






Original

Organización laminar de la médula espinal cervical en bovinos y porcinos: comparación morfohistológica con relevancia veterinaria

Laminar organization of the cervical spinal cord in cattle and swine: a morphohistological comparison with veterinary relevance

Fernanda Salomé Molina Luna *, Katherine Jazmín Hurtado Díaz *, Vicente Alejandro Intriago Muñoz *

*Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" ESPAM MFL, Manabí, Ecuador.

Correspondencia: vicente.intriago@espam.edu.ec

Recibido: Marzo, 2026; Aceptado: Abril, 2026; Publicado: Mayo, 2026.

RESUMEN

Antecedentes: La médula espinal constituye una estructura esencial del sistema nervioso central, cuya organización laminar (láminas de Rexed) permite integrar funciones sensoriomotoras. Existe un vacío de información sistematizada sobre la morfohistología medular en especies de interés zootécnico como bovinos y porcinos, limitando las aplicaciones clínicas y comparativas en medicina veterinaria. **Objetivo.** Comparar la organización laminar de la médula espinal cervical en bovinos y porcinos, identificando similitudes y diferencias morfohistológicas con relevancia veterinaria. **Materiales y Métodos:** Estudio comparativo, descriptivo y observacional. Se analizaron muestras de médula espinal cervical (vértebras C3-C5) de diez bovinos y diez porcinos sacrificados en el Centro de Faenamiento de Calceta, Ecuador. Las muestras fueron procesadas histológicamente con tinción hematoxilina-eosina (HyE). Se realizó estadística descriptiva y prueba t de Student (SPSS v.25) para comparar variables entre especies. **Resultados:** Los bovinos presentaron mayor volumen ($3\ 649\ 535,75 \pm 1\ 560\ 239,62\ \mu\text{m}^3$; $p=0,001$) y espesor medular, mientras que los porcinos mostraron mayor densidad neuronal global ($79\ 578,87 \pm 66\ 818,55$ neuronas/ mm^3 ; $p=0,010$) y mayor densidad en láminas sensoriales I-IV ($p<0,001$). La lámina VIII fue más densa en bovinos ($p<0,001$). La inmunohistoquímica en porcinos evidenció mayor actividad neuronal en láminas motoras VII y IX. No hubo diferencias en tipo celular predominante ($p=1,000$). **Conclusiones:** Ambas especies conservan la organización laminar clásica, pero con diferencias cuantitativas que reflejan adaptaciones funcionales específicas: mayor procesamiento sensorial y coordinación rápida en porcinos, versus mayor componente motor de fuerza y resistencia en bovinos. Estos hallazgos aportan bases anatómicas para el diagnóstico neurológico y la extrapolación de modelos biomédicos a animales de producción.

Como citar (APA) Molina Luna, F. S., Hurtado Díaz, K. J., & Intriago Muñoz, V. A. (2026). Organización laminar de la médula espinal cervical en bovinos y porcinos: comparación morfohistológica con relevancia veterinaria. *Revista de Producción Animal*, 38. <https://rpa.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e318>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

Palabras clave: Láminas de Rexed, médula espinal, morfometría, neuroanatomía comparada
(Fuente: AGROVOC)

ABSTRACT

Background: The spinal cord is an essential structure of the central nervous system, whose laminar organization (Rexed laminae) allows for the integration of sensorimotor functions. There is a lack of systematic information on spinal cord morphohistology in species of zootechnical interest, such as cattle and swine, limiting clinical and comparative applications in veterinary medicine. **Objective.** To compare the laminar organization of the cervical spinal cord in cattle and swine, identifying morphohistological similarities and differences with veterinary relevance. **Materials and Methods:** A comparative, descriptive, and observational study was conducted. Cervical spinal cord samples (vertebrae C3-C5) were analyzed from ten cattle and ten swine slaughtered at the Calceta Slaughterhouse in Ecuador. The samples were processed histologically using hematoxylin and eosin (H&E) staining. Descriptive statistics and Student's t-tests (SPSS v.25) were performed to compare variables between species. **Results:** Cattle presented greater spinal cord volume ($3,649,535.75 \pm 1,560,239.62 \mu\text{m}^3$; $p=0.001$) and thickness, while swine showed greater overall neuronal density ($79,578.87 \pm 66,818.55$ neurons/ mm^3 ; $p=0.010$) and greater density in sensory laminae I-IV ($p<0.001$). Lamina VIII was denser in cattle ($p<0.001$). Immunohistochemistry in swine showed greater neuronal activity in motor laminae VII and IX. There were no differences in predominant cell type ($p=1.000$). **Conclusions:** Both species retain the classic laminar organization, but with quantitative differences that reflect specific functional adaptations: greater sensory processing and rapid coordination in swine, versus a greater motor component of strength and endurance in cattle. These findings provide an anatomical basis for neurological diagnosis and the extrapolation of biomedical models to production animals. **Keywords:** Rexed laminae, spinal cord, morphometry, comparative neuroanatomy (Source: AGROVOC)

