

**Estudio histológico descriptivo y topográfico del
sistema nervioso central de la garza ganadera
(*Bubulcus ibis ibis*)**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

Presenta

Andrea Pérez Chávez

Director: Dr. Juan Ocampo López

Codirectora: MVZ María Guadalupe Ramírez Muñoz

2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Academic Area of Veterinary Medicine and Zootechnics

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 8 de abril de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, **Andrea Pérez Chávez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Estudio histológico descriptivo y topográfico del sistema nervioso central de la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*)"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dr. Juan Ocampo López
SECRETARIO	Dr. Rodrigo Salomón Hernández Aco
VOCAL 1	Dra. Carolina Guadalupe Sosa Gutiérrez
SUPLENTE 1	MVZ María Guadalupe Ramírez Muñoz

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dra. Maricela Ayala Martínez
Coordinadora de la Licenciatura en
Medicina Veterinaria y Zootecnia

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.

Teléfono: 7717172000 ext 42100
medicinaveterinaria@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

DEDICATORIA

A mi madre, Yolanda, la inspiración a cada paso que di en mi formación profesional, para ella, por su amor y apoyo incondicional.

A mi padre, Andrés Jesús, por sus palabras que motivaban mi día a día.

A mis hermanos, Adriana y Juan Andrés, que no dejaron de creer en mí y me brindaron su cariño en todo momento.

A la familia Pérez González por enseñarme a ser fuerte y que siempre se puede ser mejor cada día.

Y a la familia Chávez Texas, por enseñarme con amor la superación ante las adversidades.

Los quiero con el alma.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Juan Ocampo López por sus enseñanzas y la enorme paciencia para realizar este trabajo.

De igual manera a doctores y alumnado que integran al equipo del área de histología y anatomía, por aportar su granito de arena a este trabajo.

Contenido

Resumen.....	1
Abstract	3
Introducción	5
A. Generalidades	5
a) Importancia ambiental.....	5
b) Las aves acuáticas migratorias y su relación con la salud pública	5
B. La garza ganadera (<i>Bubulcus ibis ibis</i>).....	8
a) Generalidades	9
b) Distribución y aspectos migratorios	9
c) Reproducción	10
d) Hábitat	11
e) Estado de conservación	12
C. Sistema Nervioso.....	12
a) Generalidades	12
b) Sistema Nervioso Aviar	15
1. Encéfalo.....	15
- Telencéfalo	16
- Metencéfalo	17
- Diencefalo	18
Tálamo	19
Epitálamo	19
Hipotálamo	19
- Mesencéfalo	20
- Mielencéfalo.....	20
2. Médula espinal	21
3. Meninges	22
- Duramadre	22
- Aracnoides.....	23
- Piamadre.....	23
4. Evolución del encéfalo de las aves y desarrollo cognitivo.....	23
Justificación.....	28
Hipótesis.....	28
Objetivos	29

A. Objetivo general	29
B. Objetivos específicos.....	29
Materiales y Métodos	29
A. Colecta de sujetos de estudio	29
B. Obtención de muestras biológicas.....	30
C. Procesamiento por el método de inclusión en parafina	30
D. Inclusión y corte de las muestras histológicas obtenidas.	32
E. Coloración y montaje de los cortes obtenidos.....	33
a) Hematoxilina y Eosina	33
1) Método de Hematoxilina y Eosina de Harris	34
b) Histotecnología en neuropatología.....	35
1. Método de Azul Luxol-Resistente (modificado de Klüver-Barrera) para mielina y células nerviosas.....	36
F. Observación, interpretación y análisis de los preparados histológicos	37
b) Captura de imágenes digitales.....	38
c) Elaboración de mapas topográficos.....	38
G. Elaboración del árbol filogenético de la garza ganadera (<i>Bubulcus ibis ibis</i>) y la garza común (<i>Ardea alba</i>).	38
a) Extracción de material genético	39
b) Amplificación de Material genético y búsqueda de Secuencias COX I.....	40
c) Secuenciación y análisis filogenético.....	41
Resultados	41
A. Obtención de cortes del encéfalo de la garza ganadera (<i>Bubulcus ibis ibis</i>).	41
c) Mapas topográficos de garza ganadera (<i>Bubulcus ibis ibis</i>)	43
SECCION I: Porción craneal del <i>hiperpallium</i>	43
SECCION II: Porción craneal del <i>hiperpallium</i>	44
SECCION IV: Sección medial de <i>hiperpallium</i> y <i>mesopallium</i>	47
SECCION V: <i>Nidopallium</i> y <i>mesopallium</i>	48
SECCION VI: Médula oblonga y lóbulos ópticos	50
SECCION VII: Médula oblonga y cerebelo.....	52
SECCIÓN IX: Médula espinal.	55
d) Mapa topográfico de la garza ganadera (corte paramediano).	56
e) Esquematación de árbol filogenético.....	57
Discusión y Conclusiones	58
A. Histología y organografía topográfica del sistema nervioso central de <i>Bubulcus ibis ibis</i>	58

