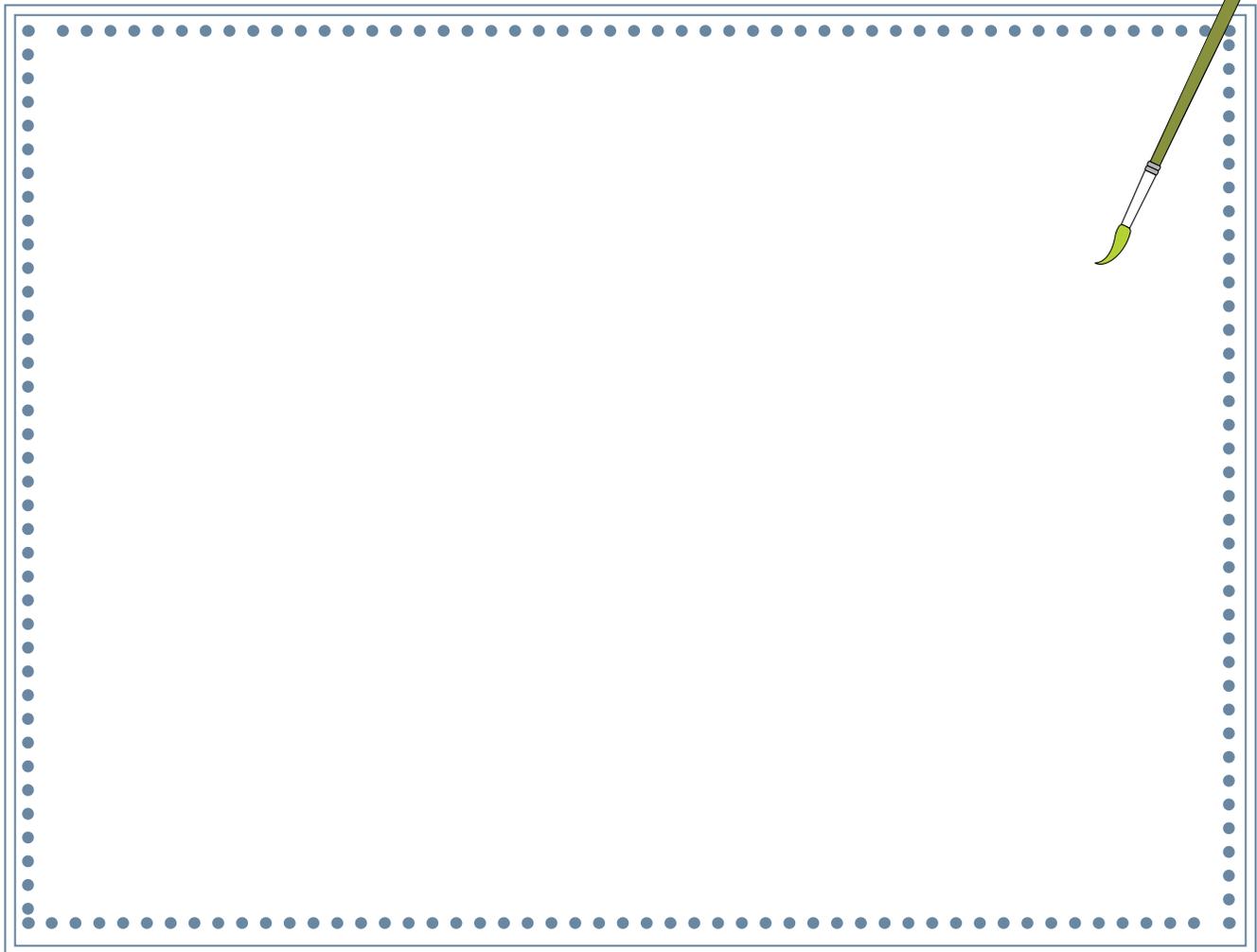


1. El nombre de la estructura que conforma la unión de un cotiledón y una carúncula es: _____
y su función principal es: _____

2. Según la distribución de vellosidades, esta placenta se puede clasificar como: _____

6. Dibuja, colorea y aprende

Haz un dibujo donde se muestren las seis capas de tejido de la placenta epiteliocorial; luego, coloréalo, teniendo en cuenta que cada una de estas capas debe llevar un color diferente. Señala y explica, la manera cómo este tipo de placenta puede clasificarse como sindesmocorial.



Capítulo 5

Desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca

Autores:

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc¹

Juan Guillermo Maldonado Estrada, MVZ, MSc, PhD²

Diego Fernando Carrillo, MVZ, MSc²

Nélida Rodríguez Osorio, MV, MSc, PhD²



¹ Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51- 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia.

Capítulo 5

Desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca



Bienvenidos al capítulo de desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca. A continuación, realizaremos un viaje por los distintos procesos relacionados con el desarrollo y el crecimiento del feto; adicionalmente, aprenderemos diferentes alternativas para diagnosticar las gestaciones, y cómo el tamaño de las asimetrías uterinas son un indicador para aproximarnos a la edad del embrión o feto. Por último, sabremos cuáles son los procesos fisiológicos que desencadenan el parto en la vaca

Desarrollo fetal

Durante la gestación ocurren grandes cambios en el organismo de la vaca, tanto anatómicos como fisiológicos. La vaca debe garantizar la seguridad física del feto y que este reciba los nutrientes y metabolitos que necesita para su desarrollo y crecimiento. La gestación, está acompañada de cambios sin precedentes en el organismo de la vaca y del funcionamiento del único órgano, formado por dos individuos: la placenta, con su componente materno y fetal.

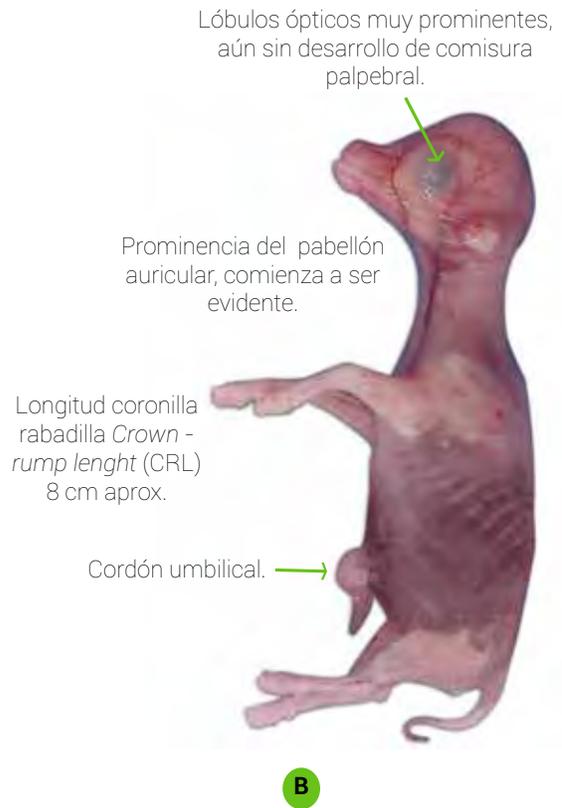
Durante el desarrollo embrionario, es difícil distinguir diferentes especies, pues todos se ven iguales, incluso de grupos tan lejanos como reptiles y mamíferos. Con el paso del tiempo, el embrión va tomando una forma más acorde con su especie, y una vez se le forman los órganos y sistemas, comenzamos a llamarlo feto. El desarrollo fetal se caracteriza por el crecimiento del feto. Inicialmente, el feto incrementa su longitud de manera más rápida que lo que incrementa su peso (*Fotografía 1*).

A partir del tercer trimestre de la gestación, la longitud se incrementa de manera más lenta, y se aumenta la proporción con que aumenta el peso del feto. Esto se debe, a que solamente a partir del primer semestre se comienza a depositar mayor cantidad de calcio en los huesos, aumenta la masa muscular y aumenta la deposición de tejido adiposo (*Fotografías 2 a 5*). Debido a esto, los requerimientos energéticos del feto aumentan hacia el tercer trimestre de la gestación.

Para determinar la edad aproximada del feto, se usan tablas de lo que se espera mida este en cada momento de la gestación. La medida usada, se llama: **longitud coronilla-rabadilla**, y va desde la parte superior del cráneo del feto (coronilla), hasta donde termina la pelvis, lo que incluye algunas de las vértebras coccígeas, pero no todas (rabadilla). Como el número de vértebras coccígeas es variable, incluso en individuos de la misma especie, incluir la longitud de toda la cola en el cálculo de la edad del feto, puede ocasionar errores en la exactitud del cálculo. La longitud hasta el final de la pelvis es menos variable, y permite calcular la edad del feto de una manera más acertada. Esta longitud también se conoce como longitud **céfalo – caudal** (*Tabla 1*).

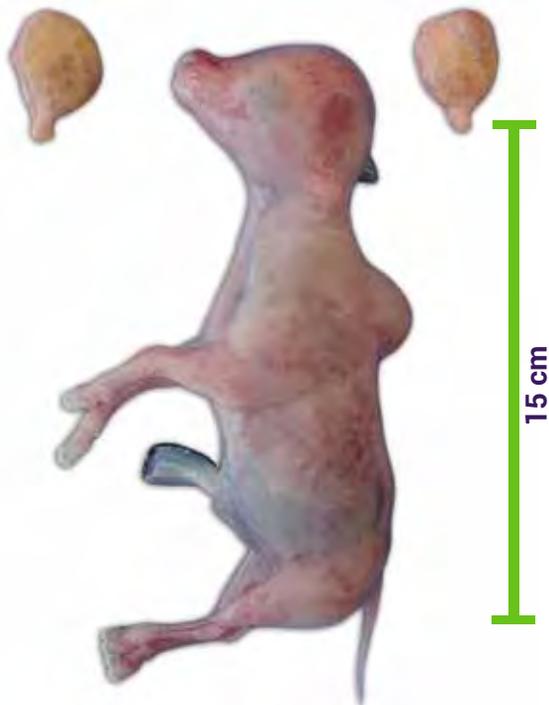


Feto de aproximadamente 51 a 55 días de edad aproximadamente.



Feto de aproximadamente 57 a 58 días de edad aproximadamente.

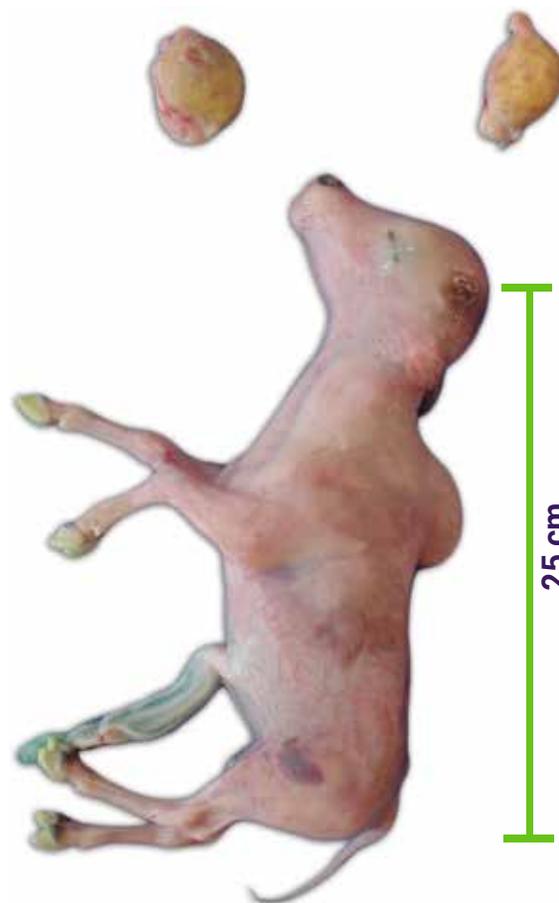
Fotografía 1. Fetos Bovinos. Observa fetos con proceso de osificación, desarrollo cartilaginoso evidente en: cabeza, columna vertebral, costillas y extremidades; rostro completamente desarrollado; vascularización evidente y miembros completamente desarrollados con: articulaciones, dígitos y pezuñas definitivos.



Fotografía 2. Feto bovino, con los ovarios de su madre. Observa que el feto presenta una longitud de la raíz de la cola a la cabeza cerca de 15 cm, correspondiente a una edad de desarrollo de 80 días aproximadamente. Se advierte la conformación de pezuñas y orejas, características propias de la especie *Bos indicus*. En el ovario derecho, se observa el cuerpo lúteo.

Tabla 1. Longitud céfalo caudal de fetos bovinos, relacionada con la edad aproximada en días.

Longitud céfalo caudal (cm)	Edad aproximada del feto en días
8	55 – 58
10	62 – 65
15	78 – 85
20	95 – 100
25	110 – 120
30	125 – 132
35	135 – 145
40	150 – 160
45	165 – 172
50	175 – 185
60	200 – 208
70	220 – 230
80	240 – 250
90	255 – 260
100	260 – 280



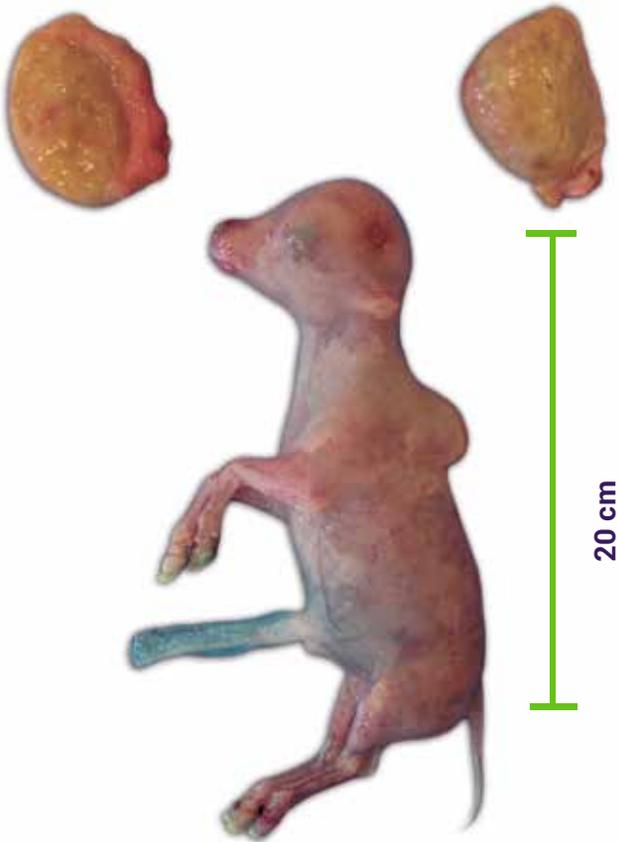
Fotografía 3. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza de aproximadamente 25 cm. Este feto corresponde a una edad de desarrollo de aproximadamente 110 a 120 días. Se observa la conformación de pezuñas, orejas y giba, que son características propias de la especie *Bos Indicus*.

Para calcular la edad del feto, se usan además las medidas de longitud de algunos huesos largos (fémur, radio o tibia), la medida de la circunferencia de la cabeza. Estas medidas, tienen una relación alta entre sí, y a su vez se ha demostrado que se relacionan de manera directa con el peso del feto, por lo cual pueden servir para predecir el peso aproximado (Tabla 2).

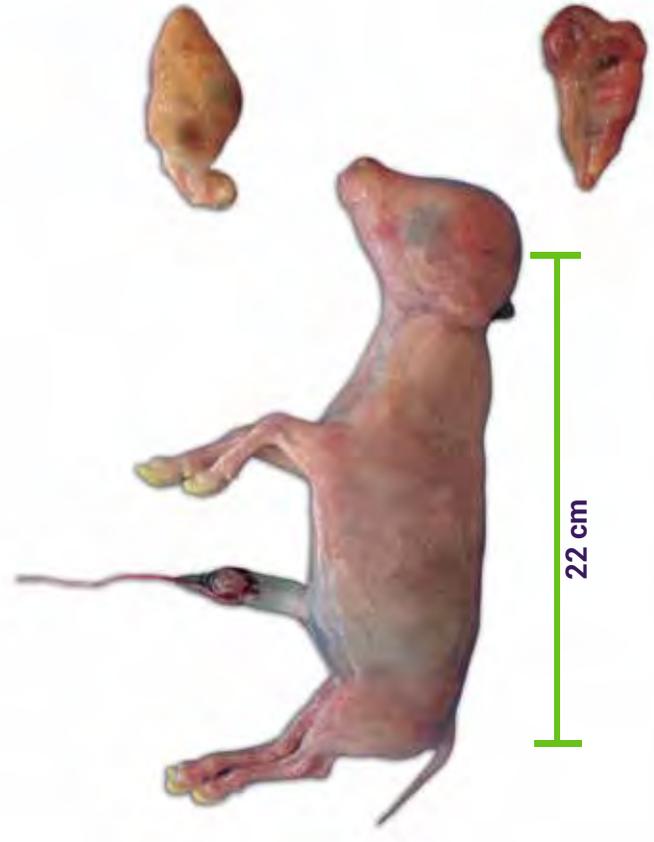
El tamaño del feto depende de varios factores, por lo cual estas tablas solo pueden servir como referencia aproximada. Entre estos factores, hay algunos genéticos como la raza y el fenotipo del feto, y otros ambientales como: la edad de la madre, la nutrición y el manejo, entre otros.

Tabla 2. Otras medidas para calcular la edad del feto.

Edad (semanas)	Longitud céfalo-caudal (cm)	Circunferencia de la cabeza (cm)	Peso (gr)
10	10	10	0,2
20	40	25	10
30	70	40	10.000
40	100	52	30.000



Fotografía 4. Feto con características fenotípicas *Bos indicus* con una longitud alrededor de 20 cm. Correspondiente a una gestación aproximada entre 95 y 100 días.



Fotografía 5. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza de aproximadamente 22 cm. Correspondiente a una edad de desarrollo fetal entre los 100 y 110 días. Se nota la conformación de pezuñas y orejas, características propias de la especie *Bos taurus*. En el ovario derecho se observa el cuerpo lúteo gestacional.

Circulación fetal

La circulación fetal es relativamente similar a la del animal adulto, sin embargo, hay tres grandes diferencias:

1. La oxigenación de la sangre se da gracias a la incorporación de oxígeno a través de la placenta y no a nivel pulmonar.
2. La sangre venosa y arterial se mezclan, a través de comunicaciones entre el sistema arterial y venoso.
3. La concentración total de oxígeno en la sangre circulante fetal, es menor que en la circulación posnatal.

La sangre oxigenada (rica en nutrientes y oxígeno) de los placentomas ingresa al feto a través de la vena umbilical (dentro del cordón umbilical) y llega al hígado, en donde una pequeña parte penetra a la circulación portal del hígado, llevándole oxígeno y nutrientes al tejido hepático. El resto, va a la vena cava caudal, a través de un vaso sanguíneo que pasa por detrás del hígado: el conducto venoso.

En la vena cava caudal, la sangre oxigenada se mezcla con sangre venosa (pobre en nutrientes y oxígeno) procedente de las extremidades y pelvis del feto. La sangre viaja por la vena cava caudal hasta la aurícula derecha, donde pasa casi toda a la aurícula izquierda a través del agujero oval, y luego se dirige a oxigenar el corazón y el cerebro.

Una pequeña cantidad de sangre de la cava caudal, no pasa por el agujero oval, sino que se queda en la aurícula derecha y se mezcla con la sangre desoxigenada de la vena cava craneal, que viene de la cabeza. De la aurícula derecha, la sangre no oxigenada pasa al ventrículo derecho, de donde va a salir a través de la arteria pulmonar; pero como los pulmones están colapsados, solamente una pequeña proporción va a los capilares pulmonares, y la mayor parte pasa por el conducto arterioso hacia el cayado de la aorta, y luego a la aorta descendente.

Una porción de la sangre de la aorta descendente, se distribuye para irrigar los órganos abdominales y miembros inferiores, mientras que la mayor parte se reúne en las dos arterias umbilicales que a través del cordón umbilical, alcanzan los placentomas, sitio en el que se realizará nuevamente el intercambio de moléculas y nutrientes.



Sabías que...

Algunas de estas estructuras dejan de funcionar tras el nacimiento, y por lo tanto cambian de nombre o desaparecen; por ejemplo, la vena umbilical se convierte en el ligamento redondo del hígado, el conducto venoso se transforma en el ligamento venoso y las arterias umbilicales pasan a ser los ligamentos suspensores laterales de la vejiga; además el agujero oval y el conducto arterioso, se cierran.

La gestación en la vaca

La gestación en la hembra bovina, es el periodo que sigue a la fertilización, y está comprendida entre la formación del cigoto hasta el momento del parto, proceso que dura aproximadamente 283 días. Para efectos didácticos, la gestación se clasifica en tres etapas consecutivas: la **etapa del cigoto**, la **etapa del embrión** y la **etapa fetal** (Figura 1).

Esta clasificación tiene importantes implicaciones en el conocimiento de los procesos fisiológicos que se llevan a cabo en cada etapa, en los criterios de diagnóstico, y en el manejo reproductivo del hato. A continuación, describiremos cada una de ellas:

Etapa del cigoto

La primera etapa de la gestación, del cigoto, está comprendida entre la formación de este y el inicio del periodo implantatorio del embrión; esto es, desde poco después de la fertilización, hasta la adhesión inicial del trofoectodermo a las carúnculas uterinas, para dar inicio a los primordios de los placentomas. En esta etapa del cigoto, ocurre la mayor proporción de pérdidas gestacionales, que incluyen aquellas por falta de desarrollo del embrión desde mórula hasta blastocisto: falta de desarrollo del blastocisto, falta de eclosión del blastocisto desde su envoltura de la zona pelúcida, alteraciones del desarrollo preimplantatorio del embrión y de su capa trofoectodérmica. En general, estas pérdidas que se denominan de la etapa embrionaria preimplantación, se complementan con las pérdidas por alteraciones de la fertilización, como la falta de fertilización por muerte de alguno de los gametos, y se diagnostican porque la hembra retorna al estro en un intervalo regular que puede oscilar entre los 19 y 24 días, situación que se conoce como repetición regular del celo, **repetición regular del servicio, o retorno regular al servicio.**



Figura 1. Esquema del sitio de presentación de cada una de las etapas, de la gestación en la vaca.

Etapa del embrión

La segunda etapa de la gestación, la embrionaria, está comprendida entre el inicio de la adhesión del trofoectodermo al endometrio, y la culminación del periodo de diferenciación embrionaria, cuando ocurre el inicio de la mineralización del hueso fetal alrededor de los 45 días de gestación (*Fotografía 1*). En la etapa del embrión, ocurre el segundo lugar de pérdidas de la gestación, denominadas pérdidas embrionarias. Estas se caracterizan por la muerte del embrión, después de haber dado inicio al proceso de adherencia endometrial del trofoectodermo, y la formación de los primordios de los placentomas. Dado que estas pérdidas pueden ocurrir después de pasar el lapso de 19 a 24 días para un retorno regular

al estro, la hembra bovina afectada retornará al estro en un periodo diferente al intervalo anterior, el cual puede oscilar entre 29 y 35 días. Por este motivo, se le diagnóstica como pérdidas irregulares, **repetición irregular del servicio, o retorno irregular al estro.**

Etapa fetal

La tercera etapa de la gestación, la etapa fetal, está comprendida entre el inicio de la mineralización del hueso fetal y el momento de la expulsión del feto. Durante ella ocurre la menor proporción de pérdidas de la gestación, las cuales tienen tres presentaciones clínicas en orden de importancia: abortos, momificación fetal y maceración fetal (*Fotografías 2 a 5*).

¿Para qué sirve el diagnóstico gestacional en la vaca?

El diagnóstico de la gestación en las novillas y las vacas que han sido servidas por monta natural o por inseminación artificial, es una de las medidas de manejo con mayor importancia. En las ganaderías de tipo extensivo, el hecho de determinar entre el grupo de hembras (en los lotes de monta natural o inseminación artificial), cuáles están gestantes, permite seleccionarlas para retirarlas de los lotes de apareamiento o inseminación y destinarlas a los de gestación; de esta manera, los inseminadores o los toros, podrán recibir nuevas hembras en estado no gestante (vacías) que ingresan al programa.

Por otra parte, el manejo de los lotes de monta o inseminación, es diferente a los lotes de gestación, de tal forma que el diagnóstico favorece estos propósitos. Asimismo, el diagnóstico de las hembras gestantes hace parte del manejo del sistema de registros reproductivos del hato.



Sabías que...

Cuando un lote de hembras está en un programa de monta natural o inseminación artificial, el diagnóstico de las hembras gestantes permite estimar la tasa de eficiencia del inseminador, y la fertilidad del semen que está utilizando; mientras que en el caso de los lotes de monta natural, se evalúa la fertilidad del toro.

¿Cómo podemos diagnosticar la gestación en la vaca?

El diagnóstico de la gestación en la hembra bovina, se hace mediante el **examen clínico** del tracto reproductivo, el cual incluye: la anamnesis reproductiva, la inspección, la palpación del útero por vía transrectal (tocología veterinaria bovina) y el **uso de ayudas diagnósticas**. A continuación, describiremos cada una de ellas:

Anamnesis reproductiva

El primer criterio que se debe tener en cuenta en el diagnóstico gestacional, es la historia de los eventos reproductivos de la hembra, antes de proceder con el examen clínico. Cuando se usa la inseminación artificial, se requiere saber la fecha exacta de la inseminación, si es inseminación tradicional o inseminación a tiempo fijo (IATF), si el inseminador tiene reporte de un estro reciente, o si el personal de la finca ha visto la vaca con signos de estro o calor.

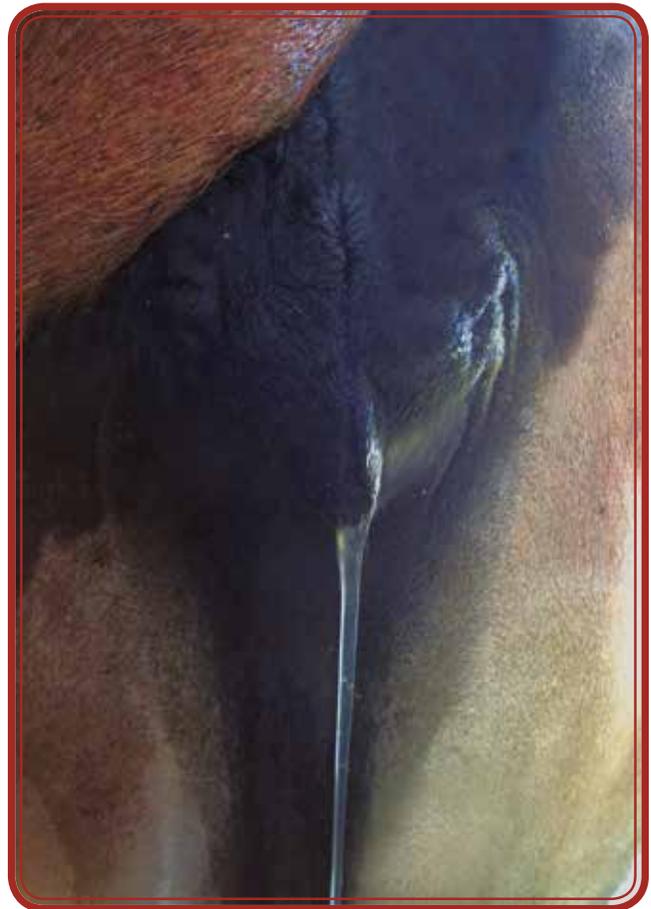
En segundo lugar, se puede preguntar a los inseminadores cómo les ha ido con el semen que están utilizando y saber su percepción sobre la fertilidad del mismo, lo cual va de la mano de la capacidad fertilizante del semen utilizado. También es importante saber si está trabajando un grupo de novillas que apenas ingresa al programa de reproducción de la empresa, si son vacas con cría menor de tres meses, o con crías de los 3 a los 9 meses. Todos estos aspectos, ayudan al médico veterinario a orientar su diagnóstico. En este caso, el médico veterinario sabe la fecha exacta de la inseminación, por los registros del inseminador, y podrá verificar la gestación mediante el uso de al menos tres criterios de diagnóstico temprano de gestación.

Cuando se usa la monta natural, es necesario saber cuánto tiempo lleva con el toro el lote de vacas que se va a evaluar, si es un toro joven (recién ha ingresado al programa como reproductor), o un toro adulto, y si han ocurrido movimientos recientes en el lote. En este caso, el médico veterinario debe verificar la edad de la gestación sin conocer la fecha de la monta, para lo cual debe usar más de tres

criterios de diagnóstico de gestación, incluyendo diagnóstico temprano o avanzado, en función del tiempo que lleve el lote de hembras con el toro.

Inspección

Consiste en la evaluación de la hembra bovina, realizando específicamente un examen de sus genitales externos y de la glándula mamaria. La inspección de la vulva y los labios vulvares, permite descartar la presencia de moco transparente y filante lo cual es signo de estro y en una vaca servida indica que la hembra no quedó preñada, lo que nos estaría diciendo es que se presentó una repetición regular del celo, si entró en calor 19 a 24 días después del servicio (*Fotografía 6*).



Fotografía 6. Vaca con una secreción vulvar de 22 días posinseminación. Observa la secreción de moco transparente y filante; este es un indicador de que la vaca no quedó gestando.

En las novillas, observar la glándula mamaria permite identificar el llenado entre los 4 y los 7 meses de gestación, lo cual obedece a una edematización del tejido mamario en proceso de desarrollo (mamogénesis gestacional), o bien al desarrollo de la ubre típico de la novilla y su llenado de calostro en los prodromos del parto.



Sabías que...