INTRODUCCIÓN

La médula espinal (ME) constituye una estructura esencial del sistema nervioso central (SNC), cuya función principal es servir de vía de comunicación entre el encéfalo y el resto del organismo (Perdomo *et al.*, 2016). Sin embargo, más allá de su papel como conducto neural, la organización laminar de la sustancia gris medular le confiere un rol activo en la integración de funciones sensoriomotoras y autónomas, lo que la convierte en un centro dinámico de procesamiento neuronal (Burns *et al.*, 2021).

El modelo más aceptado para describir esta organización es el propuesto por Bror Rexed en 1952, quien clasificó la sustancia gris en diez láminas (I–X), basándose en estudios histológicos en gatos. Dicho esquema, posteriormente extrapolado a humanos, permitió identificar patrones de citoarquitectura y funciones específicas en cada lámina, consolidándose como referencia en neuroanatomía comparada (Watson *et al.*, 2009; Dolopedia, 2024). Las láminas I–IV se asocian principalmente al procesamiento sensorial, mientras que las láminas IX y X presentan agrupaciones celulares con funciones menos definidas (Heise y Kayalioglu, 2009).

En el ámbito de la neurociencia comparada, se ha sugerido que las variaciones en la organización laminar entre especies reflejan adaptaciones funcionales vinculadas al desarrollo motor y a la evolución de estrategias de supervivencia (Maya, 2024). Este enfoque permite comprender tanto los aspectos universales como las particularidades de la organización del SNC en mamíferos, aportando bases para correlaciones evolutivas y funcionales (Benito León, 2024).

No obstante, la mayoría de los estudios anatómicos y atlas neuroanatómicos se han centrado en modelos experimentales tradicionales como roedores, primates, perros y gatos, dejando un vacío de información sistematizada en especies de interés zootécnico como bovinos y porcinos. Esta carencia limita la posibilidad de establecer comparaciones morfohistológicas relevantes que podrían tener implicaciones directas en la medicina veterinaria (Cambiaggi, 2023).

La caracterización precisa de la médula espinal en animales de producción no solo contribuye al conocimiento anatómico, sino que también abre oportunidades para la aplicación de protocolos clínicos y terapéuticos derivados de la biomedicina humana hacia la práctica veterinaria. Además, el estudio de las láminas de Rexed en estas especies permite establecer correlaciones funcionales que enriquecen la comprensión de la transmisión sensorial y motora en distintos mamíferos (Atlas Virtual UAB-UFRA, 2023).

Objetivo: Comparar la organización laminar de la médula espinal cervical en bovinos y porcinos, identificando similitudes y diferencias morfohistológicas con relevancia veterinaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño metodológico

El estudio se desarrolló bajo un enfoque comparativo, descriptivo y observacional, con orientación mixta de tipo experimental. Se realizó un análisis morfohistológico de la médula espinal cervical en diez bovinos y diez porcinos de diferentes edades, tamaños y sexo, seleccionados aleatoriamente en el Centro de Faenamiento de la ciudad de Calceta, cantón Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador, previo al sacrificio los animales debían cumplir con condición corporal óptima y ausencia de alteraciones patológicas, fracturas o contusiones (Luna *et al.*, 2022); procedimiento ejecutado en un periodo comprendido de 12 semanas.