El color de la mucosa de los labios vulvares suele ser rosado pálido con un ligero tono amarillento en la vaca gestante, debido al efecto de la P4 en la vascularización.

Palpación del útero por vía transrectal (tocología bovina)

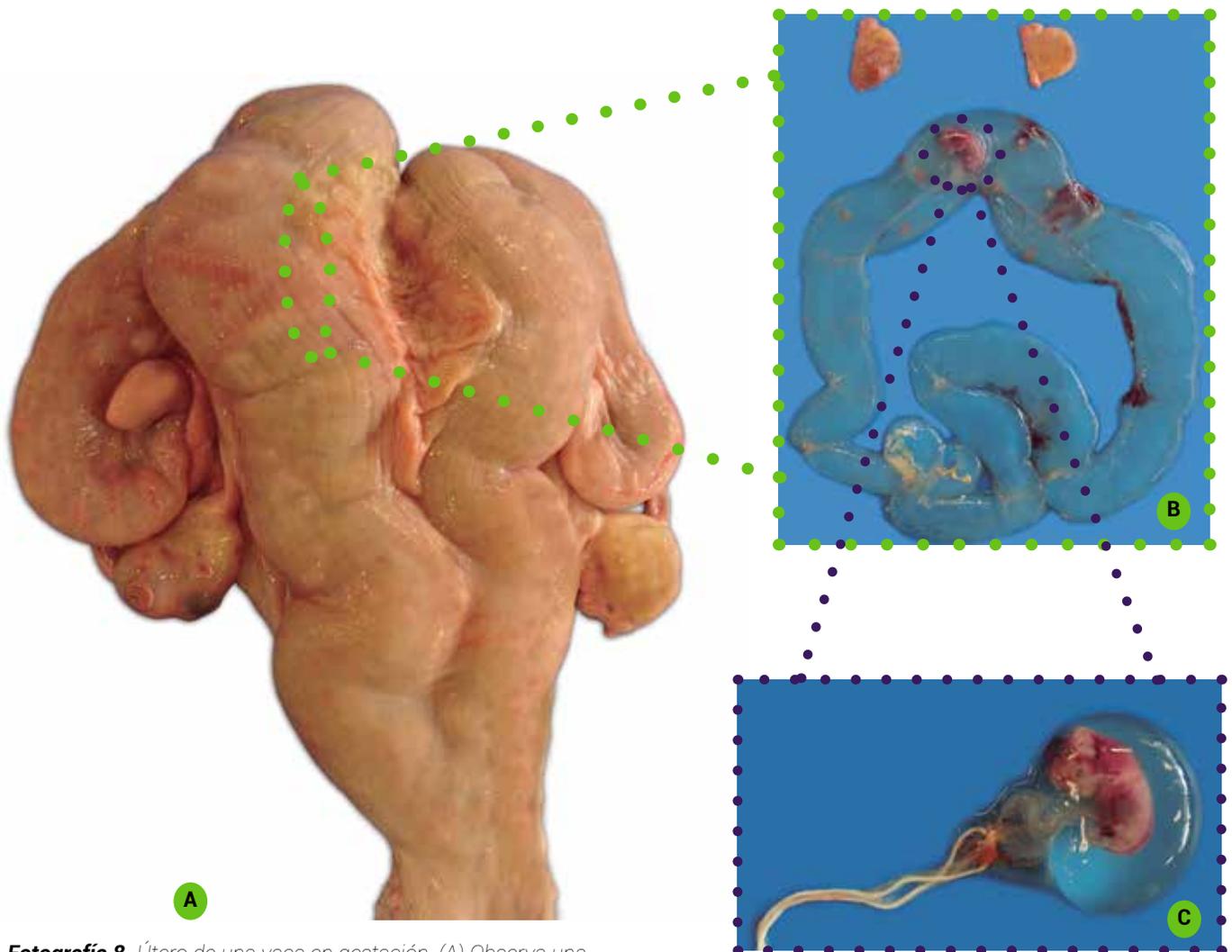
El diagnóstico tocológico bovino se hace mediante introducción de la mano del médico veterinario por vía transrectal, con el fin de ubicar el tracto uterino a través de la mucosa del recto y detectar los signos de gestación (Fotografía 7).



Fotografía 7. Médico veterinario realizando una palpación rectal en una hembra bovina. La palpación rectal nos ayuda a saber si una vaca está o no en gestación.

Signos de gestación temprana

En la hembra bovina gestante, el sitio de implantación del embrión suele ser el ápice de uno de los dos cuernos uterinos, razón por la cual se hace evidente el primer criterio de gestación temprana, **la asimetría de los cuernos uterinos**, lo que se establece al percibir el diámetro del cuerno gestante, con respecto al cuerno no gestante. El cuerno uterino gestante, tiene mayor diámetro que el cuerno uterino no gestante; el segundo criterio, es el **adelgazamiento de la pared** del cuerno uterino gestante, debido a la presencia de la vesícula alantoidea; el tercer criterio, es el **deslizamiento de las membranas fetales**, el cual se detecta cuando se hace el chequeo del grosor de la pared uterina, y se siente entre los dedos, el deslizamiento del ligamento corio-alantoideo; el cuarto criterio, es la **palpación de la vesícula amniótica**, lo cual se hace cuando el médico veterinario toma la vesícula alantoidea entre la yema de sus dedos y el pulpejo digital del dedo pulgar y siente cómo entre dicha membrana se desliza la vesícula amniótica (*Fotografía 8*). Todos estos procedimientos deben ser efectuados con sumo cuidado, para no incurrir en la pérdida de gestación iatrogénica por manipulación indebida. Si el médico veterinario tiene en cuenta los tres primeros criterios, puede diagnosticar una gestación desde los 30 días de edad.



Fotografía 8. Útero de una vaca en gestación. (A) Observa una leve asimetría del cuerno izquierdo respecto al derecho, el cual una vez abrimos, encontramos las membranas fetales (B), y por último, diferenciamos el embrión en la vesícula amniótica (C).

Signos de gestación avanzada

Los tres criterios de gestación temprana y el tamaño de la vesícula amniótica, pueden ser complementados con: la ubicación del útero en la cavidad pélvica, la detección de las estructuras fetales, la palpación de los placentomas, la caída del útero a la cavidad abdominal, el frémitus de la arteria uterina media del cuerno gestante, las extremidades del feto, y el desarrollo de la glándula mamaria cerca de los prodromos del parto. Cada una de las características anteriores, variarán con la edad de la gestación.

Uso de ayudas diagnósticas

Las ayudas diagnósticas, incluyen: la medición de hormonas, el uso de la ultrasonografía y el uso de técnicas de diagnóstico molecular.

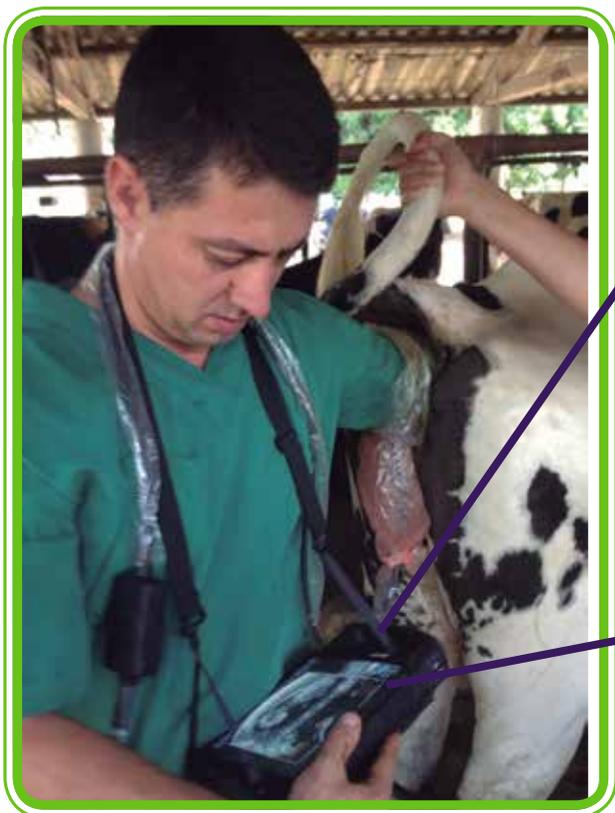
Medición de hormonas

La concentración sanguínea de la P4, y la **glicoproteína específica de la gestación (bINT- τ)**, es el procedimiento más utilizado en la medición

hormonal; sin embargo, su uso está limitado a procedimientos de investigación, dada la eficiencia y eficacia alcanzada por el procedimiento de tología bovina. La P4 puede ser medida desde los 25 días de gestación, cuyos niveles serán superiores a los 6 ng/ml, que es la concentración de la hormona en la hembra no gestante. En Colombia, no se ofrece el servicio de cuantificación del bINT- τ para uso en ganadería de tipo comercial. El bINT- τ , puede ser medido en secreciones uterinas, pero su uso costoso y la limitación temporal de su producción, hacen que su cuantificación no tenga aplicación en ganadería comercial.

Ultrasonografía

El uso de la ultrasonografía permite hacer diagnóstico de la gestación desde los 22 a 25 días de edad, cuando se detecta una vesícula amniótica de 20-25 mm de diámetro aproximadamente y se puede detectar el latido cardíaco. De ahí en adelante se puede usar en cualquier momento de la gestación. En virtud de la eficacia que se puede lograr con el diagnóstico tocológico bovino y su dominio para poder practicar el examen por ultrasonografía, su uso está restringido al diagnóstico con fines de investigación o a los programas de venta de hembras gestantes para certificar al comprador la gestación de la hembra bovina (Fotografía 9).



Fotografía 9. Uso de la ultrasonografía. Medición por ultrasonografía de la longitud de un feto bovino, desde la raíz de la cola hasta la cabeza. Observa que el valor es de 6,15 cm, correspondiente a una edad de desarrollo fetal de aproximadamente 50 días.

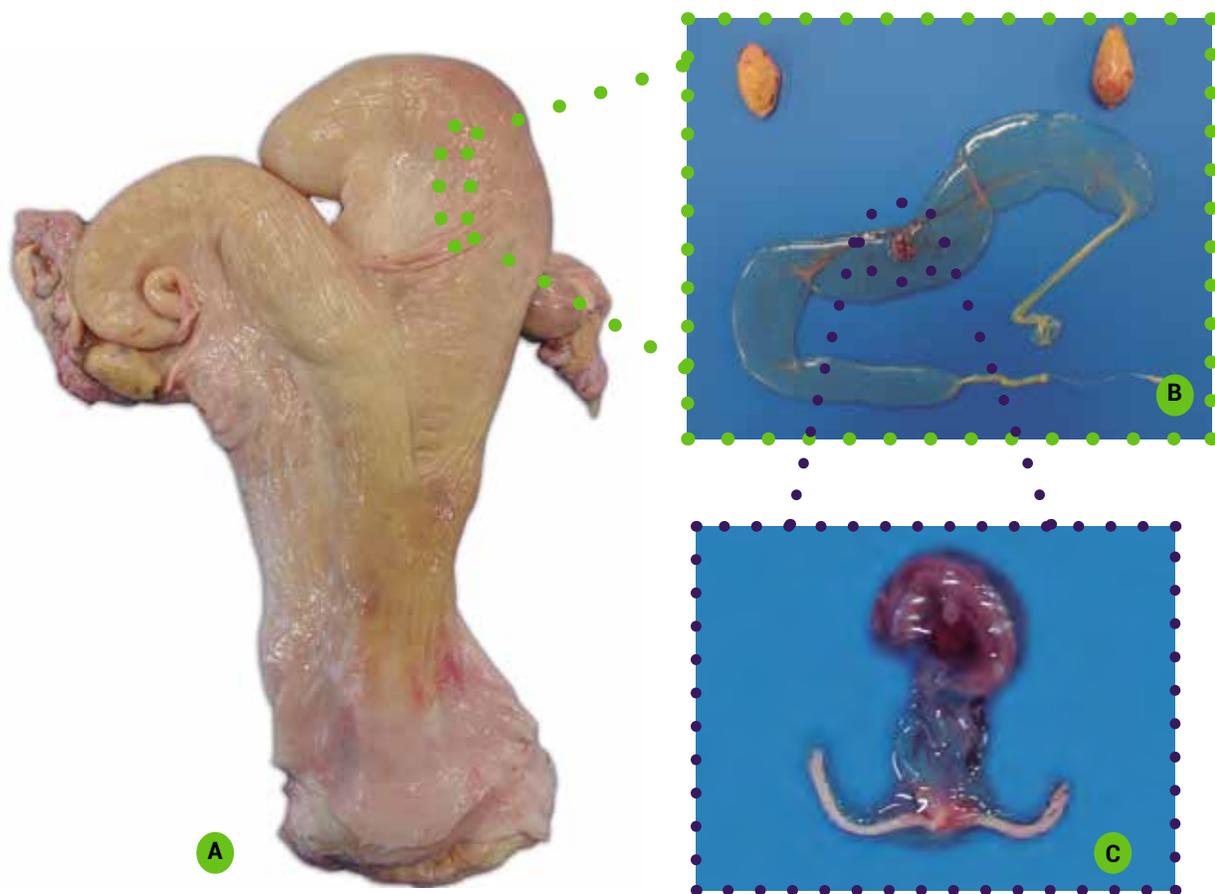
Técnicas de diagnóstico molecular

Estos procedimientos permiten detectar antígenos fetales o material genómico o proteico de origen fetal, pero su uso es con fines investigativos; debido a los elevados costos, no es aplicable a la ganadería comercial.

Úteros bovinos en diferentes estadios de gestación

Durante la gestación de la vaca se presentan diferentes cambios en su útero, que permiten realizar una aproximación a la edad de gestación. A continuación veremos fotos de úteros que contienen diferentes estructuras embrionarias y fetales.

Útero bovino con una gestación de 35 días



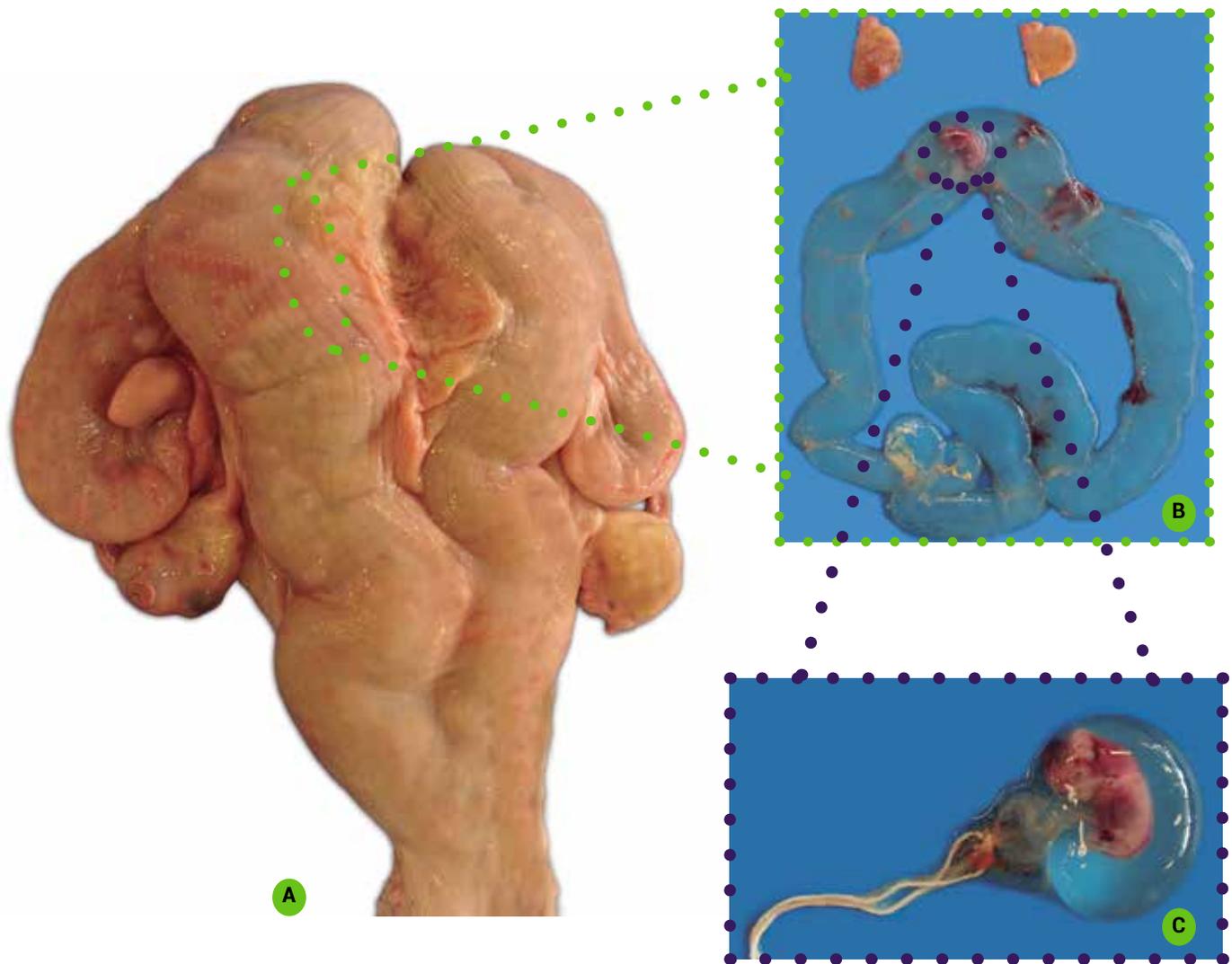
A. Útero Bovino. En la fotografía se observa una similitud en tamaño de cuernos uterinos; sin embargo, en el ovario derecho se observa el cuerpo lúteo.

A simple vista, es difícil diferenciar si hay evidencia o no, de una preñez, pero al diseccionar el útero sí contiene una gestación de 35 días aproximadamente. Los criterios para el diagnóstico de esta gestación son: asimetría de los cuernos uterinos, el adelgazamiento de la pared uterina, el deslizamiento de membranas y la presencia de la vesícula amniótica de 1,5 cm de diámetro.

B. Membrana corioalantoidea del mismo caso, con presencia de la vesícula amniótica que contiene un embrión en desarrollo (35 días aproximadamente), aún no son evidentes los primordios de los cotiledones, y se observa con claridad el ligamento corioalantoideo, el cual se detecta durante la maniobra de deslizamiento de membranas. En el ovario derecho, se observa el cuerpo lúteo gestacional, además, el tamaño de los ovarios, sirve de referencia para comparar el tamaño del embrión.

C. Una vez retirada la membrana corioalantoidea, se observa la presencia de la vesícula amniótica que contiene un embrión en desarrollo, con una edad gestacional aproximada de 35 días.

Útero bovino con una gestación de 40 a 45 días

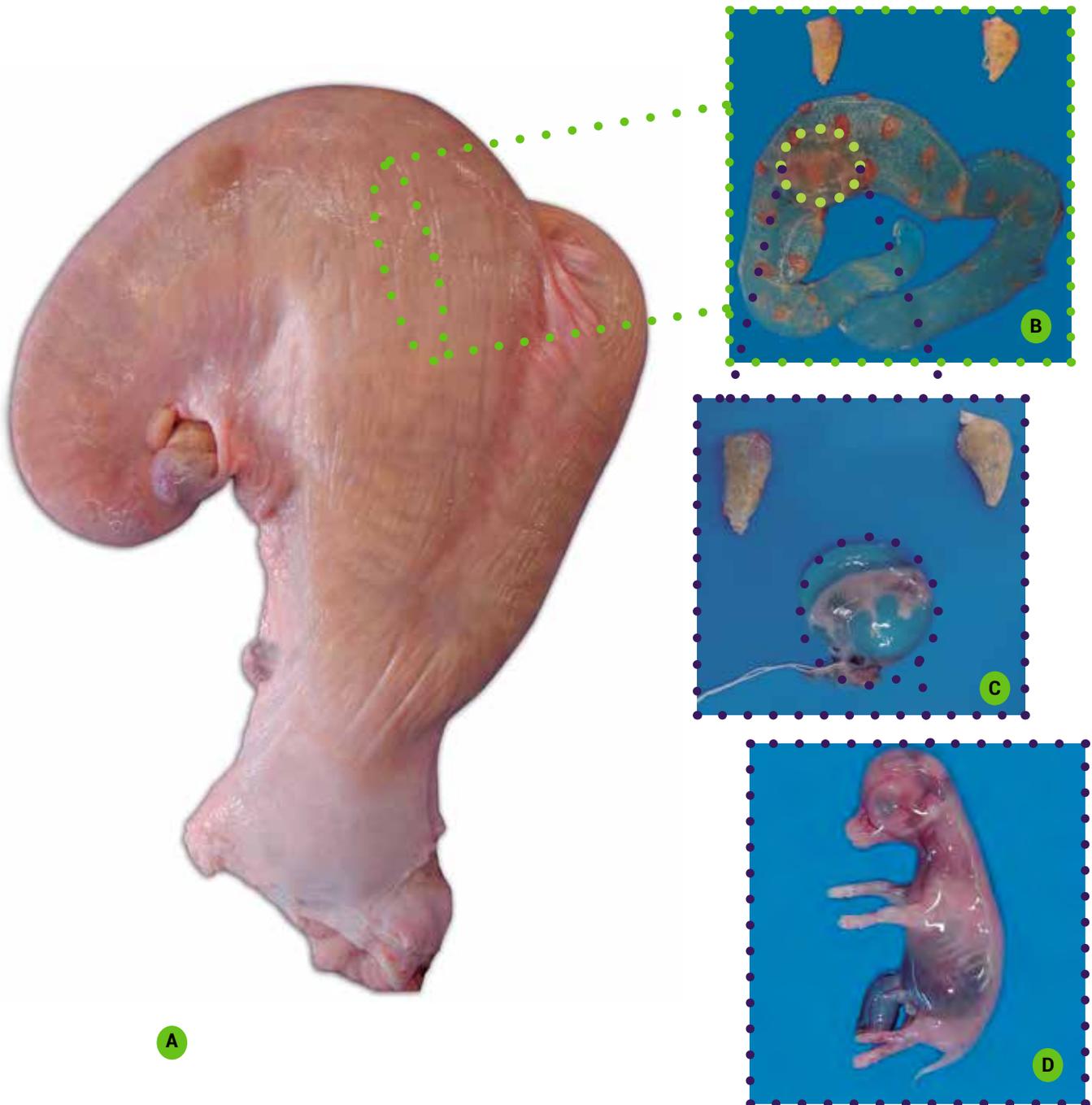


A. Útero Bovino. En la fotografía, se observa una similitud en tamaño de cuernos uterinos; sin embargo, el cuerno uterino izquierdo es de mayor tamaño que su contraparte; además, el ovario izquierdo presenta un cuerpo lúteo. A simple vista, es difícil diferenciar si hay presencia o no, de una preñez, pero al diseccionar el útero sí contiene una gestación de 40 a 45 días aproximadamente. Los criterios para el diagnóstico de esta gestación son: asimetría de cuernos uterinos, adelgazamiento de la pared uterina, deslizamiento de membranas, y presencia de vesícula amniótica de 1,5 cm de diámetro.

B. Membrana corioalantoidea del mismo caso anterior, con presencia de la vesícula amniótica que contiene un embrión en desarrollo (40 a 45 días aproximadamente); aún no son evidentes los primordios de los cotiledones, y se observa con claridad el ligamento corioalantoideo, detectado durante la maniobra de deslizamiento de membranas. En el ovario derecho, se observa el cuerpo lúteo gestacional, además, el tamaño de los ovarios, sirve de referencia para comparar el tamaño del embrión.

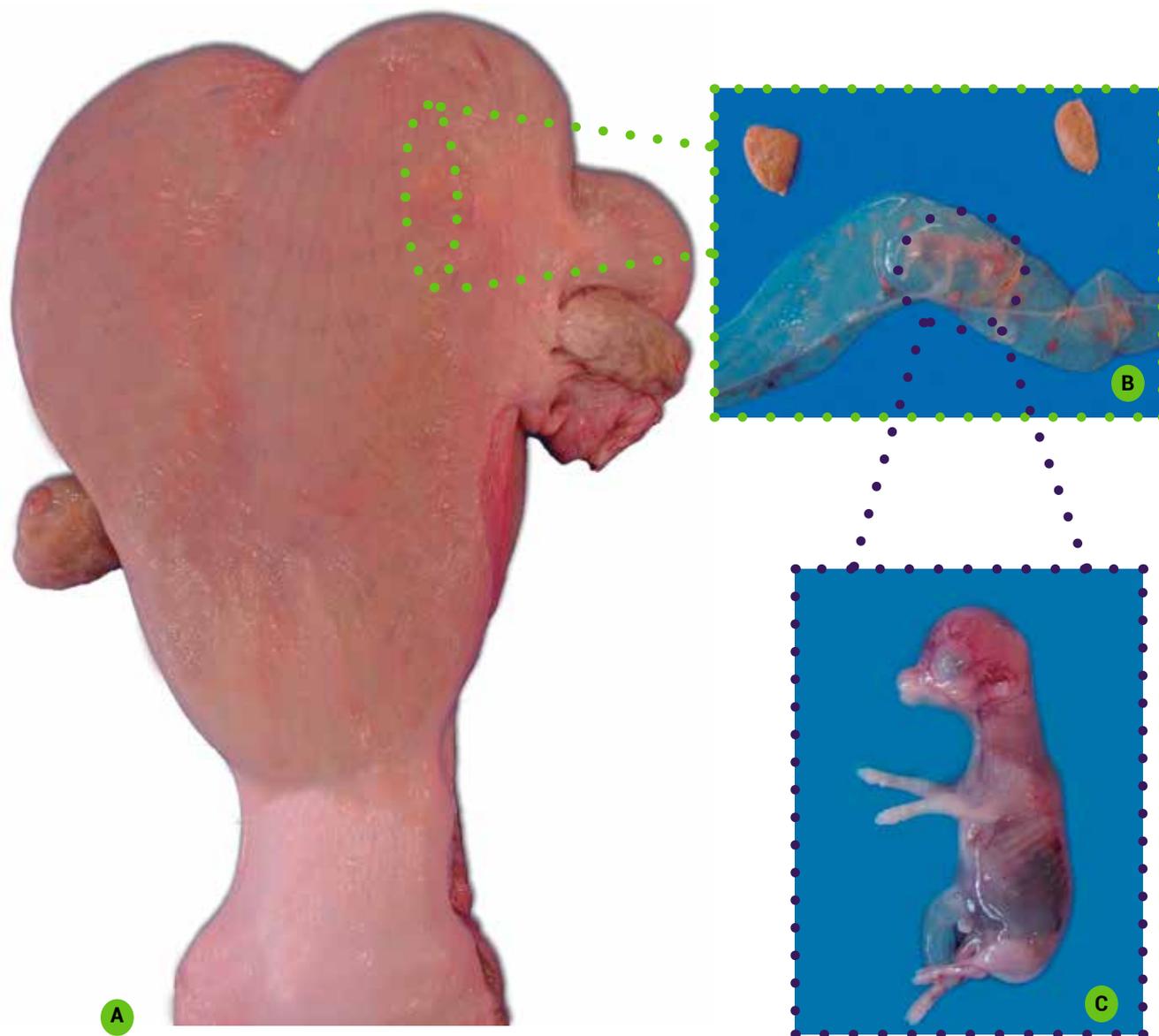
C. Una vez retirada la membrana corioalantoidea, se observa la vesícula amniótica que contiene un embrión en desarrollo con una edad gestacional aproximada entre 40 y 45 días.

Útero bovino con una gestación de 50 días



- A.** Útero Bovino gestante, con asimetría en los cuernos, donde se observa ligeramente un mayor tamaño en el cuerno izquierdo que en el derecho. El diámetro aproximado de los cuernos es de 9 cm, y se observa un cuerpo lúteo en el ovario izquierdo.
- B.** Membrana corioalantoidea, con presencia de primordios cotiledonarios y de la vesícula amniótica que contiene al feto. En el ovario izquierdo, se observa el cuerpo lúteo gestacional.
- C.** Vesícula amniótica, con un tamaño aproximado a 6 cm, con presencia del feto. En el ovario izquierdo, se observa el cuerpo lúteo gestacional, además, los ovarios sirven como criterio de comparación del tamaño de la vesícula.
- D.** Feto bovino de 50 días aproximadamente, que ha sido extraído de su vesícula amniótica. El tamaño aproximado, es de 6 cm de longitud desde la cabeza hasta el inicio de la cola.

Útero bovino con una gestación de 60 días



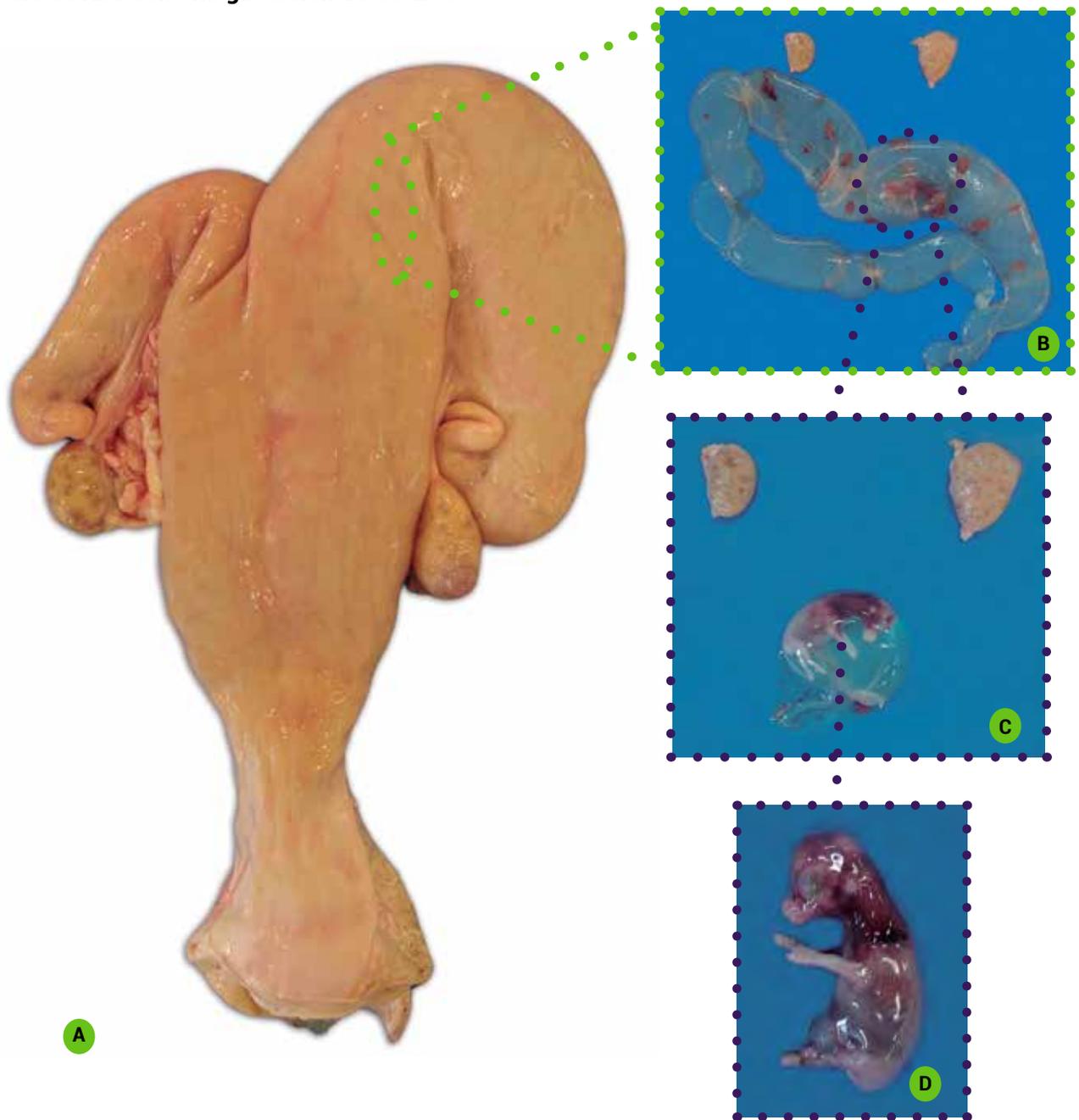
A. Asimetría de cuernos uterinos. En la fotografía, el cuerno derecho tiene un diámetro mayor que el cuerno izquierdo, lo cual se conoce como asimetría, y es uno de los criterios de gestación temprana. Se observa un cuerpo lúteo gestacional en el ovario izquierdo.

B. Membrana alantoidea, que contiene vesícula amniótica y dentro de esta, se encuentra el embrión. En la membrana alantoidea, se observan los primordios de los placentomas, y corresponde a un feto de 60 días aproximadamente. A manera de comparación, se muestran los ovarios izquierdo y derecho, con una longitud aproximada de 5 cm.

En la parte inferior de la figura, se observa el ligamento corioalantoideo a lo largo de la membrana amniótica, el cual se utiliza como criterio diagnóstico en el signo de deslizamiento de membranas.

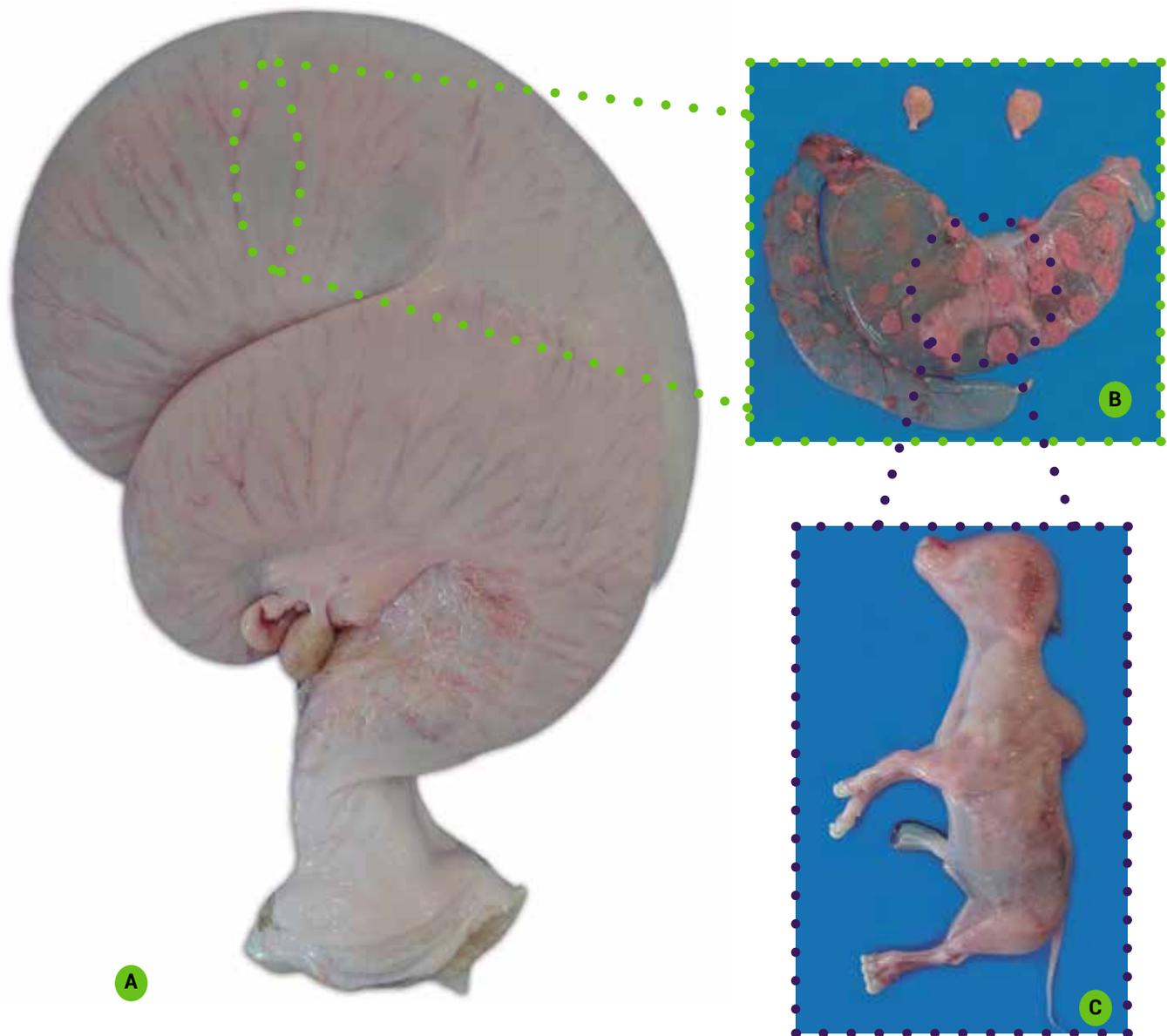
C. Feto bovino de 60 días aproximadamente, que ha sido extraído de su vesícula amniótica.

Útero bovino con una gestación de 65 días



- A.** Útero gravido. En la fotografía, el cuerno derecho tiene un diámetro mayor que el cuerno izquierdo, lo cual se conoce como asimetría, y es uno de los criterios de gestación temprana. En el ovario derecho, se observa el cuerpo lúteo gestacional.
- B.** Membrana corioalantoidea, que contiene vesícula amniótica y dentro de esta, se encuentra el embrión. En la membrana alantoidea, se observan los primordios de los placentomas, y corresponde a un feto de 65 días aproximadamente. A manera de comparación, se muestran los ovarios izquierdo y derecho, con una longitud aproximada de 5 cm.
- C.** Al retirar la membrana corioalantoidea, se muestra la vesícula amniótica, con un tamaño aproximado de 10 cm, con presencia del feto. En el ovario derecho, se observa el cuerpo lúteo gestacional, lo que evidencia que la gestación se encontraba en el cuerno uterino derecho. Además, en los dos ovarios se observan estructuras foliculares.
- D.** Feto bovino de 65 días aproximadamente; con una longitud (CRL) de 10 cm, que fue extraído de su vesícula amniótica.

Útero bovino con una gestación de 80 días

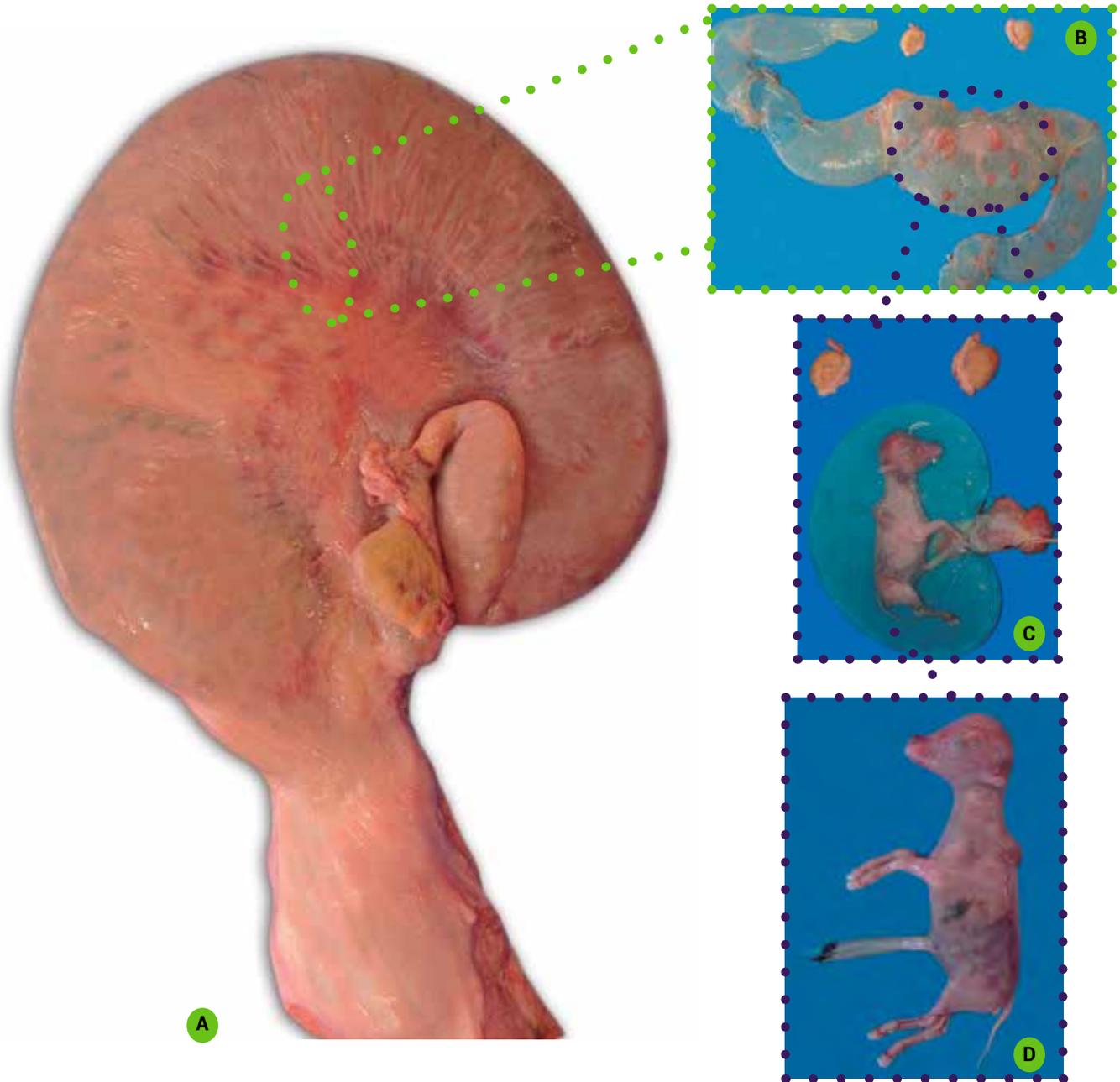


A. Útero bovino gestante con asimetría en los cuernos uterinos, donde se observa un mayor tamaño en el cuerno derecho que en el izquierdo. El diámetro aproximado del cuerno derecho es de 25 cm, mientras que para el izquierdo es de aproximadamente 10 cm. Observa que el cuerno uterino derecho, se encuentra en una posición ventral con respecto al cuerno uterino izquierdo.

B. Membrana corioalantoidea, que contiene vesícula amniótica y dentro de esta, se encuentra el feto de 80 días aproximadamente. En la membrana corioalantoidea, se observan los cotiledones placentarios. A manera de comparación, se muestran los ovarios izquierdo y derecho, con una longitud aproximada de 4 cm.

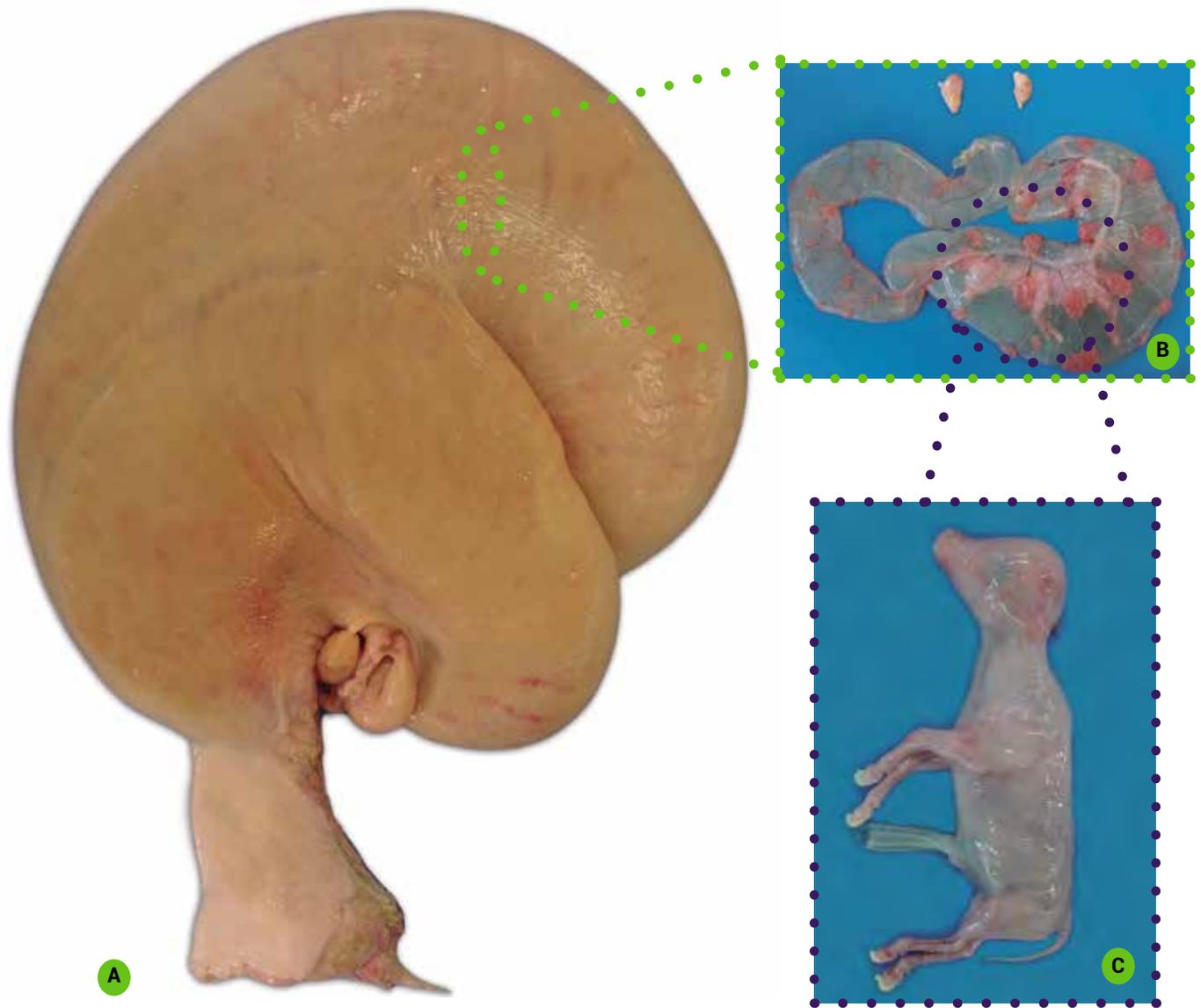
C. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza, de aproximadamente 13 cm, correspondiente a una edad de desarrollo fetal de aproximadamente 80 días. Se observa la conformación de pezuñas y orejas, características propias de la especie *Bos indicus*.

Útero bovino con una gestación de 80 a 85 días



- A.** Gestación en cuerno derecho, con un diámetro de aproximadamente 12 cm. El cuerno uterino no gestante se encuentra en la parte posterior de la figura.
- B.** Membrana corioalantoidea, con presencia de cotiledones muy bien formados, y una vesícula amniótica de aproximadamente 21 cm de longitud, que alberga al feto.
- C.** Vesícula amniótica de un tamaño aproximado de 21 x 13 cm, conteniendo al feto, con características propias de la especie muy bien definidas.
- D.** Feto del caso anterior, extraído de la vesícula amniótica, con una longitud aproximada de 15 cm del inicio de la cola a la cabeza, correspondiente a una gestación aproximada de 85 a 90 días.

Útero bovino con una gestación de 85 a 90 días

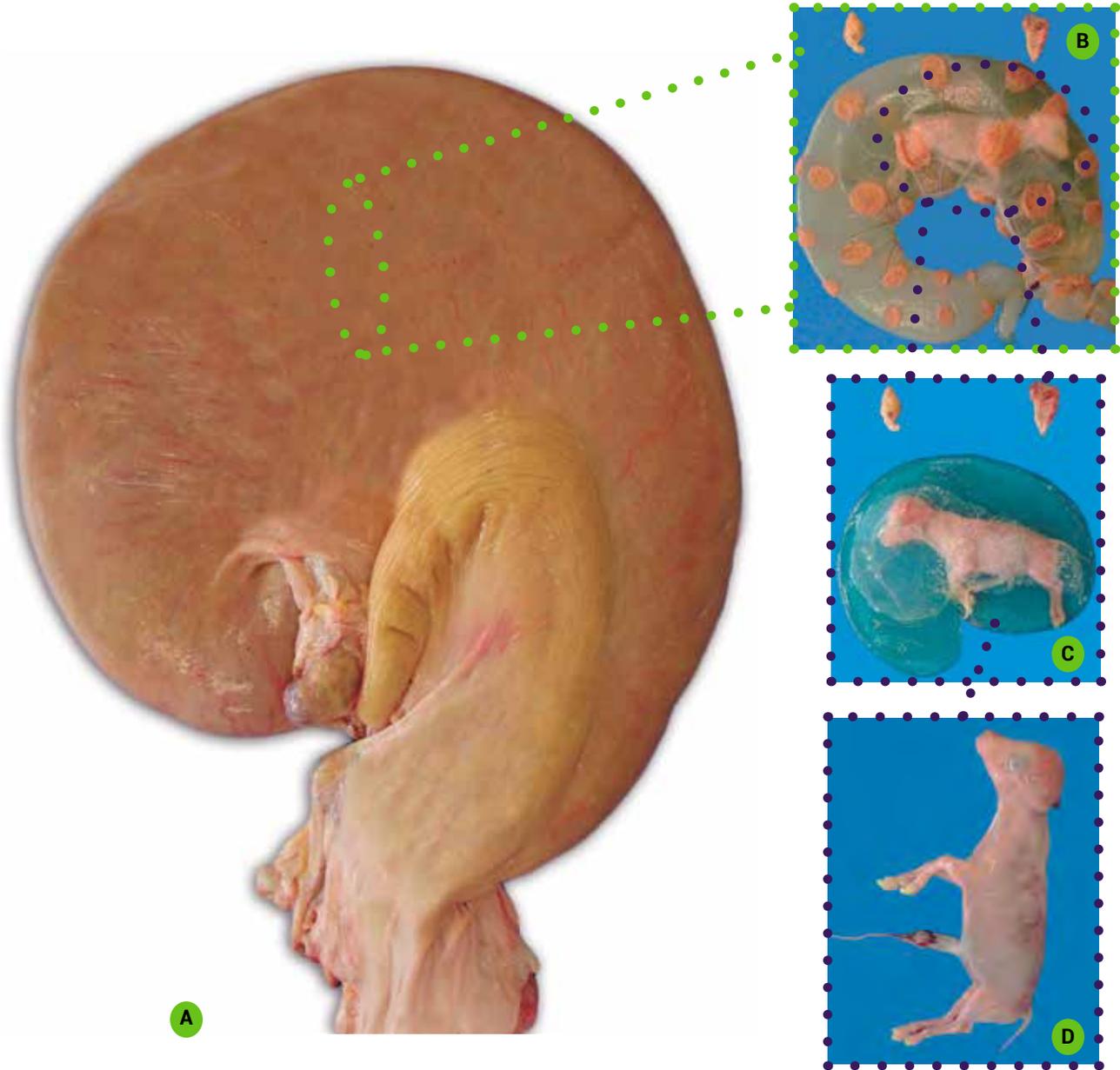


A. Útero bovino gestante con evidente asimetría en los cuernos uterinos, donde se observa un mayor tamaño en el cuerno izquierdo que en el derecho. Para este caso, el diámetro aproximado del cuerno izquierdo es de 15 cm, mientras que para el derecho es de aproximadamente 10 cm. Observa que el cuerno uterino izquierdo se encuentra en una posición ventral, con respecto al cuerno uterino derecho.

B. Membrana corioalantoidea que contiene vesícula amniótica, y dentro de esta, se encuentra el feto de 85 a 90 días aproximadamente. En la membrana corioalantoidea, se observan los cotiledones placentarios. A manera de comparación, se muestran los ovarios izquierdo y derecho, con una longitud aproximada de 4 cm. En la parte media de la figura, se observa el ligamento corioalantoideo a lo largo de la membrana corioalantoidea. El ovario izquierdo, permite observar la presencia del cuerpo lúteo gestacional.

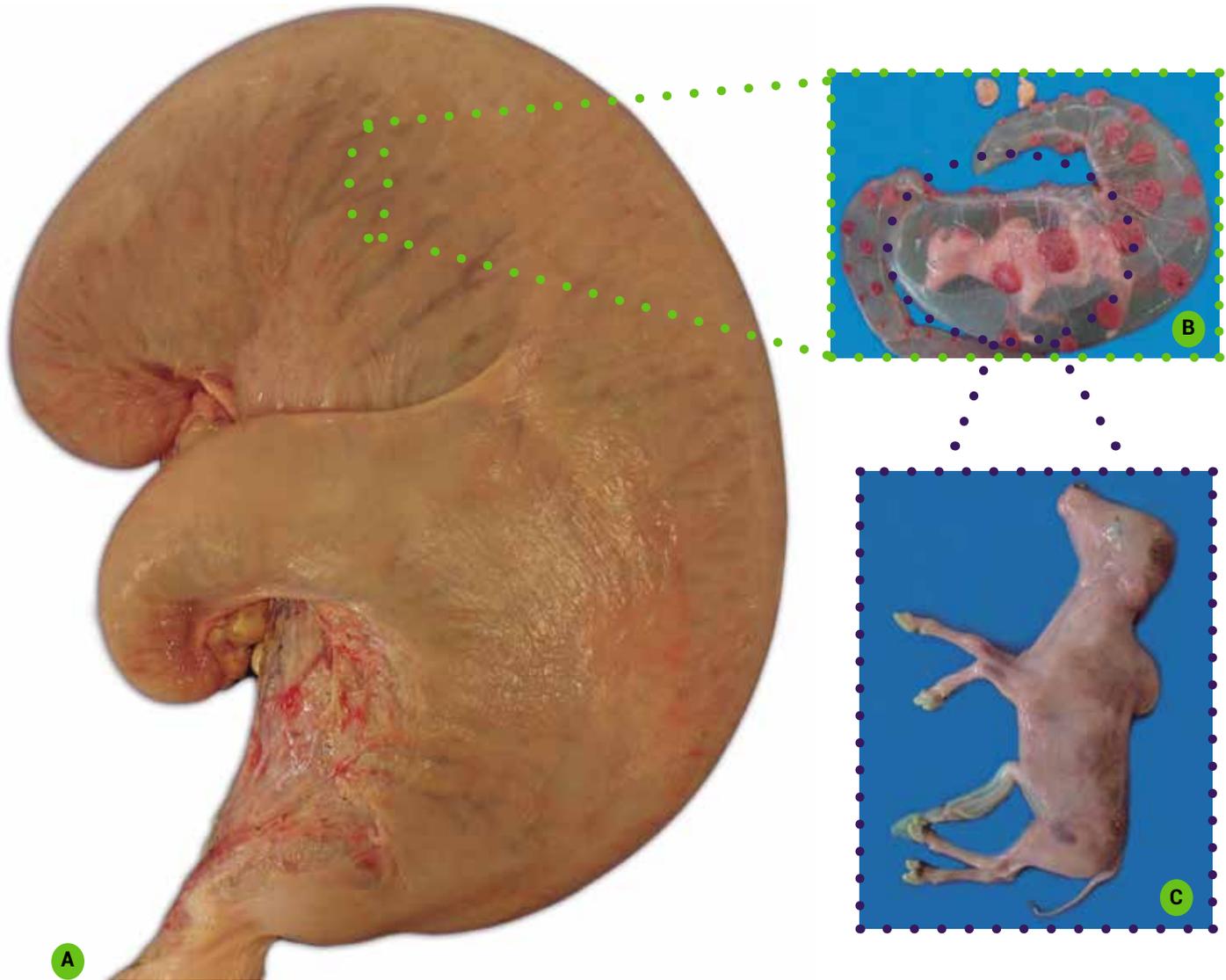
C. Feto del caso anterior, extraído de la vesícula amniótica, con una longitud aproximada de 16 cm del inicio de la cola a la cabeza, correspondiente a una gestación aproximada de 85 a 90 días.

Útero bovino con una gestación de 95 a 100 días



- A.** Útero bovino gestante, con asimetría en los cuernos uterinos, donde se observa un mayor tamaño en el cuerno derecho con relación al izquierdo. El diámetro aproximado del cuerno derecho es de 23 cm, mientras que para el izquierdo es de 5 cm, aproximadamente.
- B.** Membrana corioalantoidea, con presencia de cotiledones muy bien formados, y una vesícula amniótica de gran tamaño, que alberga al feto. En la curvatura menor, se observa claramente el ligamento corioalantoideo.
- C.** Vesícula amniótica, con un tamaño aproximado de 28 de largo x 23 cm de ancho, donde se observa el feto en crecimiento. La estructura que se observa en la parte superior de la figura, es una vesícula que contiene aire y no guarda relación con el estado gestacional. El cuerpo lúteo se observa en el ovario derecho.
- D.** Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza, de aproximadamente 20 cm, correspondiente a una edad de desarrollo fetal de 95-100 días aproximadamente. Se observa la conformación de pezuñas y orejas, características propias de la especie *Bos taurus*.

Útero bovino con una gestación de 100 a 110 días



A. Útero bovino gestante con asimetría en los cuernos uterinos, donde se observa un mayor tamaño en el cuerno derecho que en el izquierdo. El diámetro aproximado del cuerno derecho es de 20 cm, mientras que para el izquierdo es de aproximadamente 11 cm. Observa que el cuerno uterino derecho, se encuentra en una posición ventral con respecto al cuerno uterino izquierdo.

B. Membrana corioalantoidea, que contiene la vesícula amniótica y dentro de esta, se encuentra el feto de 100 a 110 días aproximadamente. En la membrana corioalantoidea, se observan los cotiledones placentarios. A manera de comparación, se muestran los ovarios izquierdo y derecho, con una longitud aproximada de 3 cm. En la parte superior de la figura, se observa el ligamento corioalantoideo a lo largo de la membrana corioalantoidea.

C. Feto con una longitud de la raíz de la cola a la cabeza de aproximadamente 22 cm, correspondiente a una edad de desarrollo fetal de 100 a 110 días aproximadamente. Se observa la conformación de pezuñas, orejas y giba, que son características propias de la especie *Bos indicus*.

Fisiología del parto

El parto, es quizá una de las etapas más importantes en la reproducción de la vaca, ya que con este proceso culmina el periodo gestacional que duró en promedio 283 días. Sin embargo, es importante preguntarnos: ¿cómo sabe la vaca cuando parir su cría? A continuación, resolveremos esta pregunta.

El proceso fisiológico del parto involucra un conjunto de señales endocrinas, neuronales y físicas, desencadenadas principalmente por el feto; este proceso lo podemos dividir en tres etapas principales:

Etapas 1: inicio de las contracciones miométricas (contracciones uterinas), que son fundamentales para que el feto sea expulsado. Normalmente dura entre 2 y 6 horas (*Fotografía 10*).