Recolección y preparación de muestras

Tras el sacrificio, se procedió a la disección de la región cervical, exponiendo las vértebras C3 y C5 mediante bisturí y sierra metálica (Sisson *et al.*, 1985; De Biase y Paciello, 2015). Se extrajeron segmentos de aproximadamente 5 cm de médula espinal, los cuales fueron fijados en formaldehído al 10% para preservar su integridad histológica (Baskin, 2014).

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio Anatomopatológico Ángel Vences Gilces, en Portoviejo; mientras que, el estudio histopatológico se efectuó en el Laboratorio Agropecuario Ambiental TESTFARM, en Santo Domingo, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

Procesamiento histológico en laboratorio

Las muestras fueron deshidratadas en soluciones crecientes de etanol, aclaradas con xileno e incluidas en bloques de parafina (Cai *et al.*, 2014; Alturkistani *et al.*, 2015). Posteriormente, se realizaron cortes de 5 μm con micrótopo (Modelo S700®) y se analizaron mediante microscopía digital (Sadeghipour y Babaheidarian, 2018).

Técnica de tinción: Hematoxilina-eosina (HyE): para diferenciar componentes celulares (Cardiff *et al.*, 2014). Inmunohistoquímico (IHQ): para visualizar las proteínas presentes en el tejido nervioso (Mikuni, 2019).

El procedimiento para el cálculo del área de cada corte de médula espinal consistió en considerarlos como óvalos; por lo tanto, se utilizó la fórmula geométrica:

- $A = \pi \times \text{semieje mayor } (\mu\text{m}) \times \text{semieje menor } (\mu\text{m})$.

Para el cálculo del área de la sustancia gris (SG) medular, se consideró cada uno de sus lados como un óvalo, aplicándose la misma fórmula previamente mencionada. La medición de las estructuras se realizó directamente sobre las micrografías mediante la siguiente relación:

- $\text{Tamaño real} = (\text{tamaño aparente del objeto} \times \text{valor de la barra de escala [100 o 500 } \mu\text{m, según la micrografía]}) / \text{tamaño aparente de la barra de escala}$.

El cálculo del volumen de las láminas de Rexed (en mm^3) se efectuó considerando a las láminas I a VIII como paralelepípedos rectangulares, a la lámina IX como la combinación de un prisma triangular y un semicilindro, y a la lámina X como dos prismas triangulares enfrentados. Para ello, se emplearon las fórmulas correspondientes, asumiendo un grosor uniforme de 5 μm o su equivalente, 0,005 mm.

- $\text{Volumen (láminas I a VIII)} = \text{ancho (mm)} \times \text{altura (mm)} \times \text{grosor (0,005 mm)}$
- $\text{Volumen (lámina IX)} = (((\text{base} \times \text{altura}) / 2) + ((\pi \times r^2) / 2)) \times \text{grosor (0,005 mm)}$
- $\text{Volumen (lámina X)} = \text{base (mm)} \times \text{altura (mm)} \times \text{grosor (0,005 mm)}$ (al ser dos triángulos, se cancela la división entre 2).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva (frecuencias, medias y desviaciones estándar) para caracterizar las variables morfohistológicas [Volumen (μm^3),

Densidad neuronal (neuronas/mm³), Tipo celular predominante (categoría)] en cada especie. Para comparar las diferencias entre especies (porcino y bovino) se utilizó la prueba t de Student para muestras independientes. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. El análisis estadísticos se realizó utilizando el paquete estadístico IBM® SPSS® versión 24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los valores morfométricos de la sustancia gris en porcinos y bovinos, incluyendo área relativa y espesores de cuernos medulares. Los porcinos presentaron mayor proporción relativa de sustancia gris, mientras que los bovinos mostraron mayor espesor en cuernos dorsales y ventrales ($p < 0,05$). Estas diferencias reflejan adaptaciones funcionales: coordinación rápida en porcinos y fuerza-resistencia en bovinos.

Tabla 1. Morfología de la sustancia gris cervical en porcino y bovino (media \pm DE).

Especie	Área corte (μm^2)	Área SG (μm^2)	% SG	Espesor cuerno dorsal (μm)	Espesor cuerno ventral (μm)
Porcino	34 048 534,06 \pm 1 245,2	6 010 637,72 \pm 1 112,5	17,65 \pm 0,8 ^a	714,30 \pm 25,4 ^a	821,43 \pm 30,2 ^a
Bovino	92 245 014,29 \pm 2 010,7	14 137 166,94 \pm 1 345,6	15,33 \pm 0,6 ^b	1000,00 \pm 40,1 ^b	1350,00 \pm 45,7 ^b

Las diferencias estadísticas se indican con letras superíndices ($p < 0,05$).