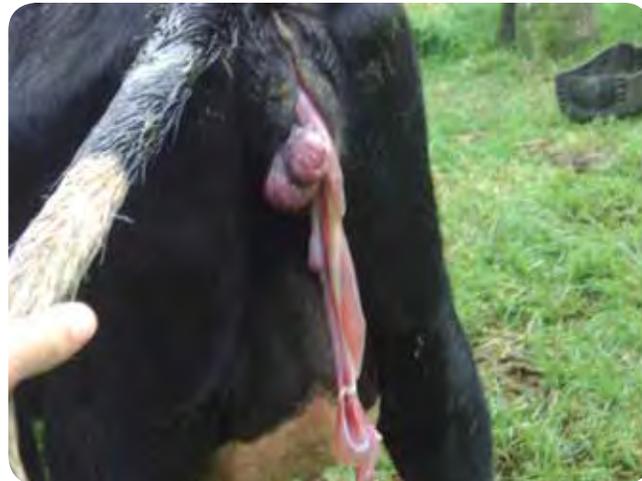
Fotografía 10. Vaca en la etapa 1 del parto. Observa cómo los miembros anteriores de la cría están fuera del canal del parto; esta imagen, es característica de la existencia de contracciones miométricas de la madre.

Etapa 2: expulsión del feto. En este período continúan las contracciones miométricas, con el fin de que la cría salga de su madre. Esta etapa no debe durar más de 60 minutos aproximadamente (Fotografía 11).



Fotografía 11. Expulsión del feto. Observa la secuencia del nacimiento.

Etapa 3: expulsión de las membranas fetales. Período importante para la recuperación y la salud del útero. Esta etapa dura entre 6 y 12 horas (Fotografía 12).



Fotografía 12. Expulsión de las membranas fetales. Observa cómo se da la eliminación de los residuos de las membranas fetales por la vulva.





Una vez el feto está listo para su nacimiento, se desencadena el conjunto de señales hormonales y neuronales, responsables de iniciar en la vaca las contracciones necesarias para la expulsión de su cría. En el último tercio de la gestación, se da un crecimiento significativo del feto haciendo cada vez más insuficiente el espacio para él. Este factor netamente físico, desencadena en el feto una hiperactivación del eje hipotálamo hipófisis adrenal, lo que induce un aumento significativo de la liberación de la **hormona liberadora de la corticotropina fetal (CRH fetal)** en el hipotálamo, la cual aumenta la producción de la **hormona trópica de la corteza adrenal fetal (ACTH fetal)** para que esta viaje hasta la corteza adrenal del feto, lo que induce un aumento en las concentraciones plasmáticas de **cortisol fetal**, hormona conocida como la hormona del estrés. El cortisol fetal liberado en este proceso, desencadena en la vaca cambios hormonales, neuronales y físicos, que serán definitivos para el éxito del parto.

Durante la gestación, la contractibilidad uterina estuvo reducida gracias al efecto de la P4 producida por el cuerpo lúteo y la placenta; esto minimizó al máximo los riesgos de abortos o partos prematuros;

sin embargo en los días próximos al parto, la secreción del cortisol fetal induce la aromatización de la P4, convirtiéndola en E2. Una vez aumenta la concentración del E2, estos estimulan la placenta para que produzca $PGF_{2\alpha}$, principal factor luteolítico, y un fuerte estimulante de la contracción miometrial (contracción uterina).

La $PGF_{2\alpha}$ reduce aún más la producción de P4, y aumenta el efecto fisiológico del E2 que favorece igualmente la contracción del útero, con el fin de empezar a preparar el feto para su nacimiento. Una vez el feto se acomoda en el canal del parto, inicia un estímulo mecánico en las paredes del cérvix, lo que estimula un conjunto de neuronas aferentes con dirección a la médula espinal, y de allí al hipotálamo, que llevan un mensaje a los núcleos supra óptico y paraventricular, para inducir en la neurohipófisis la liberación masiva de oxitocina. La oxitocina viaja por la sangre hasta llegar al útero, donde estimula contracciones miometriales, reforzando los efectos contráctiles del E2 y la $PGF_{2\alpha}$. Es así como se completa la etapa 1 del parto.

Sabías que...

El estímulo mecánico ejercido por el feto con sus miembros anteriores en el cérvix de su madre, es conocido como el reflejo de "Ferguson"; este tiene como finalidad aumentar la liberación de oxitocina y las contracciones miométriales.

La $PGF_{2\alpha}$ estimula adicionalmente la producción en el cuerpo lúteo de una glicoproteína llamada **relaxina**, la cual suaviza el tejido conectivo del cérvix y el tejido ligamentario de la cavidad pélvica, facilitando el proceso del parto. Todos estos factores hormonales, neuronales y físicos aumentan, junto con los músculos abdominales, la presión de salida del feto, completando así la etapa 2. Una vez se da el nacimiento de la cría, las membranas fetales deben ser expulsadas, en un periodo no superior a 12 horas posterior a la culminación de la etapa 2. La expulsión oportuna de estas membranas, garantizará una rápida **involución uterina**, y evitará la presencia de microorganismos patógenos en el útero.

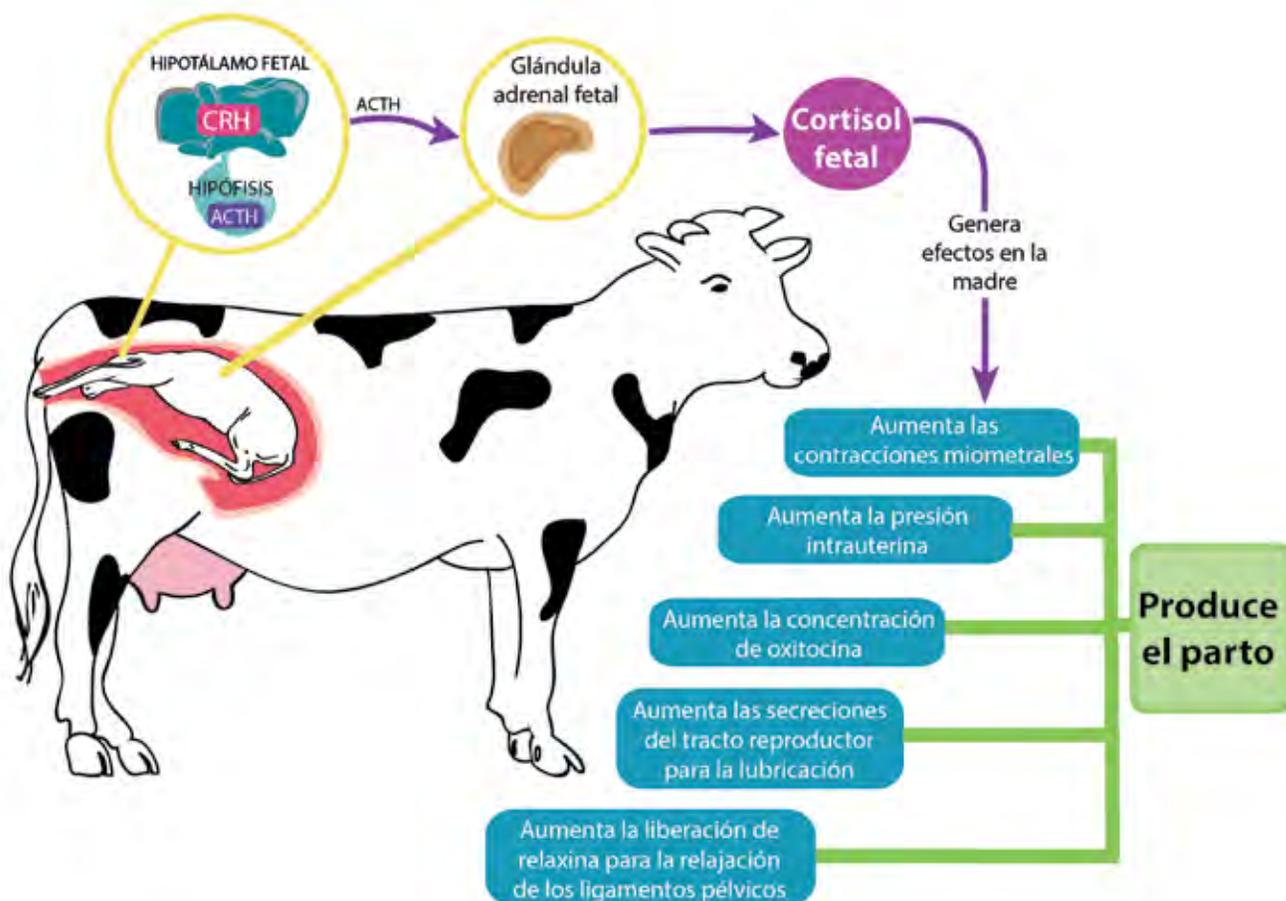


Figura 2. Mecanismos fisiológicos que desencadenan el parto. Observa cómo el feto ya próximo a nacer, produce una elevada concentración de cortisol fetal, el cual propicia múltiples efectos en la madre para que inicie el parto.

Bibliografía

- Gilbert, S.F. (2003). *Developmental biology*. (7th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates Inc.
- Gootwine, E. (2004). Placental hormones and fetal-placental development. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 551-566.
- Gordon, I.R. (2003). *Laboratory production of cattle embryos*. (2nd ed.). Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Hafez, E.S.E., & Hafez, B. (2000). *Reproducción e inseminación artificial de animales*. (7a ed.). México: Mc Graw-Hill.
- Noden, D.M., & De Lahunta, A. (1990). *Embriología de los animales domésticos: mecanismos de desarrollo y malformaciones*. Zaragoza, España: Acribia.
- Schwarze, E., Schröder, L., & Michel, G. (1970). *Compendio de anatomía veterinaria*. Tomo VI, Embriología. Zaragoza, España: Acribia.
- Slack, J.M.W. (2012). *Essential developmental biology*. (3rd ed.). Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Thomsen, J.L. (1975). Body length, head circumference, and weight of bovine fetuses. *Prediction of Gestational Age Journal of Dairy Science*, 58(9), 1370-1373.
- Tokin, B.P. (1987). *Embriología general*. Moscú: Editorial MIR.
- Walsh, S.W., Williams, E.J., & Evans, A.C. (2010). A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 123(3-4), 127-138.



Juega y aprende



A continuación, encontrarás una serie de actividades que te ayudarán a afianzar los conceptos aprendidos en el capítulo de desarrollo fetal, gestación y parto en la vaca. Comienza, y diviértete.

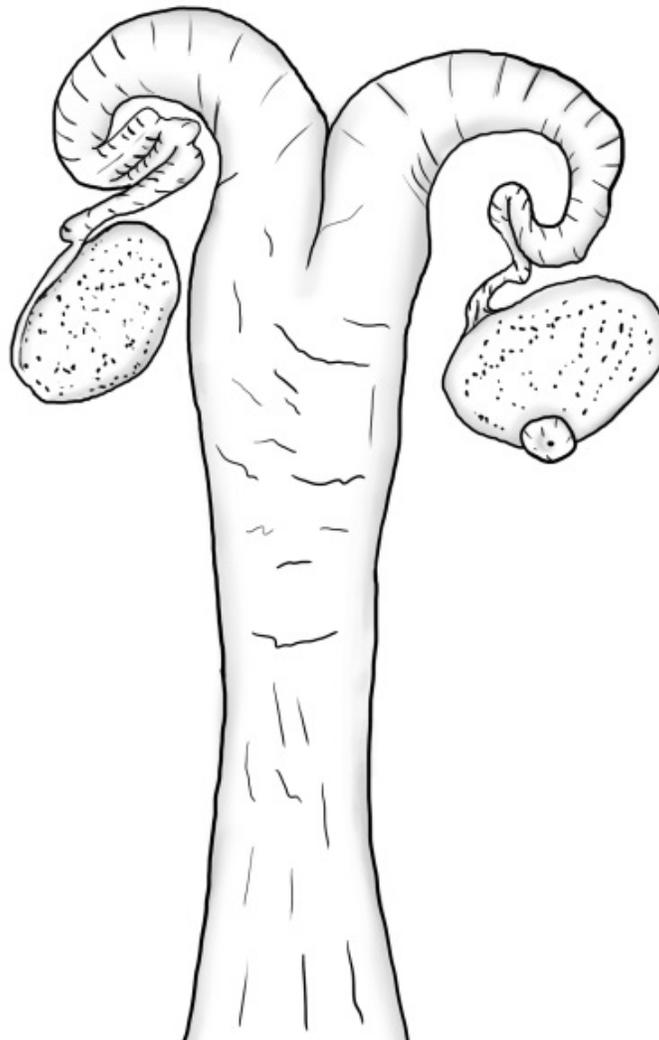


1. Piensa, argumenta y compara

A continuación, encontrarás un esquema que representa una parte del aparato reproductor de la vaca; obsévalo, responde y compara tu respuesta con alguno de tus compañeros. ¿Crees que este tracto aloja una gestación? Argumenta y justifica tu respuesta.

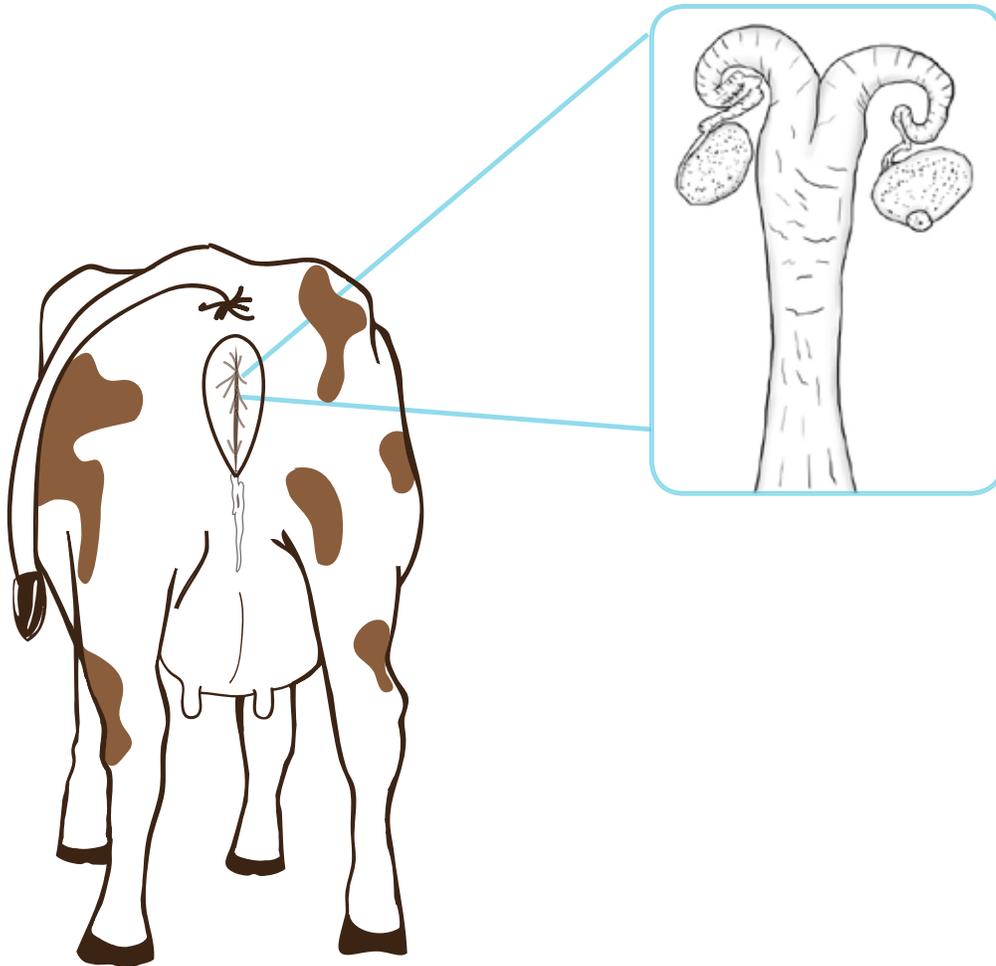


A green rounded rectangular box containing a lightbulb icon at the top left and several horizontal lines for writing.



2. Imagina la situación y responde

Hipótesis: el tracto reproductivo anterior, corresponde a una hembra que fue inseminada hace 34 días. Sin embargo, un empleado de la finca la vio entrar en celo el día de ayer (día 33 posinseminación).



Enumera 5 posibles causas que pudieron suceder para que esta vaca hubiera presentado un celo.



- * _____
- * _____
- * _____
- * _____

Si se hubiera presentado una pérdida embrionaria, ¿cómo la clasificaríamos? ¿Por qué?



3. Arriésgate y calcula

A continuación, encontrarás imágenes que corresponden a úteros grávidos; obsérvalos cuidadosamente, y calcula la edad de gestación aproximada, argumentando tu respuesta.



A green rounded rectangular box containing a lightbulb icon at the top left and several horizontal lines for writing.A green rounded rectangular box containing a lightbulb icon at the top left and several horizontal lines for writing.

4. Piensa y completa

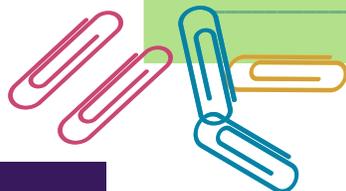
Completa la siguiente tabla, y demuestra todo lo que aprendiste de la fisiología del parto en la vaca.

Etapa del parto	¿Qué ocurre?	¿Cuánto debe durar esta etapa?
Etapa I		
Etapa II		
Etapa III		

5. Responde y compara

Analiza y responde la siguiente pregunta, después compara tu respuesta con la de un compañero, evaluando entre los dos cada una de ellas. ¿Cuál fue la respuesta más completa?

¿Cómo podemos diagnosticar si una vaca está gestando?



Capítulo 6

Glándula mamaria, producción de leche y puerperio

Autores:

Mónica Duque Quintero, Zoot, Esp, MSc, (c)PhD¹

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc²

José Ignacio Naranjo Nicholls, MVZ¹



¹ Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado aéreo 1226, Medellín- Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51- 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

Capítulo 6

Glándula mamaria, producción de leche y puerperio



Bienvenidos a un capítulo lleno de leche. A continuación, encontrarás información relacionada con la anatomía y la fisiología de la glándula mamaria en la vaca. Además, haremos un recorrido por las diferentes etapas de desarrollo de esta importante glándula, y las hormonas implicadas en este proceso.

La glándula mamaria, es una característica de los mamíferos, que les confiere la capacidad de producir leche para alimentar y garantizar la supervivencia de sus crías. Generalmente en mamíferos, la vida del recién nacido depende de la capacidad de su madre para alimentarlo; por lo tanto, una lactancia adecuada es esencial para completar el proceso de reproducción y supervivencia del nuevo individuo, y por ende de la especie.

La **leche** es un fluido de color blanquecino, producido gracias a un minucioso filtrado de la sangre, que contiene los nutrientes necesarios para garantizar las demandas nutricionales del neonato. Desde años atrás, el hombre ha invertido innumerables esfuerzos para la selección de razas y animales genéticamente especializados en la producción de altos volúmenes de leche, ya que desde hace aproximadamente unos 11 mil años, esta ha sido un alimento altamente nutritivo para el ser humano.

La producción y eyección de leche en la vaca, depende de múltiples factores entre los cuales encontramos: la **genética**, la **nutrición**, el **manejo**, el **clima**, entre otros. Es importante conocer la anatomía y la fisiología de la glándula mamaria, ya que así tendremos los argumentos para entender los procesos y las condiciones involucrados en una lactancia exitosa.

El comienzo de la lactancia, se relaciona con el inicio de la pubertad en la hembra. La activación del eje hipotálamo hipófisis gónada, es el evento señal para continuar el desarrollo de la glándula mamaria, el cual en esta fase está principalmente bajo el control de las hormonas producidas por los ovarios. ¡Ahora, iniciemos este importante recorrido por la glándula mamaria!

¿Qué es una glándula mamaria?

Al igual que las glándulas sebáceas y sudoríparas, la glándula mamaria, es una glándula cutánea modificada, la cual en los mamíferos más avanzados, es de tipo túbulo-alveolar que se deriva del **ectodermo** (Fotografía 1). Aunque la glándula mamaria es básicamente similar en todos los animales, hay variaciones entre todas las especies, en su apariencia y en la cantidad de componentes secretados.



Sabías que...

La glándula mamaria de la vaca, la oveja, la cabra y la yegua, está localizada en la región inguinal; en las hembras de los primates y elefantes en la región torácica; en cambio, en las cerdas, las hembras de los roedores y los carnívoros en el tórax y el abdomen.

Estructura de la glándula mamaria

La glándula mamaria en los bovinos, es el órgano encargado de elaborar y acumular la leche para su cría. Esta estructura está compuesta por cuatro compartimientos, denominados **cuartos mamarios**; cada uno de estos, es una unidad que funciona en forma independiente con su propio tejido secretor, que permite la eyección de la leche. Sin embargo, a pesar de la independencia funcional entre estos, se encuentran íntimamente ligados y congregados bajo la piel de la glándula mamaria. Los cuartos mamarios están situados en la región inguinal, contra la pared abdominal y la cara ventral del suelo de la pelvis, de la que se encuentra separada por una gruesa capa de tejido adiposo.



(A) Región anterior de la glándula mamaria
(B) Región posterior de la glándula mamaria

Sabías que...

Por lo general, los cuartos posteriores mamarios son ligeramente más grandes y producen, aproximadamente el 60% de la leche total; mientras que los cuartos anteriores, producen el 40% restante.

Fotografía 1. Glándula mamaria bovina. Observa en esta foto la piel que recubre este órgano, el cuerpo de la glándula mamaria y cuatro pezones.

La ubre, como también se conoce al conjunto de estructuras que conforman la glándula mamaria, es un órgano complejo compuesto por una gran variedad de sistemas: el **sistema de soporte** de la glándula mamaria, constituido principalmente por ligamentos y tejido conectivo; el **sistema secretor**, compuesto por las células epiteliales y mioepiteliales; el **sistema de ductos**, constituido por un conjunto de conductos y compartimientos para el almacenamiento y transporte de la leche; y los **sistemas sanguíneo, linfático y nervioso**, que le aportan a la glándula mamaria irrigación, drenaje, e inervación, respectivamente.

El **sistema de soporte**, conocido también como sistema suspensorio o de apoyo, se refiere principalmente al estroma o al tejido conectivo, que tiene como principal función mantener la ubre unida a la pared abdominal de la vaca. Este sistema está compuesto por dos grupos de ligamentos: el ligamento suspensorio medio, los ligamentos suspensorios laterales y el tejido conectivo (*Figura 1 y Fotografía 2*).

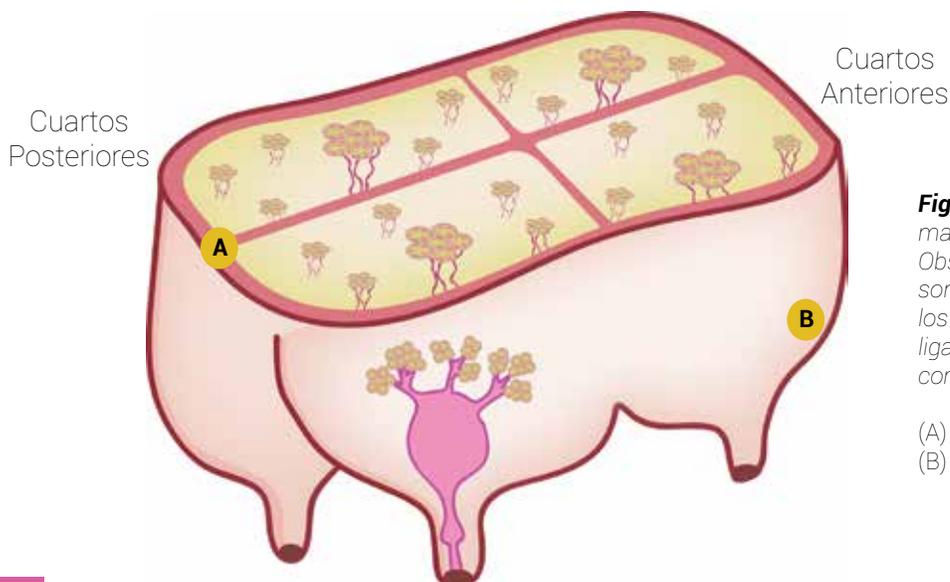


Figura 1. Esquema de los cuartos mamarios anteriores y posteriores. Observa que los cuartos posteriores son ligeramente más grandes que los anteriores y cómo el sistema ligamentario divide la ubre en cuatro compartimentos distintos.

(A) Ligamento suspensorio medio
(B) Ligamentos suspensorios laterales



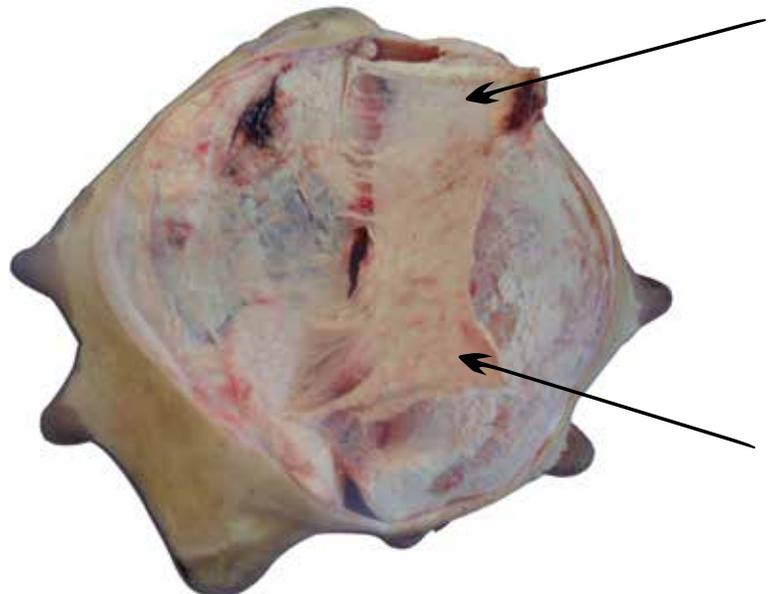
Fotografía 2. Cuartos traseros de una vaca. Observa desde dos ángulos diferentes los cuartos traseros de la glándula mamaria y la presencia del surco intermamario.

- (A) Vista posterolateral
- (B) Vista posterior
- (C) Surco intermamario

El ligamento suspensorio medio

Es la parte más importante del sistema suspensorio mamario, debido a que proporciona el principal apoyo de la ubre. Este ligamento divide la glándula mamaria en dos mitades bien definidas, y puede observarse desde la parte posterior de la vaca, un surco en la línea media que marca la posición de este ligamento (*Fotografía 2*). El ligamento suspensorio medio está compuesto por un tejido conectivo elástico y fibroso, que emerge desde la línea media de la pared abdominal, y se extiende en medio de la ubre, proporcionando elasticidad para cuando se llene, pueda expandirse y soportar el peso adicional de la leche (*Fotografía 3*).

Fotografía 3. Ligamento suspensorio medio de la glándula mamaria. Observa que este divide la glándula mamaria en dos porciones iguales: derecha, e izquierda (flechas).



Los ligamentos suspensorios laterales

Estos ligamentos son estructuras que contienen mayor cantidad de colágeno que elastina; debido a esto, se proporciona menos elasticidad, pero más soporte a la ubre. Estos ligamentos emergen a ambos lados de la ubre, alrededor de los huesos púbicos, proporcionando apoyo al interior de la glándula mamaria y se extienden desde la línea media en el piso de la ubre, hasta unirse al ligamento suspensorio medio (Figura 1).

El tejido conectivo de la glándula mamaria, apoya la función del sistema ligamentario de brindar soporte, y permite la unión de las estructuras del sistema de ductos en la ubre. La piel proporciona protección anatómica, pero tiene poca capacidad de apoyo o soporte.

El sistema secretor y el sistema de ductos

El sistema secretor y el sistema de ductos, hacen parte del parénquima o tejido funcional secretor de la glándula mamaria y están constituidos, principalmente por tres estructuras (Figura 2):

1. Los alvéolos, conformados básicamente por las células epiteliales mamarias o lactocitos, y las células mioepiteliales.
2. El sistema de ductos, revestidos por células epiteliales.
3. Los lóbulos y lobulillos, que son grupos de tejido alveolar, soportados por el tejido conectivo.