El mayor espesor medular en bovinos se relaciona con la transmisión de impulsos motores de gran potencia y la necesidad de sostener movimientos prolongados, propios de animales de gran tamaño y resistencia (Hernández, 2022). En porcinos, la mayor proporción de sustancia gris se vincula con respuestas motoras rápidas y coordinación fina, lo que coincide con estudios de neuroanatomía comparada en especies de producción (Cambiaggi, 2023). Estos hallazgos refuerzan la idea de que la morfología medular refleja adaptaciones evolutivas específicas a las demandas locomotoras y productivas de cada especie (Gómez *et al.*, 2008).

La figura 1 muestra la médula espinal de bovino y porcino teñida con HyE, donde la sustancia gris adopta la clásica forma de mariposa delimitada por la fisura mediana anterior y el surco mediano posterior. Se distinguen las astas dorsales y ventrales, la zona intermedia y el canal endimario, además de la distribución uniforme de las láminas de Rexed.

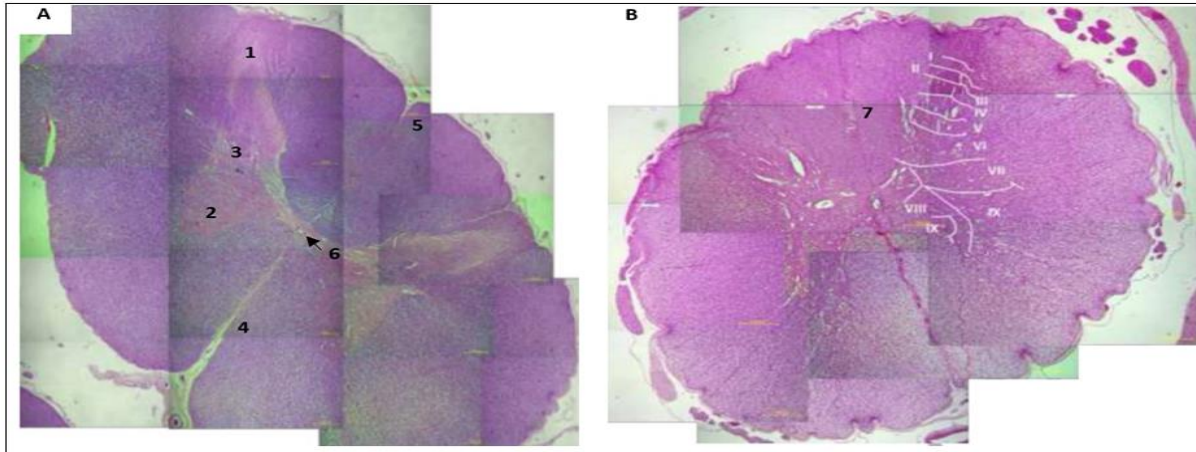


Figura 1. Médula espinal de bovino (A) y de porcino (B) teñida con Hematoxilina y Eosina (H&E): asta dorsal (1), asta ventral (2), zona intermedia (3), fisura mediana anterior (4), surco mediano posterior (5), canal endimario (6), en conjunto, generan una forma de mariposa o H. Distribución uniforme de las láminas de Rexed en la sustancia gris (7).

En bovinos, la médula espinal presenta mayor robustez estructural y uniformidad en la distribución laminar, lo que facilita su uso en docencia y en protocolos clínicos de anestesia epidural (Martin-Flores, 2019). En porcinos, la organización laminar y la respuesta neurofisiológica se asemejan a la humana, lo que ha impulsado su empleo en investigaciones sobre neurodegeneración y plasticidad neuronal (Sutkus *et al.*, 2025).

La Tabla 2 resume la densidad neuronal promedio en cada lámina de Rexed, comparando porcinos y bovinos. Las láminas sensoriales (I–IV) mostraron mayor densidad neuronal en porcinos ($p < 0,001$), mientras que la lámina VIII fue más densa en bovinos ($p < 0,001$).