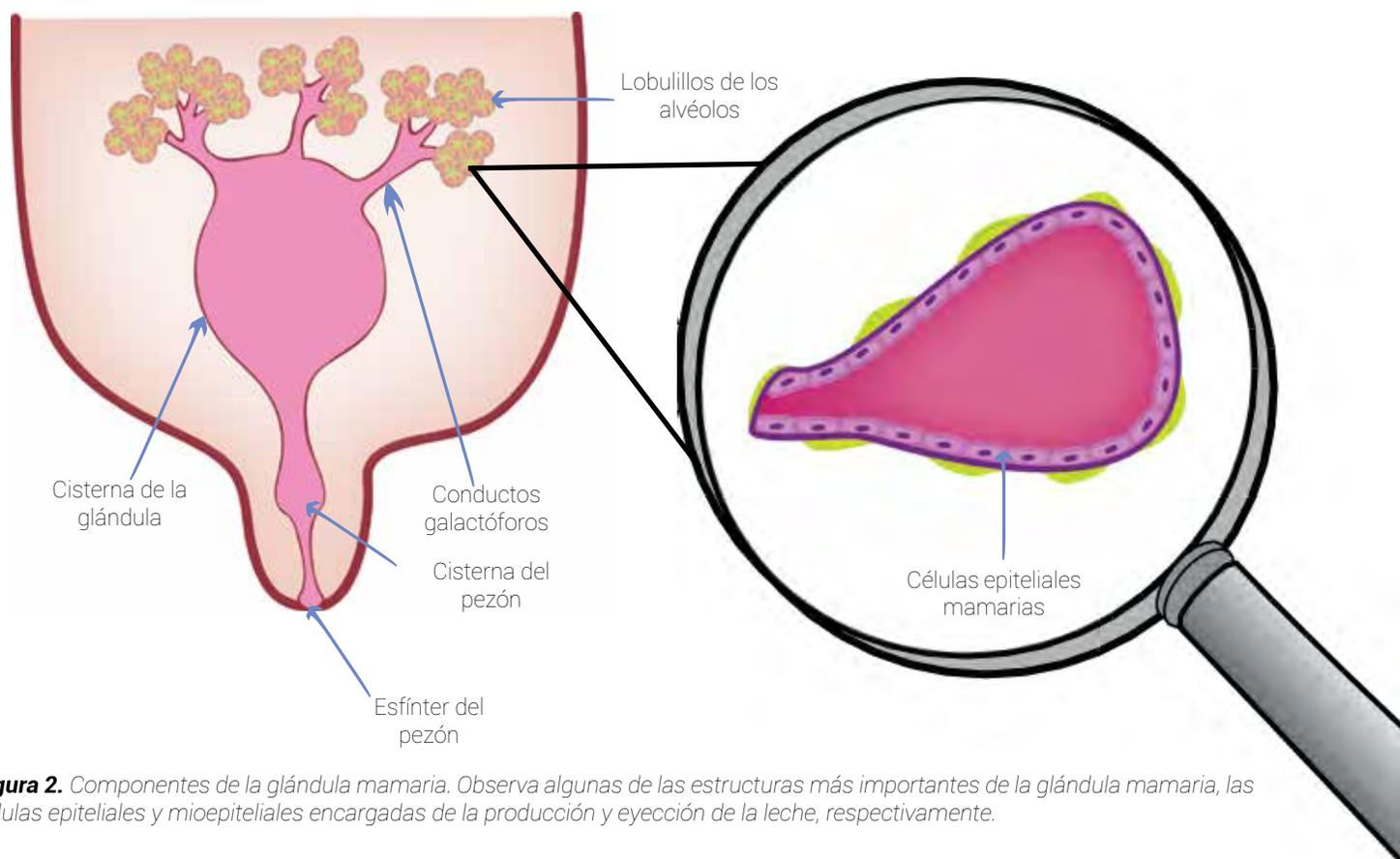


Figura 2. Componentes de la glándula mamaria. Observa algunas de las estructuras más importantes de la glándula mamaria, las células epiteliales y mioepiteliales encargadas de la producción y eyección de la leche, respectivamente.

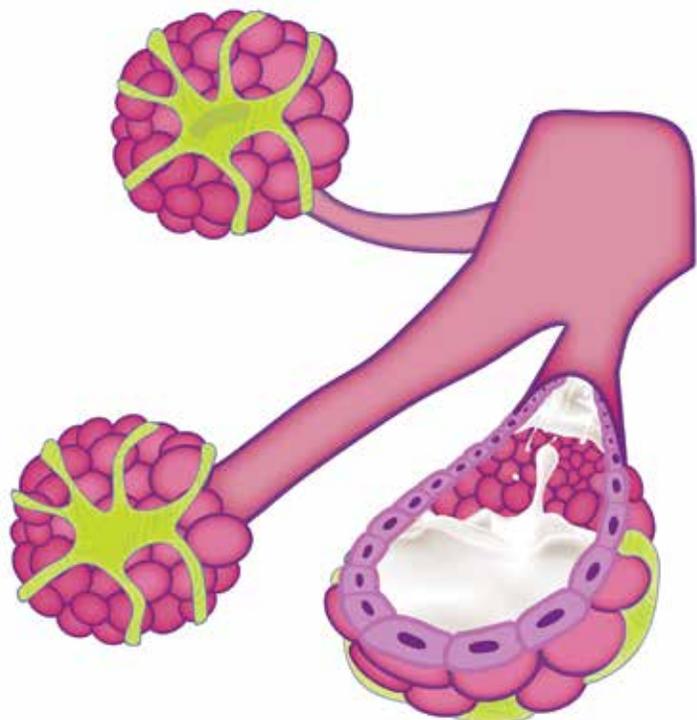
La producción y secreción de la leche, es realizada por un conjunto de células especializadas, agrupadas en una unidad funcional llamada **alvéolo**. Cada alvéolo, es una pequeña vesícula semejante a una esfera de 100 a 300 micras de diámetro, donde diferentes nutrientes procedentes de la sangre, se transforman en leche, gracias a un eficiente sistema de filtración. Los alvéolos poseen la característica de distenderse a un volumen máximo, cuando se llenan de leche, y a su vez también de replegarse y de reducirse de tamaño, cuando están vacíos.

La constitución básica de un alvéolo, es una capa sencilla de células epiteliales que rodean una cavidad central, llamada **lumen alveolar**. Una organela importante para las células epiteliales mamarias, es el núcleo, ya que en este se encuentran los genes que se codifican para la síntesis de sustratos necesarios para la formación de la leche. Cada alvéolo, está irrigado con pequeños capilares y vénulas, que proporcionan la sangre necesaria para la síntesis de leche, la nutrición de las células epiteliales, y adicionalmente permiten el drenaje de las sustancias de desecho a la sangre venosa. Además, rodeando a cada alvéolo aparece una serie de células especializadas, que son las **células mioepiteliales**, responsables de la eyección de leche al contraerse por la acción de la oxitocina.

Una vez las células epiteliales mamarias sintetizan los componentes de la leche, son liberados al lumen del alvéolo y conducidos a través de los **ductos menores o lactíferos**, a los **ductos galactóforos** donde finalmente la leche confluirá en la **cisterna de la glándula mamaria**, también conocida como seno galactóforo, estructura que posee paredes muy elásticas y en la que se almacena cierta cantidad de leche (Figura 3). La cisterna de la glándula mamaria continúa con la **cisterna del pezón**, mediante una abertura o canal estrechado por un pliegue de la mucosa (Fotografías 4 y 5).

Finalmente la cisterna del pezón, continuará hacia el conducto papilar el cual contiene unos pliegues de la mucosa, llamados "**Roseta de Furstenberg**", que junto con el **esfínter papilar o esfínter del pezón**, serán de gran importancia para evitar la salida pasiva de la leche, así como la entrada de gérmenes y sustancias extrañas a la glándula mamaria.

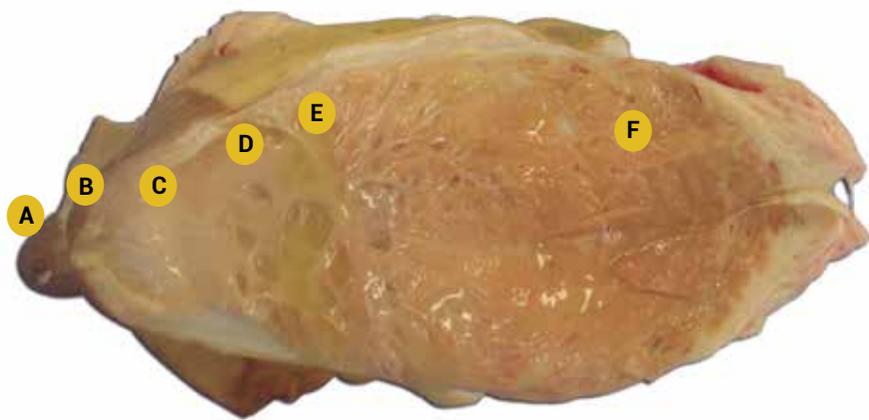
Figura 3. Esquema de alvéolos, ductos menores o lactíferos y células epiteliales mamarias. Observa cómo el alvéolo está formado por conjunto de células epiteliales mamarias y mioepiteliales, donde las primeras secretan la leche al lumen alveolar, por la contracción alveolar de las segundas. Posteriormente, la leche será transportada por los conductos lactíferos, hacia los conductos mayores o galactóforos.





Sabías que...

El conjunto de alvéolos forman una estructura conocida como lobulillo, que se asemeja a un racimo de uvas, y cada lobulillo posee de 150 a 220 alvéolos. Además, el conjunto de lobulillos forma una estructura conocida como: lóbulo, donde se aloja la leche temporalmente.

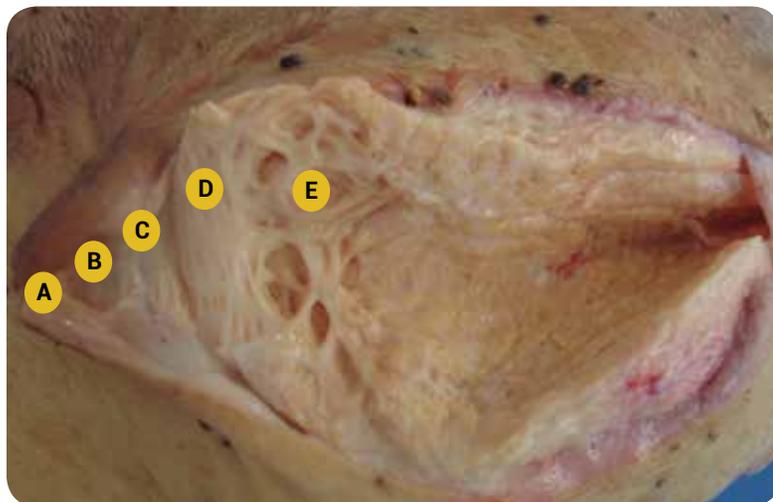


Fotografía 4. Vista dorsal de un corte sagital del cuarto posterior derecho de la glándula mamaria, en donde se observa el detalle de la cisterna del pezón y conductos galactóforos principales. Observa en la foto las diferentes estructuras en la glándula mamaria:

- (A) Orificio papilar
- (B) Conducto papilar
- (C) Cisterna del pezón o seno papilar
- (D) Cisterna de la glándula mamaria
- (E) Conductos galactóforos
- (F) Cuerpo de la glándula

Fotografía 5. Corte anatómico del pezón. Identifica en esta foto las siguientes estructuras:

- (A) Orificio papilar (poro lácteo)
- (B) Conducto papilar
- (C) Cisterna del pezón o seno papilar
- (D) Cisterna de la glándula
- (E) Conductos galactóforos



Irrigación e inervación de la glándula mamaria

La irrigación sanguínea es extremadamente importante para la función de la glándula mamaria, ya que todos los precursores de los componentes de la leche vienen de la sangre. Las arterias más importantes que irrigan la glándula mamaria, son: la arteria pudenda, y la arteria mamaria. Una pequeña cantidad de sangre, también llega a la glándula mamaria por la arteria perineal (desde la íliaca interna); pero esta, solamente suministra sangre a los cuartos traseros. El sistema neural, también es importante para la función mamaria, ya que los nervios simpáticos están presentes en el tejido, y están asociados con las arterias, regulando el flujo de la sangre que ingresa a la glándula mamaria. Los nervios sensoriales, se encuentran en los pezones y la piel, y son necesarios para el inicio de la vía aferente del reflejo de eyección de leche.



Sabías que...

A través de la glándula mamaria, deben pasar en promedio de 400 a 500 litros de sangre, para producir 1 litro de leche.

Fisiología de la glándula mamaria



Fotografía 6. Vacas recién paridas con sus crías. Nota cómo los terneros succionan el pezón de la glándula mamaria. También puedes observar en la fotografía superior, cómo el ternero elimina el meconio (primeras heces después de nacer el ternero).

Para garantizar el inicio de la secreción adecuada de leche, la glándula mamaria debe sufrir diferentes cambios morfofisiológicos, que le permitan no solo la producción y la eyección, sino también el almacenamiento de la leche (*Fotografía 6*). El desarrollo fisiológico de la glándula mamaria, se divide en cuatro etapas principales: **mamogénesis, lactogénesis, galactopoyesis, e involución.**

Mamogénesis

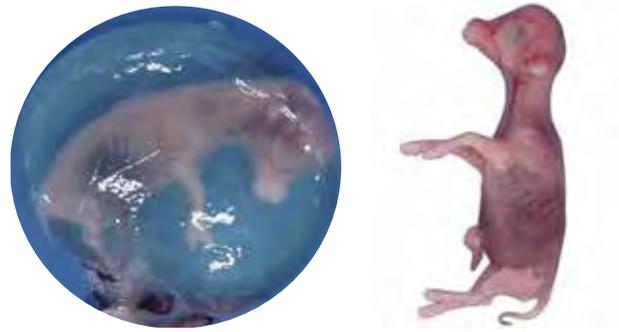
La mamogénesis, es el proceso en el cual se da la formación o desarrollo de la glándula mamaria, en los diferentes estadios de crecimiento en la hembra. Esta etapa va desde el desarrollo embrionario, y culmina en la terminación de la gestación. La mamogénesis se presenta en diferentes periodos de crecimiento de la vaca; a continuación, describiremos cada una de ellos.

Mamogénesis embrionaria y fetal

Antes del nacimiento, se establecen todos los linajes de células que formarán la glándula mamaria; inicialmente se crea un **rudimento mamario** o una glándula mamaria primitiva. Dicha glándula se forma a partir de brotes o crestas mamarias, que son engrosamientos del tejido epidermal (*Fotografía 7*). Este engrosamiento de tejido comienza a desarrollarse, a penetrar y a ramificarse dentro de la piel, para dar origen a lo que se conoce como **brote mamario primario, y brote mamario secundario.** Finalmente, estos brotes epiteliales se canalizan y forman el sistema de ductos de la glándula mamaria.

En la etapa fetal, aproximadamente a los tres meses se da la formación del seno galactóforo, y a los cuatro meses se encuentra un epitelio de dos o tres estratos celulares, que cubren la cara interna del lumen del seno galactóforo. Adicionalmente, en esta etapa se empiezan a formar los vasos sanguíneos, que corren perpendicularmente a la base de la ubre.

En contraste con el desarrollo de otros tejidos como el cardiaco, el muscular y el gástrico, la glándula mamaria primitiva no es funcional al nacimiento. Sin embargo, muy poco después de que la cría nace, ocurren cambios pronunciados en su desarrollo, durante diferentes etapas de la vida del animal.



Fotografía 7. Embrión y feto bovino. Observa cómo en esta etapa no se alcanza a apreciar a simple vista la glándula mamaria. Sin embargo, suceden cambios anatómicos que las diferencian.

Mamogénesis prepuberal o estado de desarrollo de la glándula mamaria antes de la pubertad

Durante el período prepuberal de desarrollo, la glándula mamaria experimenta un **crecimiento de tipo isométrico**, es decir, el tejido mamario crece al mismo ritmo y proporción que el resto del cuerpo de la hembra; crecimiento que aparentemente no es notable (*Fotografía 8*). En este periodo, el parénquima mamario se caracteriza por la falta de desarrollo de estructuras alveolares, y por la poca proliferación de las células epiteliales mamarias.



Fotografía 8. Ternera de 10 días de nacida. Observa cómo en esta etapa de vida de la hembra, la glándula mamaria no se diferencia del resto del cuerpo del animal, y tiene poco desarrollo.

Mamogénesis puberal o estado de desarrollo de la glándula mamaria en la pubertad

Una vez inicia la pubertad, es decir, la etapa donde la vaca adquiere la madurez sexual para reproducirse, la tasa de crecimiento de la glándula mamaria es mucho más rápida que el resto del cuerpo, y es llamado crecimiento alométrico. Con el inicio de la pubertad y los ciclos estrales regulares, el sistema de ductos y alvéolos de la glándula mamaria, comienza a desarrollarse (*Fotografía 9*). Durante el ciclo estral, los ductos siguen ramificándose, y su diámetro se incrementa por la influencia de los E2, que junto con la **prolactina (PRL)**, y **hormona de crecimiento (GH)**, hacen que su desarrollo sea mucho más rápido. Debido a la influencia durante la fase luteal del ciclo estral, la P4 hace que se inicie el desarrollo alveolar, llevando a un desarrollo y expansión del tejido secretor mamario.

Fotografía 9. Hembra bovina de 12 meses. Observa cómo la glándula mamaria de esta hembra está más desarrollada que la de la fotografía 9. La razón se debe a que este animal está en la pubertad.



Estado de desarrollo ocurrido durante la preñez

En este período, en especial el último trimestre de la preñez se completa el desarrollo alveolar. Es en este punto, donde la estructura lóbulo-alveolar representa aproximadamente el 90% de la masa celular de la glándula mamaria. Gracias a la acción sinérgica de las hormonas progesterona, estrógenos, PRL, cortisol, GH, insulina, hormonas tiroideas y **lactógeno placentario** (hormona producida por la placenta), el epitelio mamario está preparado para la síntesis de la leche (*Fotografía 10*).



Fotografía 10. Vaca en el último tercio de la preñez. Observa cómo es el desarrollo de la glándula mamaria en esta etapa.

Lactogénesis

La lactogénesis ocurre desde el último tercio de la preñez, hasta algunos días después del parto. Esta etapa comprende una serie de cambios por los cuales las células epiteliales mamarias, son convertidas de un estado no secretor, a un estado en secreción, produciendo pequeñas cantidades de componentes específicos de la leche, como caseína (proteína de la leche), y lactosa (disacárido). La lactogénesis se divide en: lactogénesis I, y II.

Lactogénesis I

La lactogénesis I está comprendida desde el último tercio de la preñez hasta pocos días antes del parto, y se caracteriza por la funcionalidad de las células epiteliales mamarias, para la producción del **precalostro** y **calostro**. En esta etapa, la glándula mamaria sintetiza componentes específicos de la leche, como gotas de grasa y proteínas, debido a la activación de la maquinaria enzimática en las células epiteliales mamarias o lactocitos. Es importante resaltar que la síntesis de lactosa no comienza, hasta que se dé la siguiente etapa de la lactogénesis (lactogénesis II).

Al comienzo de la lactogénesis I, existe una reducida cantidad de organelas, como: el retículo endoplasmático y el Aparato de Golgi en las células epiteliales mamarias, por lo cual hay escasa producción de proteínas y de gotas de grasa.

Poco antes del parto, (aproximadamente 5 días, finalizando la lactogénesis I), esta situación cambia al incrementarse la cantidad de retículo endoplasmático liso, rugoso y el Aparato de Golgi, lo que coincide con el aumento importante de vesículas que contienen gotas de grasa y vesículas que contienen caseínas, para ser liberadas al lumen alveolar.

La energía necesaria para el transporte celular, se da gracias a un notorio aumento en el número de mitocondrias en este periodo. Las principales hormonas involucradas en esta etapa son: la PRL, la insulina, la GH, los glucocorticoides y el lactógeno placentario.

El calostro producido en esta etapa, presenta una composición rica en nutrientes mucho más alta que la leche. Sin embargo, el componente biológico de mayor relevancia es, sin lugar a dudas, las inmunoglobulinas o anticuerpos que le darán inmunidad pasiva al neonato una vez consumido el calostro (Tabla 1).

Tabla 1. Diferencias entre el calostro y la leche.

Componente	CALOSTRO (%)	LECHE (%)
Lactosa	2.5	4.5
Lípidos	6	3.5
Sólidos no grasos	22	9
Proteína	19	3.3
Inmunoglobulinas	13	1



Sabías que...

Es fundamental que el ternero tome el calostro dentro de las primeras 24 horas de vida, debido a que las inmunoglobulinas solamente pueden absorberse durante este período.

Lactogénesis II

Esta etapa va desde los cuatro días antes del parto, hasta los primeros días después de este. La lactogénesis II se caracteriza por la secreción copiosa de la leche, que se da gracias a la disminución de las concentraciones de la P4, debido al aumento de los glucocorticoides característicos del parto, que permitirán un aumento en las concentraciones de PRL; adicionalmente, comprende un período mucho más corto que la lactogénesis I.

En la lactogénesis II, se continúa produciendo el calostro que se inició en la lactogénesis I. Ya en esta etapa (lactogénesis II), se da la eyección del calostro, y se inicia una etapa transicional para la producción y eyección de la leche.

La síntesis y secreción de **lactosa** al lumen alveolar, es la característica principal de esta etapa, ya que con este evento se garantiza el transporte de agua hacia la luz alveolar (efecto osmótico), para que se secreten grandes cantidades de leche, razón por la cual esta etapa es llamada también: **secreción copiosa de la leche**, la cual se continuará con la galactopoyesis.

Galactopoyesis

La galactopoyesis, se define como el mantenimiento de la lactancia o la continuidad, en la producción de leche. Una vez que termina la lactogénesis I y II, la glándula mamaria está capacitada para continuar la síntesis y secreción de leche (*Fotografía 11*).



Fotografía 11. Vaca en el primer tercio de la lactancia. Observa cómo la glándula mamaria tiene un gran desarrollo en esta etapa.

Para el mantenimiento de la lactancia son necesarios los siguientes estímulos:

1. Estímulos que mantengan el número de células secretoras.
2. Estímulos que mantengan la capacidad secretora.
3. Estímulos asociados a la remoción de la leche.

Todos estos, van a depender del control hormonal de la lactancia.

Las hormonas implicadas en la galactopoyesis son principalmente la PRL, la GH, el lactógeno placentario, los glucocorticoides, las hormonas tiroideas, la insulina, el E2 y la oxitocina. Las hormonas más importantes en esta etapa como la GH y los glucocorticoides, son las que tienen un efecto sobre la partición o direccionamiento de los nutrientes. Se calcula que aproximadamente el 33% de la energía que se requiere para la producción de leche, procede de las reservas corporales durante la lactancia temprana, que está comprendida de 0 a 100 días posparto. La galactopoyesis, termina cuando se desencadena la involución de la glándula mamaria.

Involución

La involución se refiere a la regresión gradual de la glándula mamaria, lo que induce a que esta cese la producción de leche (*Fotografía 12*). En este periodo, la glándula mamaria aumenta la pérdida del parénquima glandular, sustituyéndolo por tejido conectivo interlobular y tejido adiposo; lo anterior, hace que gradualmente decaiga la producción láctea, y que la poca leche eyectada sea rica en proteínas, sodio, cloro y lactoferrina, y pobre en lactosa, potasio y citrato. Experimentos *in situ*, indican que la pérdida de las células epiteliales mamarias, es debida a la **apoptosis** que sufren estas.



Fotografía 12. Hembra en período seco. Observa cómo la glándula mamaria disminuye en tamaño con respecto a la etapa anterior. Esta etapa es necesaria, para que el animal pueda recuperar su condición corporal y tener así una próxima lactancia exitosa.

Sabías que...

Las células que se van perdiendo durante una lactancia, no vuelven a reemplazarse. Por esta razón, es necesario dejar descansar la glándula mamaria, para su recuperación y posterior multiplicación de nuevas células epiteliales. Este periodo es llamado "período seco", proceso que consiste en dejar de ordeñar la vaca dos meses antes del siguiente parto.

Hormonas y su relación con la glándula mamaria

Las hormonas con efecto sobre la glándula mamaria son: la hormona de crecimiento, la prolactina, la oxitocina, las hormonas tiroideas, la insulina, los glucocorticoides, el 17- β estradiol, la progesterona y el lactógeno placentario (Tabla 2).

Tabla 2. Hormonas asociadas a la glándula mamaria.

Hormonas	Mayor efecto mamario
Hormona de crecimiento (GH)	Tiene efecto en la lactogénesis II y galactopoyesis, ya que incrementa la producción de leche, por ser una hormona implicada en el direccionamiento de nutrientes hacia la glándula mamaria.
Prolactina (PRL)	Efecto lactogénico. Favorece la diferenciación celular, incrementado la expresión de genes para la biosíntesis de proteínas de la leche. La PRL, controla principalmente la expresión del gen de la caseína .
Oxitocina (OT)	Desencadena el reflejo de eyección de la leche, induciendo la contracción de las células mioepiteliales.
Hormonas tiroideas	Aumenta el consumo de oxígeno y la síntesis de proteína, lo que favorece el metabolismo celular, facilitando la producción de la leche.
Insulina	Involucrada en el metabolismo de la glucosa, principalmente en la absorción de este azúcar por la glándula mamaria, ya que es crítica y de vital importancia para la biosíntesis de la lactosa. Adicionalmente, favorece la expresión de genes para la síntesis de proteínas lácteas.
Glucocorticoides	Involucrados en la lactogénesis, debido a que favorecen el desarrollo de las organelas de las células epiteliales mamarias, principalmente del retículo endoplasmático rugoso y el Aparato de Golgi. Esta diferenciación es esencial, porque permite que la PRL pueda inducir la síntesis de proteínas lácteas. Existe un sinergismo entre los glucocorticoides y la PRL, para inducir la lactogénesis.
17-β estradiol (E2)	Favorece el crecimiento de los conductos mamarios. Favorece la lactogénesis de forma indirecta, ya que su secreción estimula la producción de PRL. El E2 y los glucocorticoides incrementan el número de receptores de PRL, en la membrana basal de las células epiteliales mamarias.
Progesterona (P4)	Estimula el desarrollo de los lóbulos alveolares mamarios. Durante la preñez, inhibe la síntesis de lactosa, alpha-lactoalbúmina y caseína. Adicionalmente, los altos niveles en sangre de P4 inhiben la producción de la PRL en la adenohipófisis, que es la que induce a la síntesis de estos compuestos.
Lactógeno placentario	Estimula el desarrollo de las células epiteliales mamarias.

Mecanismo fisiológico para la secreción de leche

Los principales componentes de la leche son incorporados a las células epiteliales mamarias, por transporte celular, entre ellos encontramos:

- 1. Glucosa:** permite generar algunos compuestos que se requieren para la síntesis de grasas en la leche, y es el precursor de la lactosa.
- 2. Aminoácidos:** utilizados en la síntesis de proteínas lácteas.
- 3. Ácidos grasos de cadena larga:** procedentes del alimento y las reservas corporales (tejido adiposo), necesarios en la producción de grasa en la leche.
- 4. Ácidos grasos volátiles:** procedentes de la fermentación ruminal como el acético y β -hidroxibutirato, precursores de los ácidos grasos de cadena corta y media de la grasa de la leche.
- 5. Vitaminas y minerales:** procedentes del alimento y las reservas corporales (hueso, dientes) secretados en la leche.

La cantidad y composición de la leche, dependerá del potencial genético del animal, así como de la disponibilidad de cada uno de estos nutrientes en la dieta.

La célula epitelial mamaria, tiene una actividad de secreción cíclica que consiste en tres fases importantes que son: **secreción, excreción y reposo**. En la primera, se sintetizan cada uno de los componentes de la leche, acumulándose en la porción luminal de la célula epitelial mamaria. La segunda fase, es la excreción, en esta; los componentes son vertidos hacia el lumen alveolar y por último la fase de reposo, donde la leche excretada es almacenada en la ubre, hasta que se produzca el amamantamiento o el ordeño (*Figura 4*). De no darse ni el ordeño o el amamantamiento, se inicia una retroalimentación negativa que inhibe la producción de más leche. A medida que se va produciendo la excreción, la leche se almacena en dos zonas distintas: una parte queda en los alvéolos y conductos menores o lactíferos (leche alveolar), mientras que otra desciende a los conductos mayores y cisternas, tanto de la glándula mamaria, como del pezón (leche cisternal).

¿Por qué es importante realizar el ordeño diariamente?

La acumulación de la leche en los alvéolos, aumenta la presión **intraalveolar**, lo que disminuye la síntesis y la secreción. Por esta razón, es muy importante el vaciado de la ubre, ya que se libera esta presión, permitiendo nuevamente la síntesis láctea. Un mayor número de ordeños, dará lugar a un aumento en la producción de leche, debido a la alta producción de **PRL**. Esta hormona tiene sus receptores en las paredes del lactocito, los cuales permiten que una vez esta llegue por el torrente sanguíneo, se una y genere las señales moleculares necesarias para estimular la síntesis de los componentes de la leche. Cuando un alvéolo está lleno de leche, la pared del lactocito se expande alterando su forma, impidiendo que la PRL se una a su receptor; por esta razón, la tasa de síntesis de leche se disminuye.

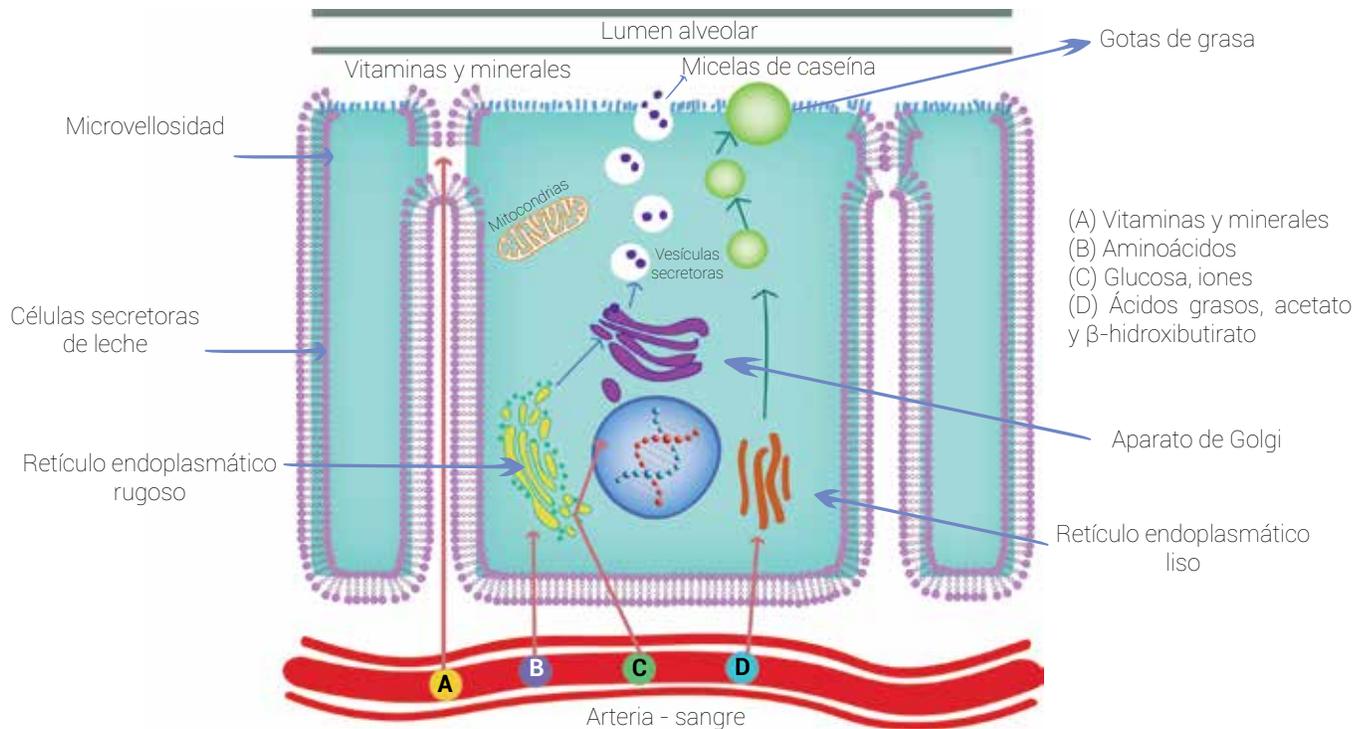


Figura 4. Esquema del transporte, biotransformación y secreción de los componentes de la leche en la célula epitelial mamaria.