Tabla 2. Densidad neuronal promedio por lámina de Rexed (media \pm DE).

Lámina	Porcino (neuronas/mm ³)	Bovino (neuronas/mm ³)
I	158 241,76 \pm 1 120 ^a	11 565,88 \pm 980 ^b
II	160 714,29 \pm 1 050 ^a	10 639,33 \pm 870 ^b
III	158 677,69 \pm 1 200 ^a	9,294,58 \pm 810 ^b
IV	108 885,02 \pm 950 ^a	7 558,91 \pm 720 ^b
V	98 863,07 \pm 870 ^a	11 736,88 \pm 890 ^b
VI	8 547,50 \pm 420	7 301,67 \pm 380
VII	14 140,13 \pm 510	11 255,04 \pm 460
VIII	2 229,22 \pm 210 ^b	19 778,48 \pm 1,150 ^a
IX	73 568,54 \pm 1,010 ^a	5 400,95 \pm 430 ^b
X	11 921,45 \pm 560	14 317,17 \pm 590

Las diferencias estadísticas se indican con letras diferentes en superíndices ($p < 0,05$).

Las diferencias en densidad neuronal reflejan adaptaciones funcionales específicas: porcinos con mayor capacidad sensorial y bovinos con predominio motor. Estudios recientes en neurociencia veterinaria destacan que estas variaciones están directamente relacionadas con las estrategias locomotoras y de comportamiento de cada especie (Maya, 2024; Benito León, 2024). En porcinos, la elevada densidad neuronal en láminas sensoriales favorece la integración rápida de estímulos

externos, mientras que en bovinos la densidad en lámina VIII se asocia con la activación de motoneuronas para movimientos de fuerza y resistencia, lo que coincide con investigaciones sobre neuroadaptaciones en rumiantes de producción (Hernández, 2022).

La Tabla 3 presenta el número promedio de células positivas por lámina en porcinos, evidenciando la distribución neuronal. Las láminas motoras (VII y IX) presentaron mayor número de células positivas, confirmando la relevancia funcional de estas áreas en porcinos. Las láminas sensoriales mostraron menor actividad relativa.

Tabla 3. Inmunohistoquímica (IHQ) con enolasa neuronal en porcinos (media ± DE).

Lámina	# células positivas (promedio/campo 40X)	Tipo celular predominante	Distribución
I	7,00 ± 1,2 ^b	Neuronas de asociación	Uniforme
II	11,00 ± 1,5 ^b	Neuronas de asociación	Uniforme
III	14,00 ± 1,8 ^b	Neuronas de asociación	Uniforme
IV	20,50 ± 2,1 ^a	Neuronas de asociación	Uniforme
V	17,50 ± 1,9 ^a	Neuronas de asociación	Uniforme
VI	20,50 ± 2,0 ^a	Neuronas de asociación	Uniforme
VII	37,00 ± 3,2 ^a	Neuronas motoras	Uniforme
VIII	14,50 ± 1,7 ^b	Neuronas motoras	Uniforme
IX	33,50 ± 2,8 ^a	Neuronas motoras	Uniforme
X	19,00 ± 2,0 ^b	Neuronas de asociación	Uniforme

La ausencia de contraste nuclear en bovinos limitó la interpretación de IHQ.

Las láminas motoras (VII y IX) presentaron mayor número de células positivas, confirmando su papel en la coordinación locomotora y en la transmisión de impulsos motores. En bovinos, la autólisis limitó la interpretación inmunohistoquímica, lo que constituye una limitación metodológica. Estos resultados concuerdan con estudios recientes que destacan la importancia de las láminas motoras en la eficiencia locomotora de animales de producción (Cambiaggi, 2023; Gómez *et al.*, 2008). Además, investigaciones sobre marcadores neuronales como la enolasa específica han demostrado su utilidad para evaluar la integridad y funcionalidad neuronal en especies animales de interés zootécnico (Namm *et al.*, 2025).

La tabla 4 muestra una comparación entre especies utilizando la prueba t de Student para muestras independientes sobre variables morfohistológicas generales, en la que los bovinos presentaron un volumen mayor. En contraste, la densidad neuronal promedio fue mayor en porcinos. No se encontraron diferencias significativas en el tipo de células predominantes entre ambas especies, lo que sugiere una composición celular similar a nivel cualitativo.