Reflejo liberador de prolactina

El mantenimiento de la lactancia, se debe gracias a la hormona PRL, la cual es liberada en la hipófisis anterior, por el estímulo del pezón que viaja por vía neuro-hormonal. La innervación del pezón de la vaca, confiere una gran sensibilidad en esta zona, por lo cual el estímulo generado por masaje de la ubre o succión del ternero llega al hipotálamo, pasando a la adenohipófisis, donde se produce y libera la PRL hacia el torrente sanguíneo, hasta alcanzar las células epiteliales mamarias, haciendo que se produzca la síntesis y la secreción de la leche.

Mecanismo de eyección de la leche

Para que la leche producida y acumulada entre los ordeños sea eyectada, se requiere la contracción de las células mioepiteliales que se encuentran rodeando el alvéolo, efecto inducido por la oxitocina.

El reflejo de la liberación de oxitocina para la eyección de leche, comienza con los estímulos de los nervios aferentes ubicados en zonas estratégicas de la hembra. Estos estímulos pueden ser táctiles (contacto físico), donde el operario realiza masajes en los pezones o el ternero los succiona; estímulos visuales y olfativos, donde la madre visualiza y huele a su cría, o al concentrado; estímulos auditivos, como cuando la vaca escucha el bramido del ternero, el sonido de la máquina de ordeño o la música cuando previamente fue condicionada para este evento. Todos los estímulos anteriores, se convierten en impulsos que viajan por vía neuronal al hipotálamo, específicamente a los núcleos supraóptico y paraventricular donde se produce la oxitocina (Figura 5).

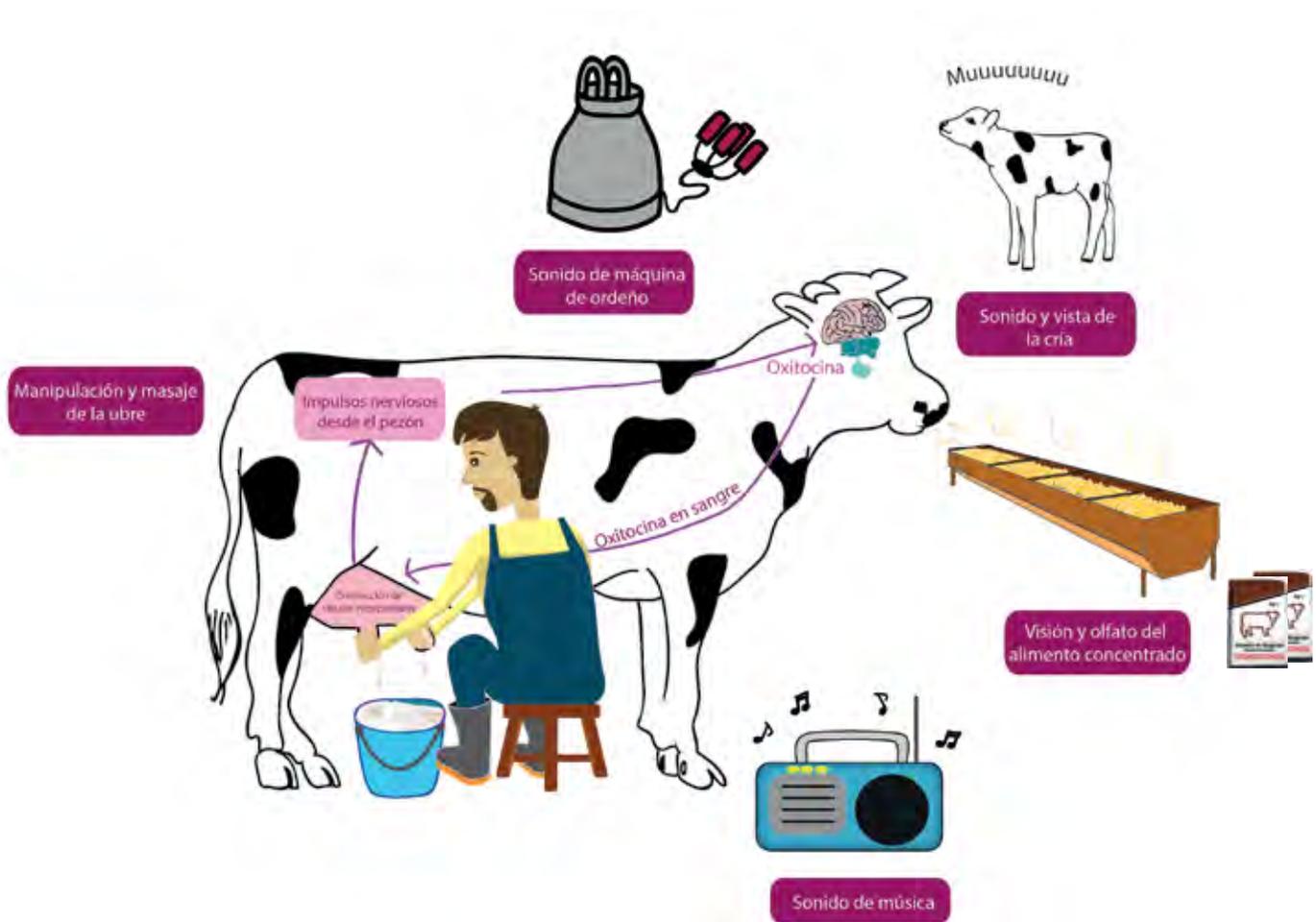


Figura 5. Reflejos involucrados en la eyección de la leche. Observa cómo los diferentes estímulos desencadenan la eyección de la leche, mediante la secreción de oxitocina por la neurohipófisis.

Posteriormente, la oxitocina liberada por la hipófisis posterior o neurohipófisis al torrente sanguíneo, viaja hacia la glándula mamaria, donde estimula la contracción de las **células mioepiteliales**. El tiempo transcurrido entre el inicio del estímulo y la eyección de la leche, es normalmente de uno a dos minutos, con contracciones cada 20 o 60 segundos, luego del estímulo.

La acción de la **oxitocina**, dura solamente de seis a ocho minutos, debido a que su concentración en la sangre decrece rápidamente por su naturaleza química. Por lo tanto, es importante comenzar el ordeño manual o mecánico, lo más pronto posible, con el fin de evitar una pérdida en la producción de leche.

Puerperio

El puerperio es el conjunto de eventos fisiológicos orientados a la recuperación del aparato reproductivo después del parto de la vaca, para permitir que esta vuelva a quedar en gestación.

La vaca recién parida, presenta un útero distendido, porque durante la gestación el crecimiento del embrión y posterior feto, ejercieron un efecto mecánico para el aumento del tamaño uterino. En el periodo posparto, el útero de la vaca debe iniciar un proceso, mediante el cual vuelva a su tamaño original; este evento se conoce como **involución uterina**.

La involución uterina debe garantizar microscópicamente la reducción del tamaño celular, que asegure la continuidad de los procesos funcionales del endometrio, el miometrio y la serosa. En la vaca, este periodo dura aproximadamente entre 45 y 50 días, tiempo en el cual el útero debe ser reparado, con el fin de alojar una nueva gestación.

Para iniciar la involución uterina, la vaca no solamente debe expulsar la cría, sino también las membranas fetales (etapa 3 del parto), con el fin de garantizar un proceso de recuperación uterino adecuado. Sin embargo, 2 a 9 días después del parto, la hembra continua expulsando un contenido o descarga vulvar proveniente del útero llamado **loquios**.

Los loquios, corresponden a una secreción que se da por la recuperación de las carúnculas, la cuales presentaron la ruptura de vasos sanguíneos, por el desprendimiento de las membranas fetales durante el parto. La cantidad de secreción de loquios, va disminuyendo a medida que transcurren los días posparto, con el fin de garantizar la eliminación de posibles bacterias contaminantes del tracto reproductivo.



Sabías que...

Si garantizamos una adecuada involución uterina, la vaca tendrá una mayor posibilidad de tener un ternero al año, presentando un mayor número de lactancias que coinciden con una mayor producción de leche durante su vida.

La capacidad de contracción del útero (miometrio) después del parto, no solo ayuda a la salida de los loquios, sino además a la recuperación del tamaño uterino. Estas contracciones, son inducidas por la oxitocina, producida gracias principalmente al estímulo del ternero o del ordeño. Entre más cantidad de oxitocina se produzca, la hembra involucionará su útero en menor tiempo, favoreciendo la reactivación ovárica (Figura 6).



La reactivación ovárica posterior al parto, es el proceso por el cual los ovarios inician la formación de estructuras funcionales para reactivar los ciclos estrales, buscando que la vaca presente el primer celo posparto.

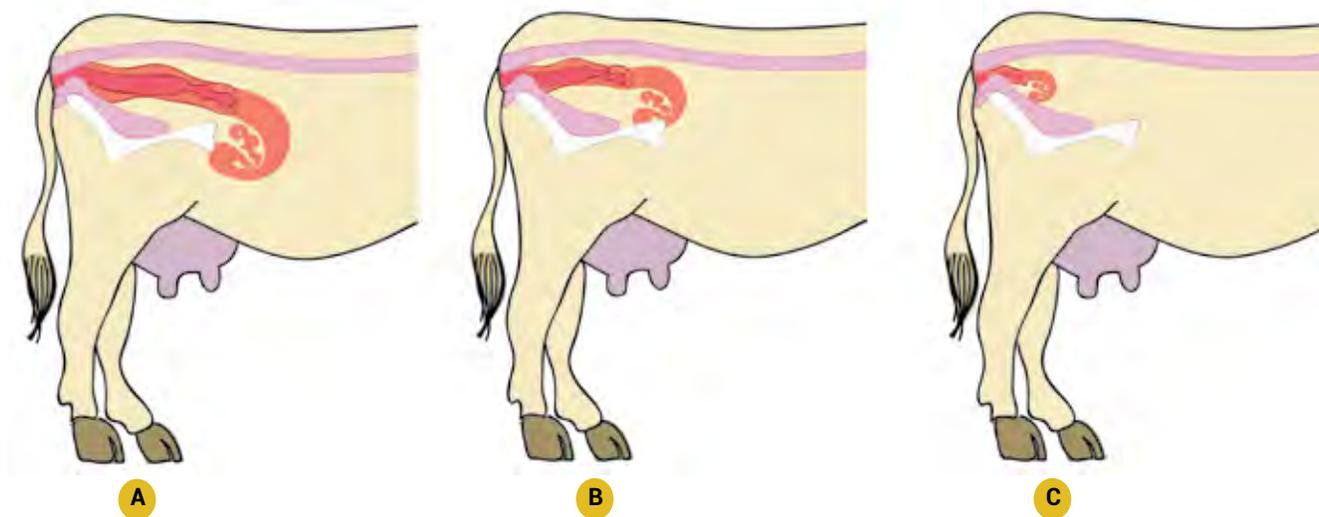


Figura 6. Esquema de la recuperación o involución uterina en el posparto. Observa cómo en la figura A, el útero tiene un mayor tamaño, lo que corresponde posiblemente a una vaca recién parida. En la figura B, la vaca presenta un tamaño uterino menor al de la A, correspondiendo a una vaca de aproximadamente 25 días de parida, y en la figura C, el proceso de involución uterina ha culminado.

Bibliografía

- Bell, A.W. (1995). Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2804-2819.
- Bruckmaier, R.M., Schams, D., & Blum, J.W. (1994). Continuously elevated concentrations of oxytocin during milking are necessary for complete milk removal in dairy cows. *Journal of Dairy Research*, 61(3), 323-334.
- Capuco, A.V., & Ellis, S.E. (2013). Comparative aspects of mammary gland development and homeostasis. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 179-202.
- Cox, D.B., Owens, R.A., & Hartmann, P.E. (1996). Blood and milk prolactin and the rate of milk synthesis in women. *Experimental Physiology*, 81(6), 1007-1020.
- McManaman, J.L., & Neville, M.C. (2003). Mammary physiology and milk secretion. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 55(5), 629-641.on.
- Senger, P.L. (2012). The puerperium and Lactation, chapter 15. In: P.L. Senger, *Pathways to pregnancy and parturition* (3rd ed.). Redmond, OR: Current Conceptions.
- Shennan, D.B., & Peaker, M. (2000). Transport of milk constituents by the mammary gland. *Physiological Reviews*, 80(3), 925-951.
- Svennersten-Sjaunja, K., & Olsson, K. (2005). Endocrinology of milk production. *Domestic Animal Endocrinology*, 29(2), 241-258.
- Uruakpa, F.O., Ismond, M.A., & Akobundu, E.N. (2002). Colostrum and its benefits: A review. *Nutrition Research*, 22(6), 755-767.

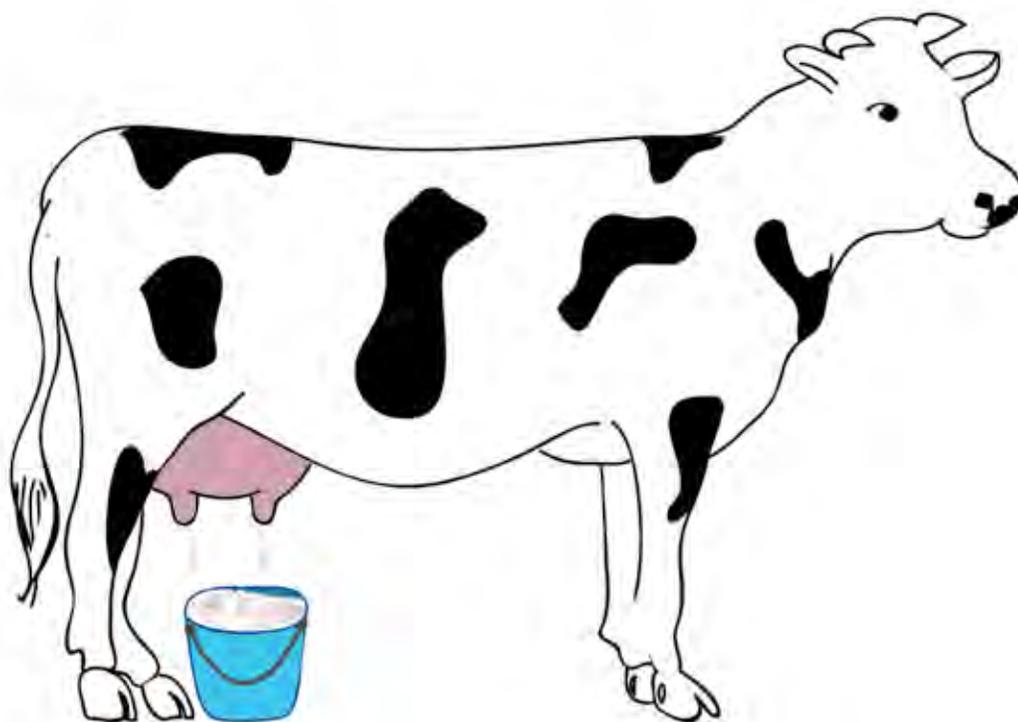
Juega y aprende



A continuación, encontrarás algunas actividades que te permitirán aplicar los conocimientos que has visto en este capítulo.

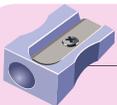
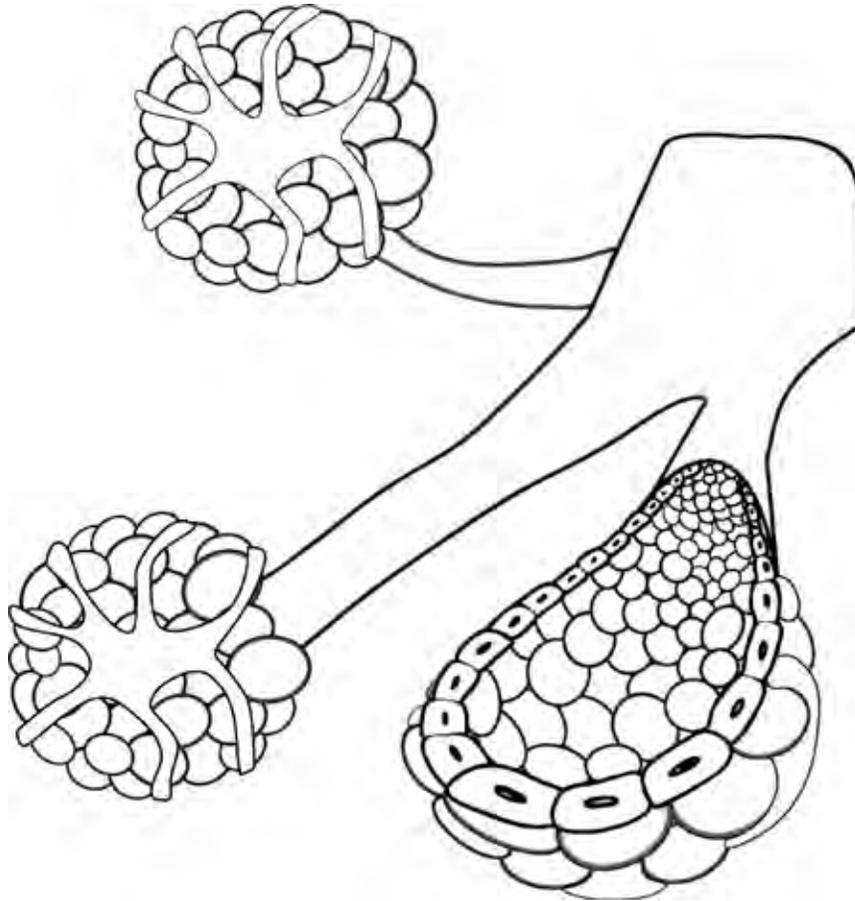
1. Identifica, pega y argumenta

A continuación, encontrarás la imagen de una vaca, cuya glándula mamaria esta en una situación específica; identifica la pegatina tipo jeringa que mejor coincida con dicha imagen, y colócala en el anca de la vaca, simulando una inyección intramuscular. Posteriormente, argumenta el porqué de tu decisión.



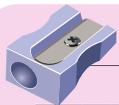
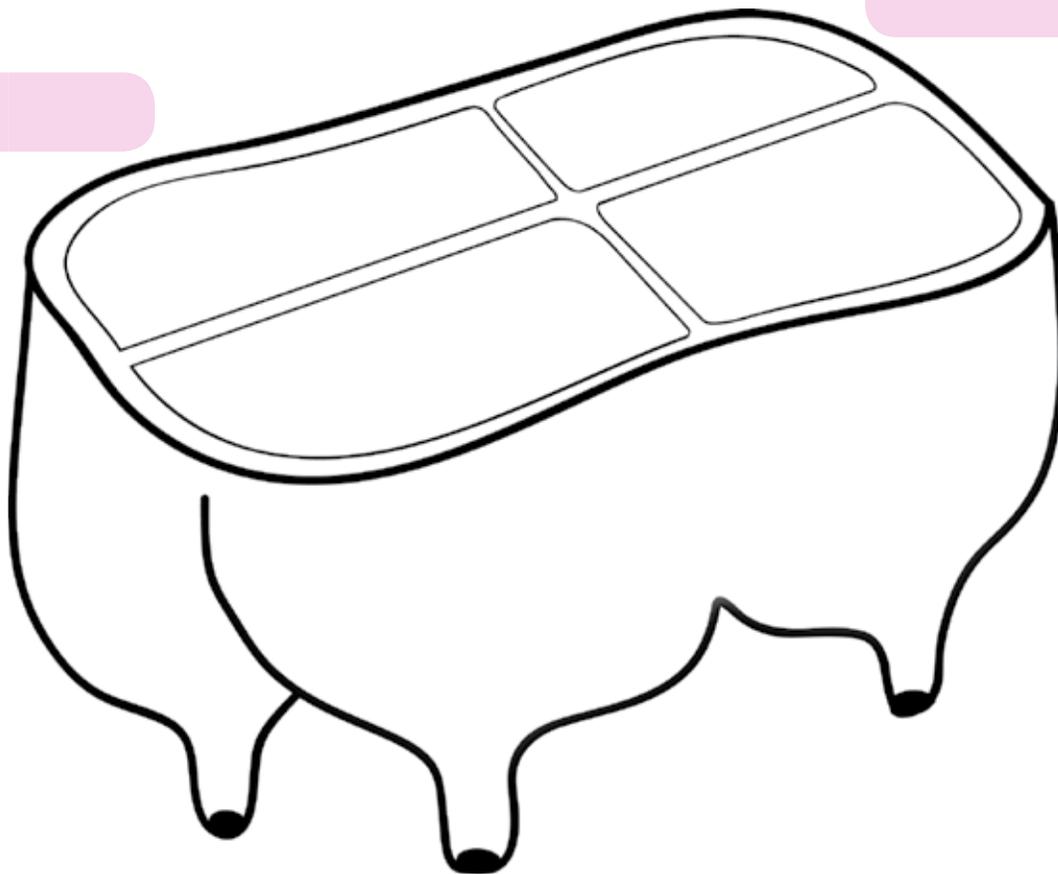
2. Identifica, colorea, responde y aprende

A continuación, encontrarás la imagen de un alvéolo mamario; colorea las células epiteliales mamarias de color rosado, y sus núcleos de color negro; adicionalmente, pinta de color verde las células mioepiteliales. Finalmente, responde cuál es la función de las células epiteliales mamarias.



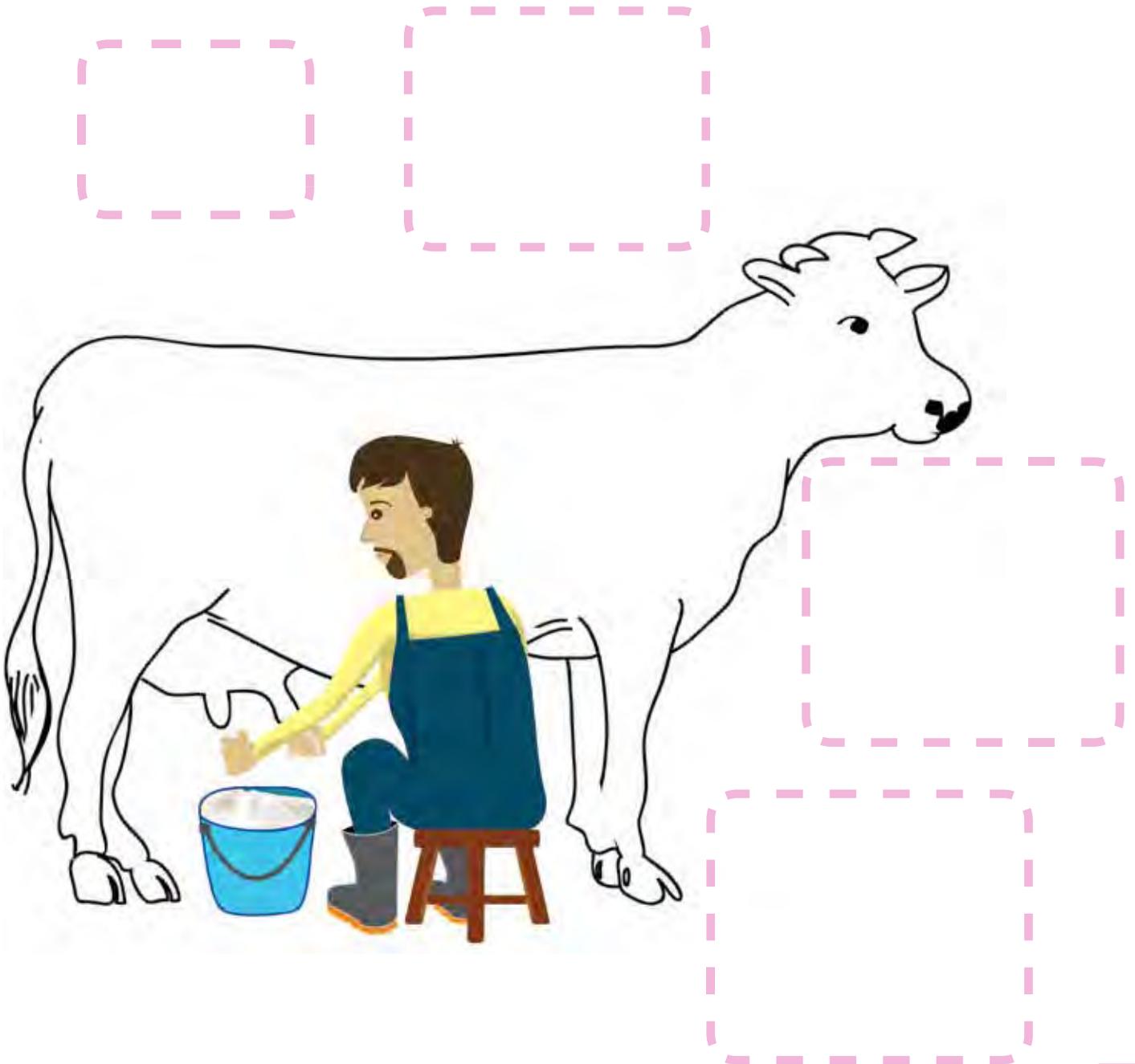
3. Identifica, colorea y argumenta

A continuación, encontrarás una glándula mamaria; coloréala de color rosado claro, y después, identifica los ligamentos laterales y el ligamento medio, píntalos de color rosado oscuro. Finalmente, identifica los cuartos anteriores y posteriores. Argumenta por qué existe una diferencia de tamaño entre estos.



4. Colorea y deja volar tu imaginación

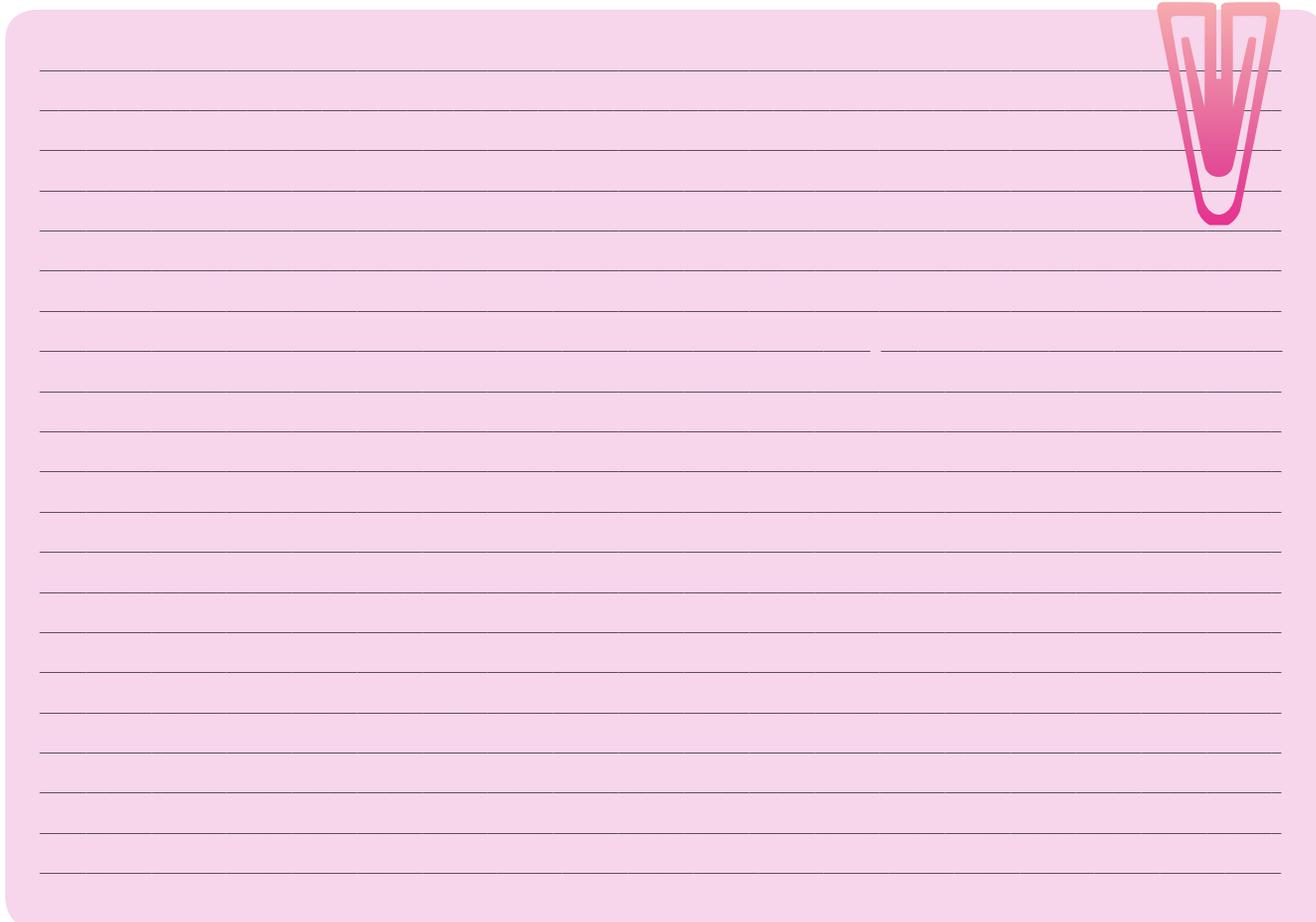
A continuación, verás una vaca preparada para ser ordeñada; coloréala del color que desees. Posteriormente, deja volar tu imaginación, y dibuja al menos cuatro estímulos que inducirían la eyección de la leche por la activación de reflejos neuronales. Te daré una pequeña ayuda: el ordeñador sería un estímulo para la activación del reflejo neuronal que desencadenaría la eyección de la leche, este se da gracias a la manipulación de la ubre (estímulo del tacto). ¿Qué otros estímulos activarían el reflejo de eyección de la leche? ¡Ahora es tu turno!



5. Responde, argumenta y compara con tus compañeros

Responde la pregunta que a continuación se plantea, y posteriormente, compárala con las respuestas de algunos de tus compañeros.

Explica fisiológicamente cómo se da la producción y la eyección de leche. No olvides que algunas hormonas juegan un papel importante en este evento.



A large pink rounded rectangle containing horizontal lines for writing, with a paperclip icon in the top right corner.

Capítulo 7

Bienestar animal y su relación con la reproducción de la vaca

Autores:

Ariel Marcel Tarazona Morales, Zoot, MSc, PhD¹

Yasser Lenis Sanín, MVZ, Esp, MSc²



¹ Grupo de Investigación Biogénesis. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Producción animal, Universidad Nacional de Colombia. amtarazonam@unal.edu.co. Calle 59A No.63-20, Autopista Norte; Bloque 50, Piso 2, Oficina 202 Medellín, Colombia.

² Grupo de Investigación Centauro. Escuela de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Calle 67 # 53-118 Apartado Aéreo 1226, Medellín- Colombia. Grupo de investigación GINVER, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Corporación Universitaria Remington, Calle 51 # 51 - 27 Edificio Remington torre 1, Medellín- Colombia.

Capítulo 7

Bienestar animal y su relación con la reproducción de la vaca



Bienvenidos al capítulo sobre el bienestar animal y su relación con la reproducción de la vaca. Aprenderás cómo la nutrición, la salud, el confort térmico y otros factores, pueden afectar la reproducción en la vaca. También encontrarás, que el bienestar animal es una herramienta para mejorar los parámetros productivos, y la reproducción de la hembra.

En la producción bovina, existen diversos factores que los animales deben enfrentar, como: el clima adverso, parásitos, deficiencias nutricionales de las pasturas, y otros **agentes potencialmente estresores**. Diversas investigaciones, han demostrado que las buenas prácticas de manejo, influyen directamente sobre la cantidad y calidad de los productos, y que un pobre bienestar en cualquiera de las etapas del sistema de producción, desde el nacimiento del animal hasta su sacrificio, incrementa las pérdidas económicas por: presentación de enfermedades, disminución del consumo de agua y alimento, lesiones, desórdenes metabólicos, y efectos negativos sobre la reproducción, por lo cual la adopción de buenas prácticas de bienestar animal, puede mejorar la eficiencia reproductiva y así, la competitividad y sostenibilidad de la ganadería.

El bienestar de los animales, puede definirse como: su **estado general en relación con la forma como se adaptan a su entorno**; para evaluarlo, podemos tomar como referencia los principios de: buena **alimentación**, buena **salud**, **confort y comportamiento** apropiado. Cada uno de estos principios, tiene relación con la reproducción de la vaca, como veremos a continuación.

En los sistemas de producción bovina, buscamos transformar la energía de los alimentos, en productos como carne y leche. Para lograr esto, se necesita que la reproducción funcione eficientemente, con el fin de obtener suficientes crías. La eficiencia en esta transformación, depende de muchos factores, y es por esto que el manejo de una buena nutrición, es esencial para el mantenimiento de la condición corporal óptima para la reproducción (*Tabla 1*). Cuando los animales se estresan por cualquier motivo como: calor, dolor, enfermedad, miedo, entre otros, mucha de la energía que debería transformarse en beneficio de la producción, se gasta en contrarrestar el **estrés**, y como consecuencia de esto, los **índices reproductivos y productivos** se ven afectados negativamente (*Fotografía 1*).



Fotografía 1. Bovinos en condiciones potencialmente estresantes. Observa cómo aunque en el fondo del potrero hay árboles, estos no están disponibles para favorecer la termorregulación.

La reproducción, es una actividad que consume energía y se afecta fácilmente cuando la salud general de las vacas, o su supervivencia, están en riesgo. Por lo tanto, de todas las funciones del cuerpo, la reproducción es la más prescindible cuando la **homeostasis** está en peligro, y la supervivencia del individuo es más importante que la reproducción. En situaciones en las que falla la adaptación al estrés, el animal se enfrenta a estados subclínicos de enfermedades, que pueden dar lugar a trastornos de la fertilidad y la reproducción: (deterioro de la calidad de los oocitos; tasas de preñez bajas); mastitis, infecciones; hígado perturbado, función inmune y mortalidad o trastornos del comportamiento.



Sabías que...

Cualquier factor estresante hace que el animal gaste energía de más para contrarrestar el estrés. Esta energía que se pierde, podría usarse en otros procesos fisiológicos como el crecimiento o la reproducción. Por esto, el estrés puede retrasar el tiempo de inicio a la pubertad de las novillas.

El estrés afecta directamente la reproducción, al activar el eje hipotálamo-hipófisis adrenal, que como consecuencia, afecta a su vez, el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, a través de la modulación principalmente del **cortisol** y las **catecolaminas**. Estas últimas son hormonas catabólicas, que afectarían negativamente la función reproductiva (Figura 1).

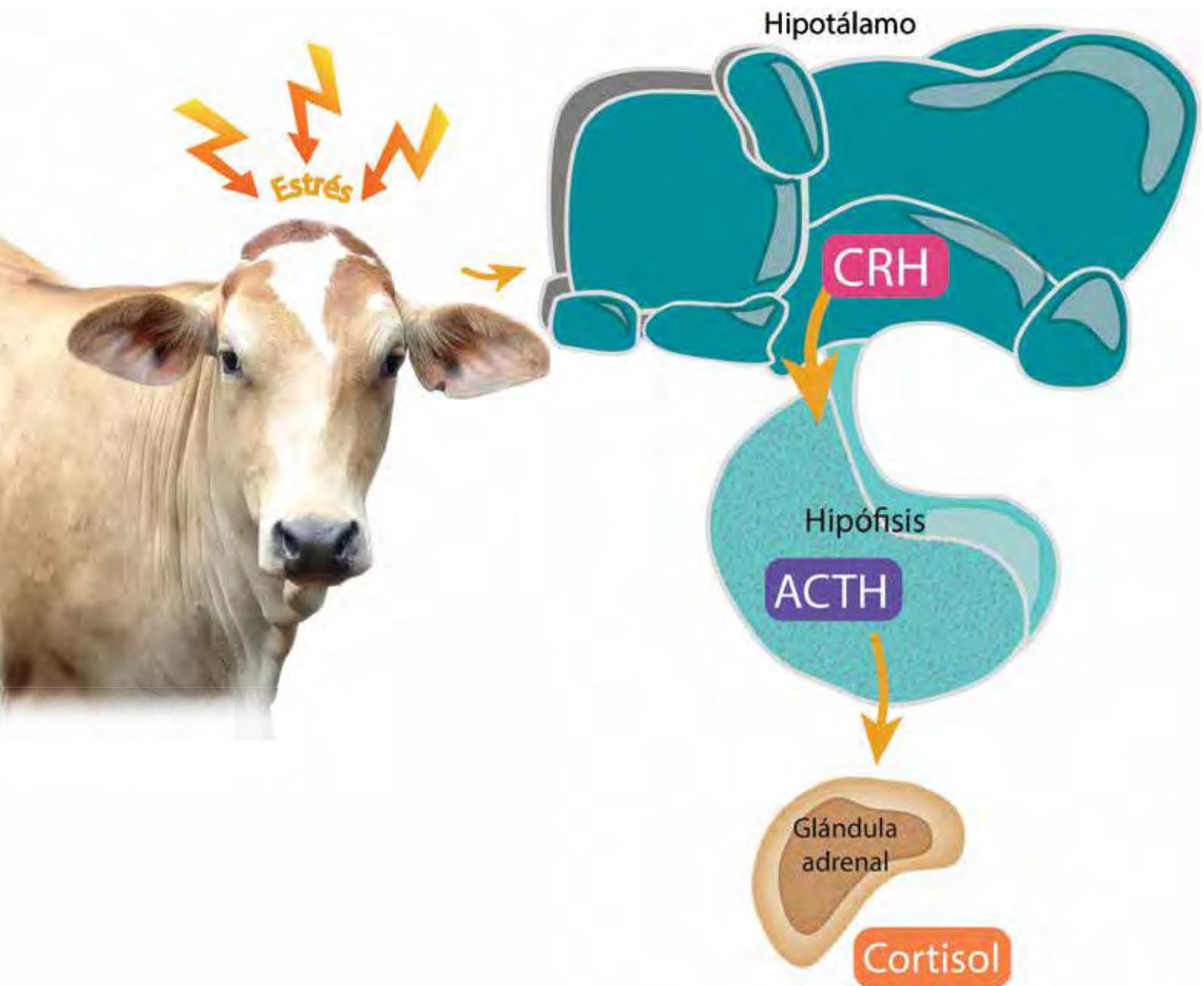


Figura 1. Efecto del estrés sobre el eje hipotálamo - hipófisis - glándula adrenal (HHA). Observa cómo el estrés induce que la hormona liberadora de la corticotropina (CRH), se dirija a la adenohipófisis a estimular la producción de hormona trófica de la corteza adrenal (ACTH), para que esta viaje hasta la glándula adrenal, y favorezca la producción de cortisol.

Factores estresantes en los sistemas de producción

En los sistemas de producción, se presentan comúnmente factores estresantes, ante los cuales el animal tratará de adaptarse; estos factores pueden clasificarse en tres grupos:

Estrés por factores ambientales

El ambiente que enfrentan las vacas, es una sumatoria de factores que incluyen: la temperatura, la humedad, la ventilación, la pluviosidad y la luz, entre otros. Estas condiciones, alteran directamente la homeostasis o equilibrio dinámico, lo cual puede generar estrés. Este puede ser tanto, por exceso de energía térmica (hipertermia), como por déficit (hipotermia), exceso de luz, de radiación, corrientes fuertes de aire o excesiva humedad. El principal estrés ambiental es térmico; la transferencia de energía para la termoconducción y la termorregulación, sucede en los animales homeotermos de varias formas: conducción, convección, radiación y evaporación, entre otras.

El estrés por calor, afecta la expresión de celo o estro de la vaca y compromete la calidad de los oocitos; también favorece la reabsorción y las pérdidas embrionarias, y dificulta el reconocimiento materno-embriionario. Actualmente, este es un tema particularmente importante, debido a las evidencias que hay sobre el cambio climático; en los países tropicales, es un fenómeno bien documentado de extremas sequías o de lluvias que afectan directamente a las vacas, comprometiendo la reproducción en primera instancia, como mecanismo de supervivencia ante las condiciones desfavorables del entorno (*Fotografía 2*).



Fotografía 2. Bovinos en ambientes estresantes con poca sombra. Observa cómo los animales están expuestos directamente a la radiación del día.



Sabías que...

Una forma sencilla y económica de mejorar el ambiente para los bovinos, es mediante el uso de árboles en los potreros; a la vez que ofrecen sombra, mantienen la humedad, y en algunos casos pueden ser fuente de alimento para las vacas.

Sabías que...

La nutrición es esencial para la reproducción; además del balance de energía y proteína, las vitaminas y los minerales son fundamentales para los procesos reproductivos.

Estrés por factores nutricionales

La regulación, tanto del consumo como de la selectividad, le permite al animal mantener un balance adecuado de nutrientes, de acuerdo a sus necesidades. Cuando la cantidad de alimento consumida es insuficiente para satisfacer los requerimientos, se genera estrés metabólico, ya que el flujo de nutrientes y de reservas corporales, no logra contrarrestar la demanda; entonces, el animal presenta hambre e incomodidad. La deficiencia de macronutrientes, afecta directamente los controles o señales endocrinas, que regulan la reproducción; asimismo, las deficiencias de micronutrientes como las vitaminas y los minerales afecta la calidad de los oocitos y el desarrollo embrionario (*Fotografía 3*).



A



B

Fotografía 3. Condición corporal en hembras bovinas.

(A) Hembra con condición corporal favorable.

(B) Hembra con condición corporal menos favorable.

Estrés por factores comportamentales

Los bovinos son animales de **manada**, y por tanto es importante para ellos poder interactuar con otros de su especie; sin embargo, las interacciones comportamentales pueden ser tanto **filiativas** (positivas), como **agonísticas** (negativas). Dentro de las filiativas están: lamerse, recostarse, topetearse suavemente y rascarse; dentro de las agonísticas están: topetearse fuertemente, patear, empujar y embestir. Estas últimas pueden provocar lesiones considerables, especialmente cuando las vacas tienen cuernos, generando contusiones y dolor. Tanto el dolor agudo como el crónico, es un factor muy estresante para los animales, y es causante de grandes problemas que incluyen varias alteraciones reproductivas (*Fotografía 4*).



Fotografía 4. Comportamiento filiativo en bovinos. Observa cómo uno de los individuos está lamiendo a su compañera; este comportamiento es considerado favorable.

Factores de bienestar animal relacionados con la reproducción

Buena alimentación

La buena alimentación como criterio de bienestar animal, se basa en el principio que todos los animales deben tener comida y agua en suficiente cantidad, de la calidad adecuada para suplir sus requerimientos, y que puedan acceder fácilmente a ella. Un problema común en la ganadería, es que muchas veces no se cumplen estos criterios, dando como resultado de la pérdida de la **condición corporal**, lo que conlleva a dificultades enormes en términos reproductivos, debido a que las vacas tienen como prioridad, el mantenimiento de las funciones corporales, en segundo lugar el crecimiento y el almacenamiento de reservas, y en último lugar la reproducción.

Cuando la nutrición es insuficiente, los procesos fisiológicos relacionados con la reproducción se detienen; así, la reducción en la eficiencia reproductiva, puede darse en varias etapas del proceso:

1. Las vacas entran en anestro, debido a que los ciclos estrales se interrumpen.
2. No se producen oocitos de buena calidad.
3. El embrión no es reconocido, debido a problemas en la señalización hormonal.
4. Ocurre la pérdida embrionaria, tanto del cigoto, como del embrión.
5. Ocurre aborto.
6. El ternero nace demasiado débil.

Para mejorar y asegurar la nutrición de las hembras, es necesario ofrecer forraje suficiente para suplir los requerimientos de energía, proteínas, vitaminas y minerales; la recomendación de los expertos, sugiere una **presión de pastoreo**, 6.9 y 9.2 kg de **materia seca** de forraje, por cada **100 kg de peso del animal** (Fotografía 5).

El mecanismo por el cual la nutrición afecta la reproducción, es por mediadores o señales químicas que viajan por el torrente circulatorio y señalizan el estatus nutricional directamente en el **sistema nervioso central**; como ejemplo de algunas de estas moléculas están: la glucosa, la leptina y los ácidos grasos volátiles. Diferentes estudios han demostrado, que las tasas de gestación más altas, se obtienen usando animales con condiciones corporales intermedias (3 en escala de 1 a 5), ni muy gordas, ni muy delgadas. Por ejemplo, el aumento de la capacidad para la producción de leche, se ha asociado con una disminución de la fertilidad de las vacas lactantes.



Fotografía 5. Bovinos en ambientes con suficiente oferta de forraje. Observa cómo estos animales se encuentran en lugares con una adecuada oferta forrajera en cantidad, diversidad y calidad.

Los requerimientos nutricionales, aumentan rápidamente con la producción de leche después del parto, y el resultado es un **Balance Energético Negativo (BEN)**, el cual retrasa el momento de la primera ovulación a través de la inhibición de **la frecuencia y pulso de LH**, y niveles bajos de glucosa, insulina y factor de crecimiento insulínico tipo I (IGF -I) en la sangre, que colectivamente afectan la producción de E2 por los folículos dominantes. El BEN también disminuye la concentración de P4 circulante, dificultando el mantenimiento de la preñez, en condiciones de una inadecuada nutrición. Además, es frecuente que las dietas concentradas de vacas lecheras sean altas en proteínas, lo cual aumenta el nivel de úrea en sangre, haciendo que el ambiente uterino no sea adecuado para la implantación y el mantenimiento de la gestación. Por otra parte, la **leptina** es una hormona capaz de modular el eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, y por tanto la mayor parte de las funciones reproductivas; es muy importante durante la pubertad, y debido a que es producida por el tejido adiposo, tiene una alta relación con la condición corporal de la vaca.

Con respecto al agua, es indispensable la instalación de una red de bebederos para suministrar de manera permanente agua fresca y de calidad para los animales, evitando que estos ingresen directamente a los cuerpos de agua como ríos, quebradas, humedales y manantiales, lo que estimula al ganadero a proteger y mejorar la calidad de este imprescindible recurso natural, y disminuye riesgos para los animales. Es necesario implementar dichas redes de conducción de agua hasta las zonas de pastoreo e instalar bebederos fijos, o móviles, según los grupos de ganado y las rotaciones, los cuales deben estar ubicados estratégicamente, para que los animales no realicen desplazamientos prolongados que disminuyen la productividad por el ejercicio, e incrementan el pisoteo del potrero. La falta de agua tiene un impacto negativo sobre la reproducción, principalmente porque la deshidratación aumenta la osmolaridad de la sangre por el aumento del

hematocrito, generando un ambiente uterino desfavorable; usualmente, la deshidratación viene acompañada de un cuadro de estrés térmico, cuyos efectos sobre la reproducción se describirán más adelante.

Confort

El confort como criterio de bienestar animal, se basa en que los animales deben permanecer en lugares que les brinden comodidad para la realización de sus actividades, incluido el descanso. Un problema común en la ganadería, es que no se ofrecen condiciones óptimas que favorezcan el confort de los animales; la ausencia de sombra, tanto en los potreros como en los corrales, es un buen ejemplo de esto, lo que conlleva a estrés mediado por el eje HHA, el cual bloquea la acción de los estrógenos, disminuyendo la presentación de estro o celo y bloqueando el pico preovulatorio de LH (*Fotografía 6*).

Confort para el descanso

Echarse, es un comportamiento de alta prioridad, los bovinos descansan principalmente echados; es por esto que las perturbaciones del comportamiento de descanso, pueden estar asociadas con insuficiente recuperación, cansancio y frustración, incrementando el riesgo de **laminitis** y alteraciones o daños en el pelo, piel y articulaciones. Las cojeras por laminitis, son dolorosas y afectan drásticamente el comportamiento; las vacas cojas no se dejan montar de otras vacas o del toro, y generalmente tampoco presentan celo evidente, aun cuando exista un folículo preovulatorio en el ovario. Para mejorar esta condición, se deben realizar rotaciones de potreros, ajustes de carga de los animales de acuerdo a la oferta forrajera, y control de los encharcamientos, con el fin de ofrecer comodidad a los animales y evitar las cojeras. Por otra parte, se deben manejar protocolos de analgesia para aquellos animales con dolor.



Fotografía 6. Animal descansando bajo la sombra. Observa cómo este bovino expresa su comodidad, al estar evitando el exceso de la radiación solar, gracias a la sombra que brindan los árboles.

Confort térmico

Como se mostró previamente, el **estrés por calor** es uno de los principales problemas de impacto productivo en el trópico. Temperaturas muy elevadas, tienen repercusiones para la salud y el bienestar del animal, y por consiguiente para su desempeño reproductivo.

Los principales efectos del estrés térmico sobre la reproducción son:

1. Reduce la expresión de celo, debido a la reducción tanto en el número de folículos reclutados, como en su crecimiento; por tanto, la producción de estrógenos es también reducida.

2. Disminuye la calidad de los oocitos ovulados, y por tanto, la posibilidad de ser fertilizados exitosamente.
3. Contrarresta el efecto de hormonas exógenas, por tanto los programas de reproducción asistida son menos eficientes.
4. Altera el desarrollo embrionario temprano, generando mayor tasa de apoptosis, y embriones menos viables.
5. Reduce la producción de interferón tau, por parte del embrión.
6. El estrés por calor, provoca la redistribución del flujo sanguíneo de los órganos viscerales a la periferia, lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes y hormonas, y en última instancia, compromete la función uterina.
7. Favorece la producción de prostaglandinas luteolíticas, limitando la función del cuerpo lúteo, y reduciendo la posibilidad de implantación exitosa.
8. Disminuye la respuesta inmune, favoreciendo la presentación de enfermedades.

Una forma de reducir los efectos negativos del ambiente sobre la reproducción, es ofrecer condiciones de **microclima** que mitiguen la temperatura, la radiación, mantengan la humedad y disminuyan la velocidad del viento. Los árboles pueden ser una importante estrategia para lograr este objetivo, ya que dan sombra, son utilizados como cercas vivas, sirven como barreras contra las corrientes de viento, y favorecen el mantenimiento de la humedad en el sistema; así, se facilitan los procesos de termorregulación del animal, y este puede mantenerse en **confort térmico**.

Facilidad de movimiento

Moverse libremente, es un comportamiento natural de los animales; cuando hay restricción de movimiento en semovientes acostumbrados al

pastoreo, hay estrés, con todas las repercusiones ya mencionadas anteriormente.

La restricción de movimiento, no es un problema común en los sistemas de producción en el trópico, que se caracterizan por ser en su gran mayoría de pastoreo; sin embargo, es importante manejar densidades que permitan a los animales mantener una distancia mínima con los demás, ya que el no poder hacerlo, favorece la presentación de comportamientos agonísticos. Para evitar los problemas de estrés debidos a la **restricción de movimiento**, es importante realizar una adaptación de los animales a su entorno.

Buena salud

Los bovinos son mantenidos en grupos, por tanto, los problemas de salud individuales, repercuten en los índices de todo el hato. La presentación de enfermedades y la mortalidad de las vacas, son problemas de importancia, no solo por el bienestar de los individuos, sino por las pérdidas económicas presentadas cuando se superan los porcentajes considerados normales, en los sistemas de producción. El cuidado apropiado de la salud, requiere que las vacas se encuentren en un ambiente apropiado, que no les genere estrés que comprometa su **sistema inmune**. Es importante tomar medidas preventivas, entre ellas, asegurar los planes de vacunación, tanto obligatorios como sugeridos para enfermedades de importancia reproductiva: diarrea viral bovina (DVB), brucelosis y leptospirosis; la buena higiene de instalaciones, operarios, y animales, durante procedimientos como el ordeño, la inseminación artificial, la vacunación, entre otros, son fundamentales para el mantenimiento de la salud del hato; sin embargo, debe tenerse en cuenta que muchas enfermedades son multifactoriales, y su desarrollo dependerá de las condiciones de manejo y producción.

Para la evaluación rápida en una finca, deben usarse **parámetros indicadores** que reflejen directa o indirectamente el estatus sanitario de los animales, como por ejemplo: tos, descarga nasal, descarga

ocular, tasa respiratoria, diarrea, mastitis, descarga vulvar, mortalidad, distocia, anemia; sin embargo, algunos de estos parámetros requieren de experticia para su evaluación, y por tanto su aplicación práctica queda limitada a la posibilidad de tener un experto durante la evaluación; en este caso, se considera entonces más apropiado el uso de aquellos indicadores que pueden ser evaluados por observación directa, sin mediciones adicionales. Es importante aclarar, que para todos los indicadores aquí mencionados, se tiene un rango de tolerancia permitido, lo cual quiere decir que la presencia de unos pocos animales con tos o diarrea, no significa un problema de bienestar para toda la población.

Existe una amplia gama de enfermedades, cuya prevención y control son de vital importancia para mantener la **eficiencia reproductiva del hato**; no es objetivo de este capítulo, revisar estas enfermedades, pero sí, recalcar que el mantenimiento de un estatus de bienestar animal, disminuye considerablemente el riesgo de presentación de enfermedad, ya que el animal cuenta con un sistema inmune fuerte, energía suficiente para los procesos metabólicos, comodidad y puede expresar sus comportamientos naturales.

A continuación, algunos factores relacionados con la salud, que son importantes para el bienestar de los animales:

Ausencia de lesiones

Existen riesgos potenciales de lesiones provocadas en corrales y bretes, especialmente cuando la infraestructura no es revisada, ni se le realiza un mantenimiento periódico. La presencia de astillas de: madera, alambres, tornillos salientes, puntillas, entre otros; es un riesgo frecuente para producir laceraciones, hematomas, y en algunos casos hasta fracturas, y como consecuencia de esto se genera un **estrés agudo** por el dolor inmediato, y en algunos casos **estrés crónico**, cuando el tejido queda muy comprometido. Para reducir este riesgo, es importante hacer mantenimiento preventivo de las instalaciones, y observar cuidadosamente los

lugares por donde transitan los animales, con el fin de identificar riesgos potenciales. Como ya se mencionó anteriormente, el dolor por sí mismo afecta los ejes hormonales de la reproducción, además de generar estrés, que a su vez, también bloquea las vías hormonales reproductivas; por tanto evitar el dolor y sufrimiento de las vacas, es importante para el mantenimiento de una óptima reproducción.

Ausencia de enfermedades

Una ganadería mal manejada, favorece el desarrollo de gran cantidad de enfermedades y organismos parasitarios, por las condiciones desfavorables de humedad y temperatura generadas. Asimismo, las producciones en confinamiento con altas densidades de animales, incrementan el riesgo de transmisión de enfermedades de interés reproductivo y productivo como: la brucelosis, leptospirosis y DVB, entre las más importantes (*Fotografía 7*).





Fotografía 7. Bovinos con una condición física saludable. Nota cómo estos animales, presentan una adecuada condición corporal y un buen estado físico, sin presencia de ectoparásitos.

Las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG)

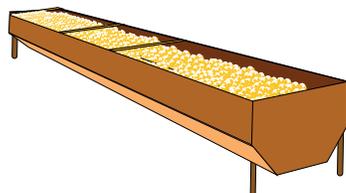
Tales como el manejo correcto de las rotaciones de potreros, los planes de vacunación y de desparasitación, así como normas de bioseguridad, contribuyen a un buen manejo sanitario y a la prevención de las enfermedades, reflejándose esto en un buen estatus de bienestar animal. Una opción deseable para los sistemas ganaderos, es recuperar la funcionalidad ecológica a partir de la biodiversidad de insectos de diversos hábitos, que participan en el reciclaje de nutrientes entre el suelo y las plantas, y ayudan al control natural de insectos y de plagas, lo cual genera beneficios económicos para el empresario ganadero.

Algunos de los componentes de las Buenas Prácticas Ganaderas importantes para procesos de certificación, son:

1. Instalaciones pecuarias



2. Alimentación y medio ambiente



3. Sanidad animal y bioseguridad



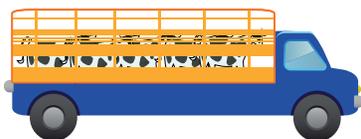
4. Uso de medicamentos veterinarios



5. Saneamiento básico



6. Transporte



7. Registro y documentación



8. Manejo integral de plagas



9. Almacenamiento de insumos pecuarios y agrícolas



10. Trazabilidad



11. Bienestar animal



12. Personal





Sabías que...

Muchos organismos de referencia internacional como: la OIE (Organización Mundial para la Salud Animal), y la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), fomentan la adopción de las BPG, como herramienta para el mejoramiento de la eficiencia productiva, incluyendo la reproducción.

El control de ectoparásitos, reduce significativamente el estrés que los animales soportan a causa de estos, lo cual se ve reflejado en un mejor estatus de bienestar.

Ausencia de dolor inducido por procedimientos de manejo

La ausencia de dolor inducido, es una consideración importante en las buenas prácticas de manejo en los sistemas ganaderos. Depende de cada sistema, tomar la decisión de acogerse a manejos adecuados y procedimientos no dolorosos ni estresantes en los animales, y en la forma de hacerlos. Los procedimientos hacen referencia a los descornes, las castraciones, el manejo general de los animales en corrales, las vacunaciones, y el trato directo con los animales.

En el manejo reproductivo, se hacen muchas prácticas rutinarias en los corrales, que pueden mejorarse para evitar el dolor innecesario que, como ya sabemos, generan serios problemas reproductivos; asimismo, en la ganadería se deben usar protocolos de analgesia para aquellos animales con lesiones dolorosas. Durante el manejo en corrales y bretes, se deben evitar los ruidos fuertes como gritos, golpes en las estructuras metálicas, silbidos, entre otros, ya que los bovinos tienen un sentido del oído mucho más sensible que el ser humano y su percepción de los sonidos agudos les genera un alto grado de estrés; también se recomienda evitar el uso del tábano eléctrico, palos u objetos punzantes, frecuentemente usados para manejar los animales; existen métodos de manejo racional con banderas y movimientos lentos y pausados, que no solamente contribuyen al bienestar de los animales, sino que también mejoran el ritmo de trabajo y disminuyen el riesgo de lesiones tanto para los animales, como para sus manejadores.