Tabla 4. Comparación de variables morfohistológicas globales entre porcinos y bovinos mediante prueba t de Student (media ± DE).

Variable	Porcino	Bovino	t	gl	p-valor
Volumen (µm ³)	1 058 757,35 ± 1 191 237,74	3 649 535,75 ± 1 560 239,62	-4,174	18	0,001
Densidad neuronal (neuronas/mm ³)	79 578,87 ± 66 818,55	10 884,89 ± 4 065,68	3,245*	9,067	0,010
Tipo celular predominante (categoría)	2,40 ± 1,51	2,40 ± 1,51	0,000	18	1,000

*Valor reportado con corrección de varianzas no homogéneas (Levene: p = 0.000).

Estos hallazgos refuerzan la interpretación funcional de las variaciones observadas en la organización laminar. El mayor volumen en bovinos se asocia con la necesidad de procesar información motora para movimientos de fuerza y resistencia, mientras que la mayor densidad neuronal en porcinos sugiere una mayor capacidad de integración sensorial y respuestas motoras rápidas (Hernández, 2022; Cambiaggi, 2023). La ausencia de diferencias en el tipo celular predominante indica que, a pesar de las variaciones cuantitativas, la identidad celular básica se conserva entre ambas especies (Yurt *et al.*, 2018).

CONCLUSIÓN

Los porcinos presentaron mayor densidad neuronal en las láminas sensoriales (I–IV), lo que se relaciona con respuestas rápidas y coordinación motora fina. En contraste, los bovinos mostraron mayor espesor medular y predominio en la lámina VIII, vinculada a motoneuronas y movimientos de fuerza y resistencia.

Se presentaron diferencias significativas en volumen y densidad neuronal entre especies. La inmunohistoquímica en porcinos evidenció mayor actividad neuronal en las láminas motoras (VII y IX), mientras que en bovinos la autólisis limitó la interpretación.

La caracterización de la organización laminar en estas especies fortalece el conocimiento anatómico veterinario y abre nuevas perspectivas para la integración de la neurociencia comparada en la práctica clínica y zootécnica.

REFERENCIAS

- Alturkistani, H. A., Tashkandi, F. M., & Mohammedsaleh, Z. M. (2015). Histological stains: a literature review and case study. *Global journal of health science*, 8(3), 72. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4804027/>
- Atlas Virtual UAB-UFRA. (2023). Atlas virtual de neuroanatomía veterinaria. Universitat Autònoma de Barcelona & Universidade Federal Rural da Amazônia. <https://www.anatomiaveterinaria-uab-ufra.com/pagina-de-inicio>
- Baskin, D. G. (2014). Fixation and tissue processing in immunohistochemistry. *Pathobiology of Human Disease; Elsevier: San Diego, CA, USA*, 3797-3806. <https://hero.epa.gov/reference/6112821/>
- Benito León, M. (2024). Papel del sistema purinérgico en el desarrollo de la corteza cerebral humana basado en un modelo de organoides cerebrales. <https://docta.ucm.es/entities/publication/179b51e5-2e84-46a3-99ba-7e77ae192d06>