Durante los procedimientos reproductivos como: **palpaciones, inseminaciones o transferencia de embriones**, es muy importante hacerlo en las horas más frescas del día, para evitar el estrés calórico; ofrecer agua y sombra en los corrales, dejar descansar el ganado al menos una hora después de movilizarlo para que pueda adaptarse al corral. Es un error frecuente, movilizar los animales desde potreros distantes al corral y manejarlos inmediatamente llegan; este tipo de manejos estresantes, aumenta el riesgo para la presentación de problemas en la fertilización, el desarrollo embrionario, el reconocimiento, o pueden llevar a reabsorciones o abortos.

Comportamiento adecuado

La necesidad de expresar ciertos comportamientos, es fundamental para el bienestar de los animales; este criterio es ampliamente aceptado, y actualmente las evaluaciones de comportamiento, hacen parte integral de la evaluación de bienestar animal. Aunque un porcentaje importante de la reproducción se hace actualmente empleando **biotecnologías**, la observación del comportamiento sigue siendo una herramienta importante en los programas de inseminación artificial, inseminación artificial a tiempo fijo, transferencia de embriones o montas directas programadas. Además del comportamiento reproductivo, existen otros comportamientos importantes dentro del bienestar animal y que afectan de forma directa o indirecta los parámetros reproductivos. De hecho, cuando las vacas muestran los comportamientos típicos del periodo reproductivo, es evidencia de que hay un grado importante de bienestar.

Expresión de comportamientos sociales

Los bovinos son animales **gregarios**; esto parece ser tan importante, que aquellos animales aislados del rebaño se tornan estresados (*Fotografía 8*). A pesar que la vida en grupos trae una serie

de ventajas adaptativas (como defensa contra predadores), también existe competencia por recursos, principalmente cuando estos son escasos, resultando en interacciones agresivas entre los animales del mismo grupo; esta es una cuestión muy importante en la vida de los bovinos, principalmente cuando se mantienen en sistemas intensivos, en condiciones poco apropiadas a sus necesidades, pero no llega a ser preocupante en sistemas de producción en pastoreo, donde los recursos son de fácil acceso para todos los animales. Las interacciones sociales entre las hembras, estimulan los ciclos reproductivos y favorecen la expresión del estro. Se sabe que los bovinos, pueden recordar hasta otros 100 individuos en un grupo; sin embargo, grupos mayores traerán problemas de comportamiento, y dificultarán las labores de manejo.

El mantenimiento de grupos pequeños, favorece una estructura social estable, que tiene efecto positivo sobre los ciclos reproductivos en las hembras; de esta forma, se favorecen los parámetros reproductivos del hato.

Uso del espacio

El espacio para los animales, es el área de interacción donde ellos mantienen todas sus relaciones con el ambiente, inclusive las relaciones sociales.



Fotografía 8. Bovinos que evidencian su gregarismo. Advierte cómo los bovinos prefieren estar mejor en grupos que aislados; esto les permite reducir la probabilidad de presentar estrés.

Generalmente estas áreas presentan dimensiones variables, dependiendo de la disponibilidad de los recursos y de la presión ambiental (clima, predadores, etcétera). Esto puede ser subdividido, de acuerdo con su utilización por los animales en áreas de descanso y de alimentación. Los bovinos pueden tener más de un área de descanso, dependiendo de las **condiciones ecológicas** prevalentes; por ejemplo, cuando están incómodos por la presencia de moscas, pueden elegir áreas ventiladas para descansar, lugares sombreados en horas más calientes del día, las áreas más cercanas al agua.

También existe el **espacio individual**, representado por el sitio donde el animal se encuentra, el cual no es fijo, se mueve con él. Existe también el **espacio social**, identificado como la distancia mínima que se establece entre un animal y los demás miembros del grupo. Atender las necesidades de espacio de los animales, disminuye el riesgo de interacciones agonísticas entre ellos, y por ende el estrés social que afecta la reproducción. Cuando los animales cuentan con espacio suficiente, están más tranquilos, las vacas más calmadas tienen niveles más bajos de cortisol, favoreciendo el efecto de los E2 producidos por los folículos en crecimiento.

Comportamiento jerárquico

Los patrones de espaciamiento, no son suficientes para neutralizar la disminución de agresividad entre animales que están compitiendo por un recurso. También existe otro mecanismo de control social, que tiene origen en la **familiaridad** y en la competencia entre los animales, resultando la definición de **liderazgo y jerarquía de dominancia**, respectivamente. La dominancia se establece en los grupos por la competencia, y es un producto de interacciones agresivas entre los animales del mismo grupo, que compiten por determinado recurso, definiendo quién tiene la prioridad al acceso a: comida, agua, sombra, etcétera.

La dominancia es un comportamiento normal dentro del ganado; sin embargo, se deben ofrecer suficientes recursos para que este comportamiento

se reduzca al máximo. Tanto las vacas **dominantes**, como las **sumisas**, invierten mucha energía en el mantenimiento de la jerarquía, siendo además animales más estresados y con niveles de cortisol más altos. Como sabemos, el cortisol inhibe el efecto del E2, disminuyendo la expresión del estro y la ovulación. Las vacas que en la escala social tienen un rango intermedio (no son dominantes ni sumisas), permanecen menos estresadas, y su reproducción es más eficiente.

Buena relación humano – animal

El manejo rutinario en los sistemas ganaderos, implica contacto constante entre animales y humanos; sin embargo, cuando el contacto es agresivo, el animal tendrá una memoria negativa hacia el ser humano formando un círculo vicioso, ya que estos animales más reactivos e indóciles, serán cada vez más difíciles de manejar, provocando mayores riesgos de accidentes tanto para los manejadores, como para los mismos animales. Los animales se acostumbran a ver al ser humano, y tendrán un comportamiento dócil, cuando son manejados **racionalmente**.

Se puede usar refuerzos positivos, como ofrecer un poco de melaza o concentrado cuando los animales sean manejados; también es muy positivo, ofrecer recursos como agua y sombra en los corrales de manejo, por lo cual el animal relacionará al ser humano con algo bueno. Esto genera en los animales mansedumbre, disminuye la **distancia de fuga**, llegando a un punto en el cual se dejan acercar sin ningún problema. Esta buena relación entre los animales y el ser humano, no solo está relacionada con la docilidad de estos, sino también con la seguridad de los trabajadores, ya que al ser animales menos reactivos, tienen menos posibilidad de ser agresivos con el trabajador. En proyectos realizados con transferencia de embriones producidos *in vitro*, se encontró que al comparar un grupo manejado racionalmente (sin gritos, sin golpes, de forma calmada), con otro grupo manejado de forma convencional (gritos, golpes, de forma acelerada), las tasas de preñez fueron hasta 20% mayores en el grupo de **manejo racional**.

Igualmente, se ha comprobado que los animales con peor comportamiento hacia al humano, tienen más dificultades para quedar preñadas, y más posibilidades de reabsorciones embrionarias y abortos. Por tanto, es muy claro que fomentar un manejo racional y tranquilo de las vacas, evitando gritos y golpes y haciendo refuerzos positivos, tendrá una repercusión significativa en el mejoramiento de los parámetros reproductivos del hato. Para lograrlo, se necesita concientización, tanto de los manejadores, como de los dueños de los animales, así, como entrenamiento en las técnicas adecuadas de manejo.

Cómo mejorar la reproducción, mejorando el bienestar animal

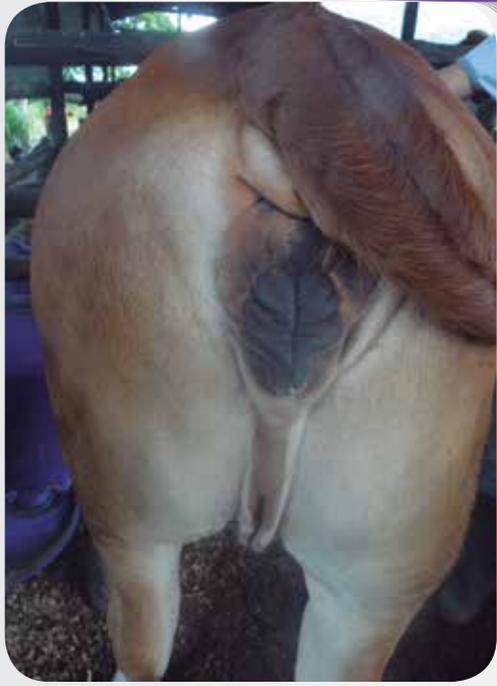
Existen muchos factores relacionados con el bienestar de los animales que afectan la reproducción, especialmente mediante la activación del eje de respuesta al estrés hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA) y cuando hay dolor agudo o crónico en los animales. La buena nutrición, el mantenimiento de la salud, el ofrecer condiciones adecuadas de confort y el manejar racionalmente a los animales permitiéndoles expresar sus comportamientos naturales, favorece significativamente el éxito de los programas reproductivos y por tanto, la eficiencia productiva.

Tabla 1. Indicadores de bienestar animal.

Principios	Criterios	Indicador
Alimentación	Libres de hambre prolongada	Condición corporal
	Libres de sed prolongada	Oferta de agua
Confort	Confort para el descanso	Tiempo requerido para echarse
		Limpieza de los animales
	Confort térmico	Estrés térmico
Salud	Ausencia de lesiones	Cojeras
		Alteraciones de tegumento
	Ausencia de enfermedad	Tos
		Secreción Nasal
		Secreción ocular
		Dificultad respiratoria
	Ausencia de dolor inducido	Diarrea
		Procedimientos quirúrgicos
		Castración
		Descorne
Comportamiento	Expresión de comportamientos sociales	Comportamiento agonístico
		Comportamiento filiativo
	Expresión de otros comportamientos	Otros comportamientos
	Buena relación humano animal	Distancia de fuga
Estatus emocional positivo	Evaluación cualitativa del comportamiento (QBA)	

Bibliografía

- Álvarez, L. (2008). Efectos negativos del estrés sobre la reproducción en animales domésticos. *Archivos de Zootecnia*, 57(R), 39-59.
- Broom, D.M. (2011). Animal welfare: concepts, study methods and indicators. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(3), 306-321.
- Broom, D.M., Galindo, F.A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences B*, 280(1771), 1-9.
- Fraser, D., Duncan, I.J., Edwards, S.A., Grandin, T., Gregory, N.G., Guyonnet, V., Hemsworth, P.H., Huertas, S., Huzzey, J.M., Mellor, D., Mench, J., Špinká, M., & Whay, R. (2013). General principles for the welfare of animals in production systems: The underlying science and its application. *The Veterinary Journal*, 198(1), 19-27.
- Pampori, Z.A., Huozha, R., Shah, K.A., Andrabi, S.A., & Tauseef, A. (2010). *Stress versus reproduction in animals*. *Vetscan*, 5(2).
- Paranhos Da Costa, M., & Tarazona, A. (2011). Practical approach on how to improve the welfare in cattle. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 24(3), 347-359.
- Tarazona, A., Ceballos, M., & Cuartas, C. (2012). Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en bovinos en pastoreo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(3), 473-487.
- Tarazona, A., Ceballos, M., Cuartas, C., Naranjo, J., Murgueitio, E., & Barahona, R. (2013). The relationship between nutritional status and bovine welfare associated to adoption of intensive silvopastoral systems in tropical conditions. *FAO Animal Production and Health Paper*, 175, 69-78.



Juega y aprende

A continuación, encontrarás una actividad que te ayudará a afianzar los conceptos aprendidos en el capítulo de bienestar animal, y su relación con la reproducción en la vaca.



1. Piensa, argumenta y deja volar tu imaginación

A continuación, encontrarás dos recuadros: en el primero, debes dibujar un sistema de producción ganadero, donde se evidencie la no aplicación de ningún criterio del bienestar animal. En el segundo recuadro, dibuja un sistema ganadero, donde se apliquen las BPG y se priorice el bienestar animal.

Bienestar pobre

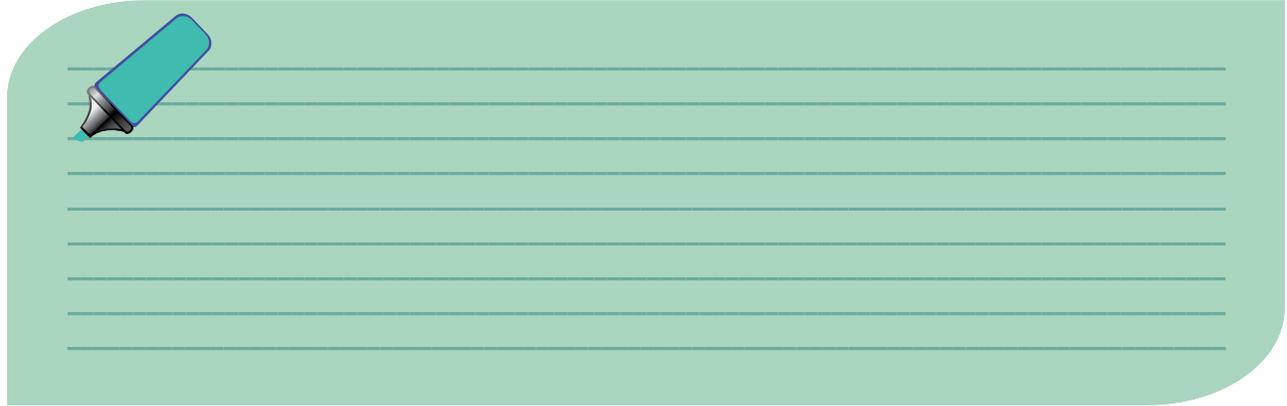
A large, empty rectangular box with a solid purple border and a dotted green border, intended for drawing a system of production where animal welfare is not prioritized.

Bienestar animal

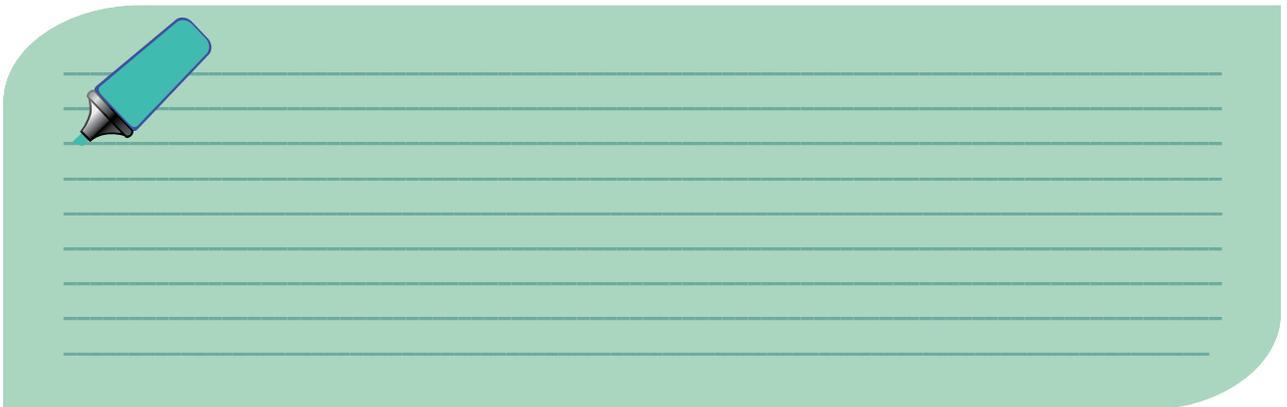
A large, empty rectangular box with a solid purple border and a dotted green border, intended for drawing a system of production that prioritizes animal welfare.

Ahora responde:

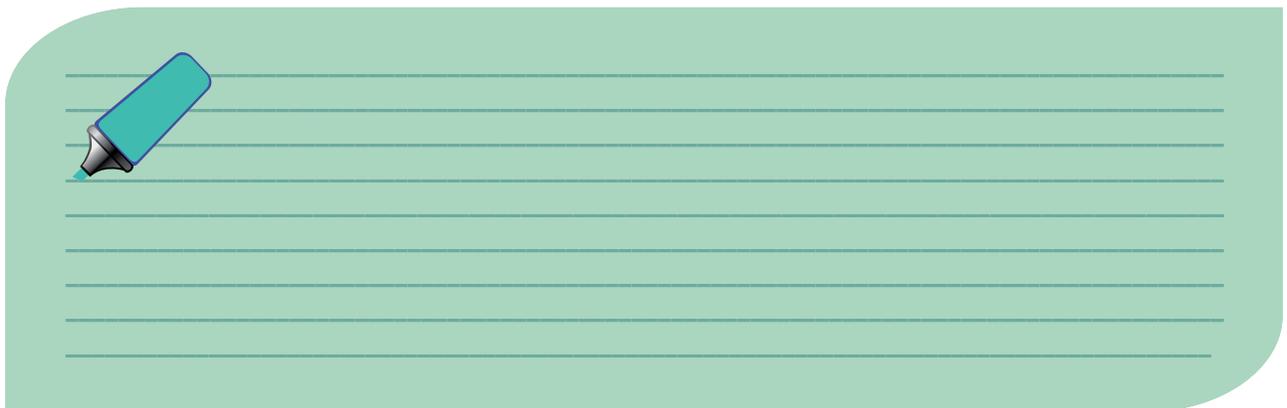
1. ¿Qué diferencias hay entre los dos sistemas de producción?



2. ¿Qué indicadores reproductivos estarían afectados en el primer sistema de producción?



3. ¿Cómo se puede afectar la calidad de los productos derivados del sistema de producción con bienestar pobre?



Financian



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**
1 8 0 3

Facultad de Ciencias Agrarias



**CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA
REMINGTON®**
RES. 2661 MEN JUNIO 21 DE 1996

Apoyan



**AGROPECUARIA
TRES CORONAS**

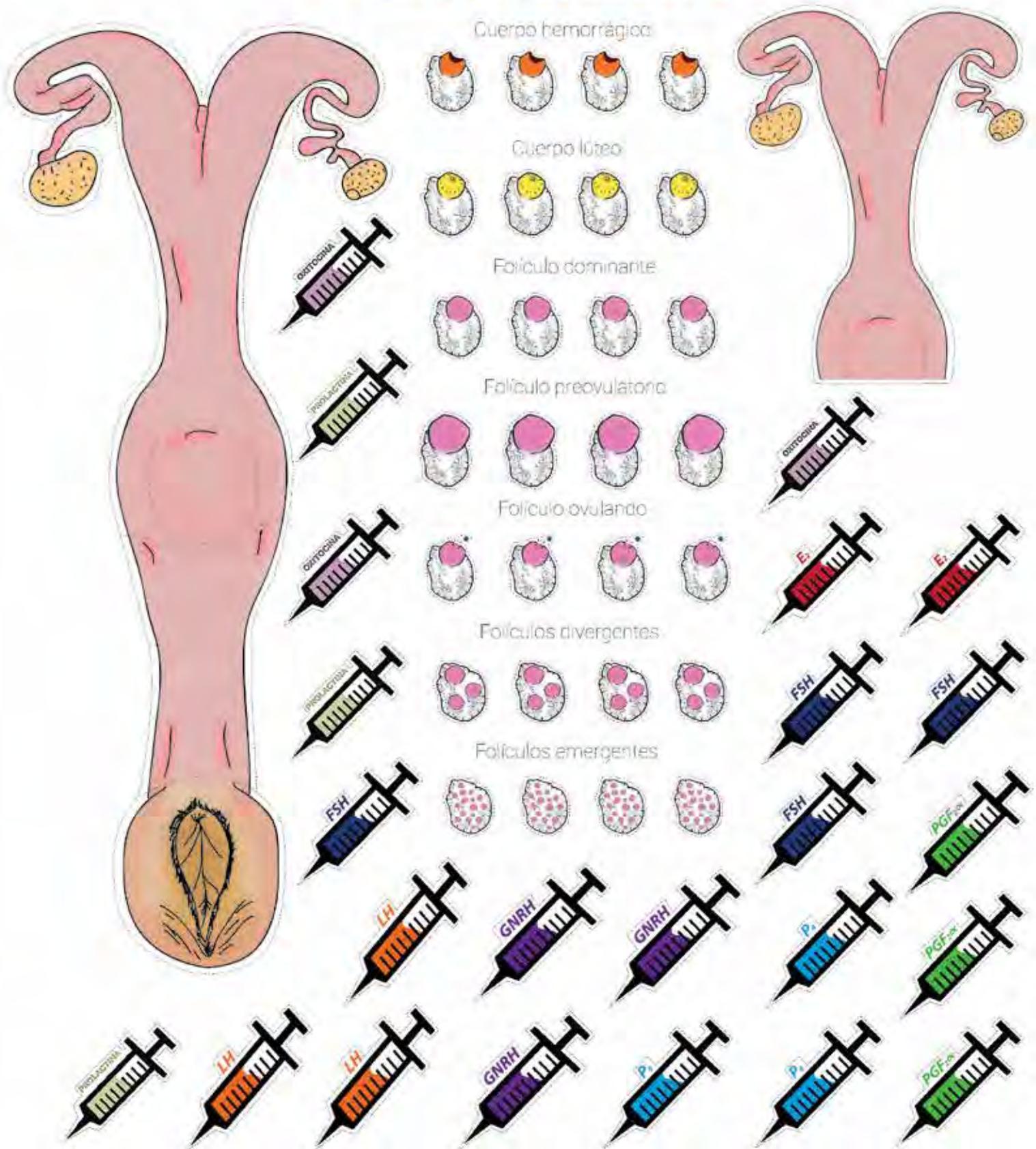
www.agrotrescoronas.com



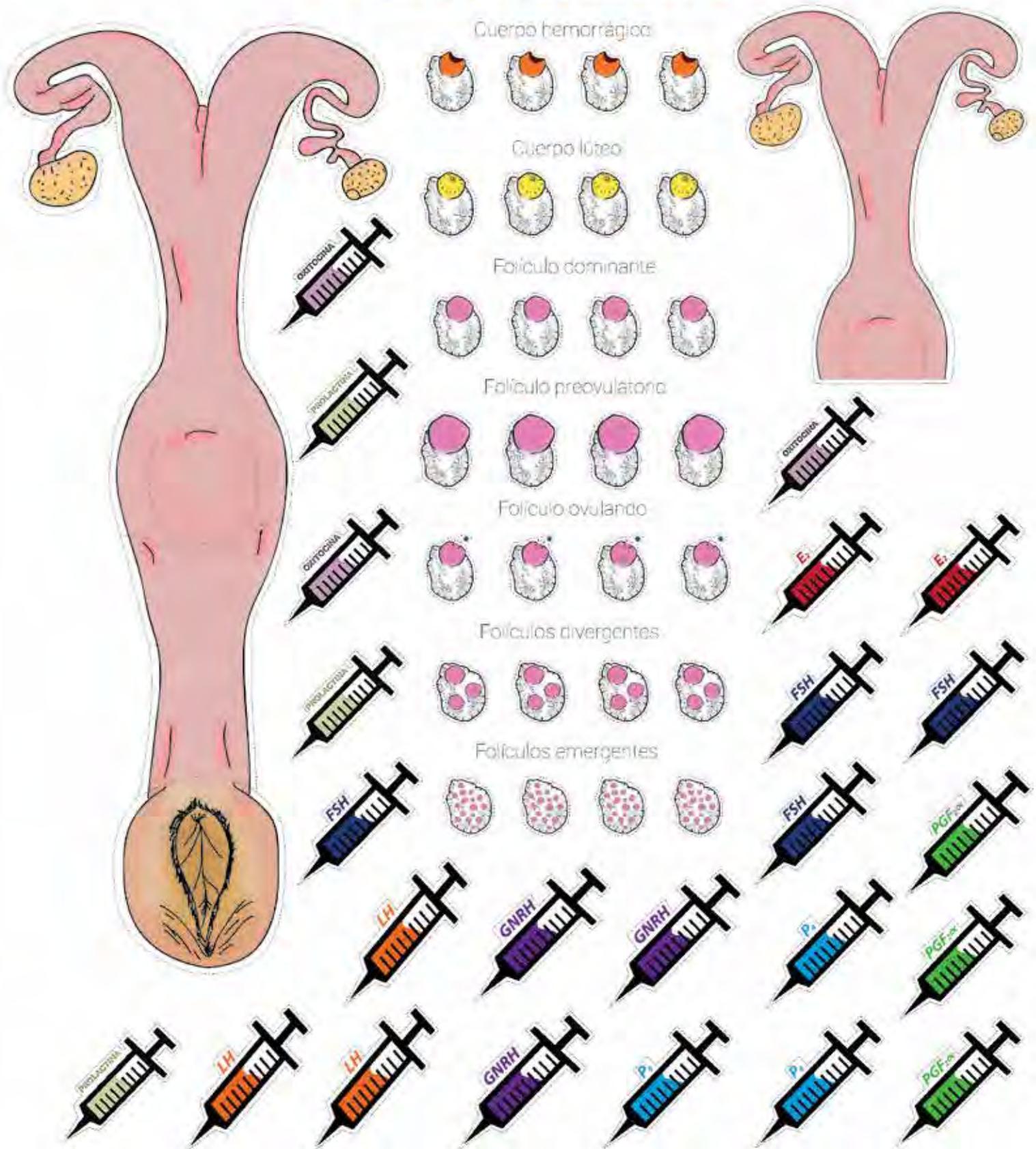
"SCIENTIAE VETERINARIAE:
PRO SALUTE ANIMALIS ET HOMINIS"

Grupo de investigación Centauro

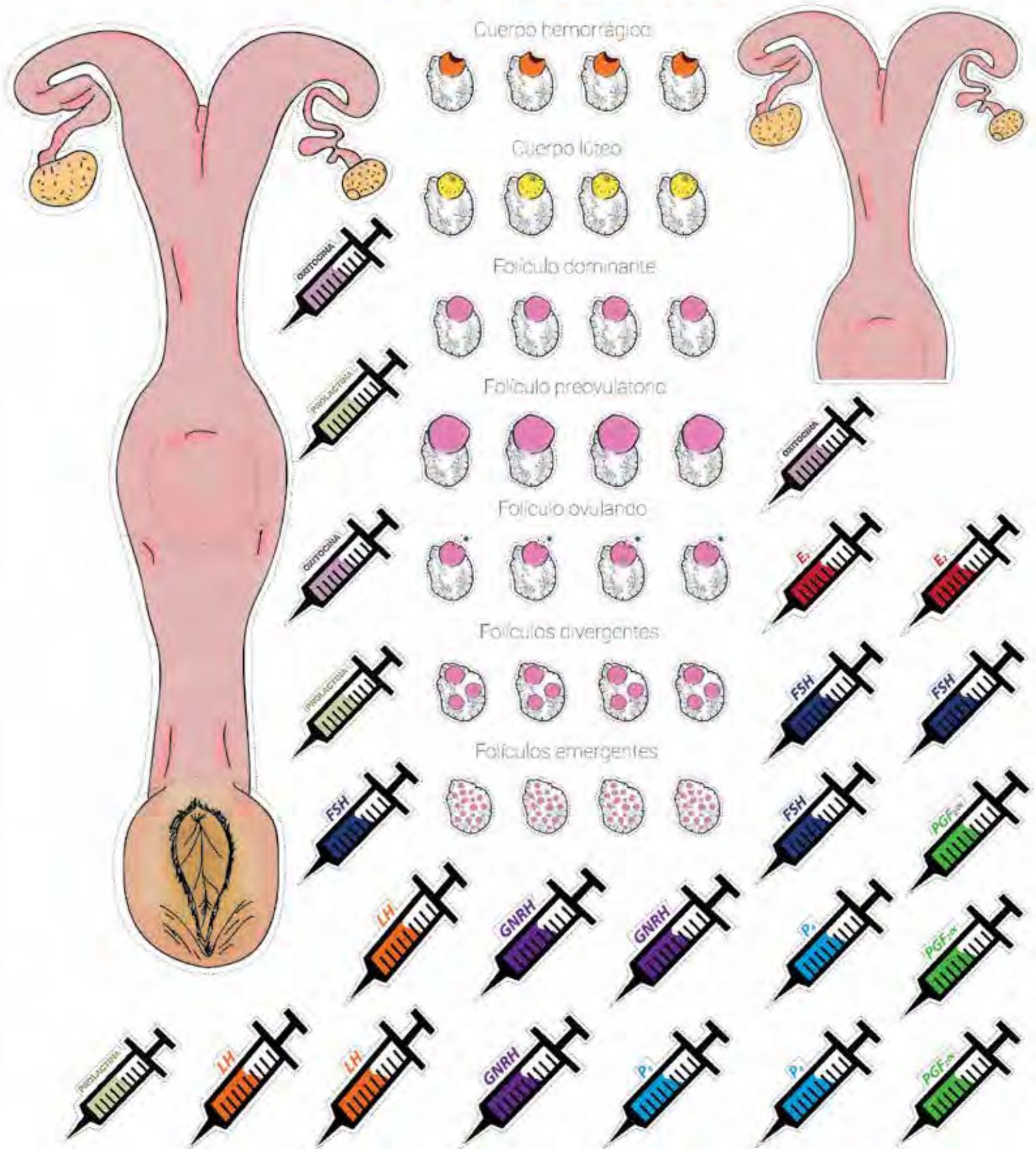
ALMACÉN DE PEGATINAS



ALMACÉN DE PEGATINAS



ALMACÉN DE PEGATINAS





CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA
REMINGTON®

RES. 2661 MEN JUNIO 21 DE 1996



UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA

1 8 0 3

ISBN: 978-958-58070-5-1