- Burns, S. P., Graves, D. E., Guest, J., Jones, L., Read, M. S., Rodriguez, G. M., & Kirshblum, S. (2021). International standards for neurological classification of spinal cord injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 27(2), 1-22. <https://meridian.allenpress.com/tscir/article-pdf/27/2/1/3069530/i1082-0744-27-2-1.pdf/1>
- Cai, H. Y., Caswell, J. L., & Prescott, J. F. (2014). Nonculture molecular techniques for diagnosis of bacterial disease in animals: a diagnostic laboratory perspective. *Veterinary pathology*, 51(2), 341-350. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0300985813511132>
- Cambiaggi, V. L. (2023). Anatomía regional del porcino. *Libros de Cátedra*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/164278>
- Cardiff, R. D., Miller, C. H., & Munn, R. J. (2014). Manual hematoxylin and eosin staining of mouse tissue sections. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2014(6), 073411. <https://cshprotocols.cshlp.org/content/2014/6/pdb.prot073411.short>
- De Biase, D., & Paciello, O. (2015). Essential and current methods for a practical approach to comparative neuropathology. *Folia Morphologica*, 74(2), 137-149. https://journals.viamedica.pl/fovia_morphologica/article/view/39641
- Dolopedia. (2024). Láminas de Rexed. <https://dolopedia.com/categoria/laminas-de-rexed>
- Gómez, M., Lanz, O., Jones, J., Broadstone, R., Inzana, K., & Freeman, L. (2008). Efectos de la compresión de la médula espinal inducida artificialmente sobre el plexo venoso vertebral interno cervical en el perro: evaluación comparativa mediante venografía por tomografía computarizada y venografía por sustracción digital. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(2), 161-168. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0301-732X2008000200008&script=sci_arttext
- Heise, C., & Kayalioglu, G. (2009). Cytoarchitecture of the spinal cord. In *The spinal cord* (pp. 64-93). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374247-6.50010-9>
- Hernández, D. R. (2022). XLII Sesión de Comunicaciones Científicas: Facultad de Ciencias Veterinarias 2022. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/54791/RIUNNE_FVET_LI_Hernandez_DR.pdf?sequence=1
- Luna, P. V. H., Zermeño, A. A. R., Pérez, L. S., Mata, J. T. R., Munguía, C. A. G., & Hernández, A. A. (2022). Importancia de factores relacionados con el bienestar animal para animales de experimentación. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 14, 1-13. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3473>

- Martin-Flores, M. (2019). Epidural and spinal anesthesia. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, 49(6), 1095-1108. [https://www.vetsmall.theclinics.com/article/S0195-5616\(19\)30109-3/abstract](https://www.vetsmall.theclinics.com/article/S0195-5616(19)30109-3/abstract)
- Maya, S. (2024). Developmental Anatomy of Gray Matter of Spinal Cord in Animals with Special Reference to Prenatal Goat: A Review. *Indian Journal of Animal Research*, 58(10). https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A12%3A31828652/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A180710687&crl=c&link_origin=scholar.google.com
- Mikuni, T. (2019). Genome editing-based approaches for imaging protein localization and dynamics in the mammalian brain. *Neuroscience Research*, 150, 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2019.04.007>
- Namm, A., Arend, A., Torga, T., & Aunapuu, M. (2025). Immunohistochemical Detection of Sonic Hedgehog in the Developing Spinal Cord of Human Embryos. *International Journal of Morphology*, 43(6). <https://openurl.ebsco.com/openurl?sid=ebsco:plink:scholar&id=ebsco:gcd:190925029&crl=c>
- Perdomo, J. H. T., Charry, J. D., & Cerquera, J. A. S. (2016). Fisiología de la perfusión medular. *Revista Chilena de Neurocirugía*, 42(1), 8-11. <https://revistachilenadeneurocirugia.com/index.php/revchilneurocirugia/article/view/85>
- Sadeghipour, A., & Babaheidarian, P. (2018). Making formalin-fixed, paraffin embedded blocks. *Biobanking: Methods and Protocols*, 253-268. https://link.springer.com/protocol/10.1007/978-1-4939-8935-5_22
- Sisson, S., & Grossman, J. D. (1959). Anatomía de los animales domésticos. In *Anatomía de los animales domésticos* (pp. xv-952). <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1592918>
- Sutkus, L. T., Li, Z., & Dilger, R. N. (2025). Establishing the pig as a translational animal model for neurodevelopment. *Translational Neuroscience*, 16(1), 20250369. <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/tnsci-2025-0369/html>
- Watson, C., Paxinos, G., Kayalioglu, G., & Heise, C. (2009). Atlas of the mouse spinal cord. In *The spinal cord* (pp. 308-379). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123742476500201>
- Yurt, K. K., Kivrak, E. G., Altun, G., Mohamed, H., Ali, F., Gasmalla, H. E., & Kaplan, S. (2018). A brief update on physical and optical disector applications and sectioning-

Molina Luna, F. S., Hurtado Díaz, K.J., Intriago Muñoz, V.A.

staining methods in neuroscience. *Journal of chemical neuroanatomy*, 93, 16-29.
<https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2018.02.009>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: VAIM; análisis e interpretación de los datos: FSML, KJHD; redacción del artículo: FSML, KJHD.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.