a) Regionalización del encéfalo de las aves con relación a los mamíferos y aspectos relativos del encéfalo de <i>B. ibis ibis</i>	58
b) Regionalización del encéfalo de <i>B. ibis ibis</i> con relación a otras aves y elementos morfológicos de adaptación evolutiva con relación a su modo de vida (acuática) y migración. ..	60
B) Árbol filogenético de <i>Bubulcus ibis ibis</i>	61
Referencias	64

Resumen

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México señala que cerca de 1,800 especies de aves, de las más de 11 mil que existen en el mundo, surcan los cielos mexicanos a lo largo del año para migrar a los diferentes santuarios del planeta; en muchos casos nuestro país se convierte en un país de tránsito, y en otras ocasiones en albergue de estos animales como refugio en el invierno.

Sin embargo, con el paso de estas aves, existe un alto porcentaje de diseminación de enfermedades zoonóticas transmitidas por estos, como la influenza aviar y, considerando la situación actual del mundo con la pandemia de COVID-19 que, aunque no se relacione con las aves migratorias, es importante considerar la posibilidad del desarrollo de una nueva cepa capaz de diseminarse por medio de estos animales.

La garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*), es un ave migratoria acuática, perteneciente al orden de *Ciconiiformes* y familia *Pelecaniforme*, la cual se caracteriza morfológicamente por tener pico, cuello y patas largas; estas aves suelen habitar zonas tropicales o se relacionan directamente por seguir cuerpos de agua a lo largo del planeta. Esta ave migratoria, habita en épocas invernales la zona del Valle de Tulancingo, donde se alimenta y anida cerca de explotaciones ganaderas y cultivos.

Una característica destacable de las aves migratorias es la forma de orientación que tienen durante la migración, la cual no solo se basa en los campos electromagnéticos de la tierra, sino también por las corrientes de aire, la memoria espacial y la capacidad de aprendizaje generacional; esto implica un desarrollo cognitivo diferente al de los mamíferos. Sin embargo, durante mucho tiempo predominó entre los neurocientíficos la idea de que las aves, al no presentar una neocorteza cerebral, carecían de la capacidad de desarrollar habilidades cognitivas complejas, sin embargo a inicios del siglo XXI, el neurocientífico Onur

Güntürkün, afirmó que las aves poseen una estructura cerebral con las mismas especificidades de la neocorteza, la misma bioquímica y el mismo patrón de comunicación, pero la diferencia radica en que no está dividida en capas, de tal forma que es posible incluso que el cerebro de las aves sea más eficiente que el de los mamíferos, ya que permite el desarrollo de habilidades cognitivas complejas con un volumen tisular mucho menor (FAPESP; Toledo, 2014). La presente investigación tiene como objetivo identificar las estructuras histológicas del encéfalo de la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) desde un enfoque topográfico.

El encéfalo y la porción cervical de la médula espinal fueron conservados y procesados por el método de inclusión en parafina para su posterior corte y tinción con los métodos de H-E y azul luxol resistente, provenientes de tres cadáveres de garzas ganaderas *Bubulcus ibis ibis* (especie corroborada mediante cotejo fotográfico especializado y estudio filogenético por PCR), halladas incidentalmente en las inmediaciones de Ciudad Universitaria de Tulancingo de la UAEH, entre Enero del 2022 y Febrero del 2023, como parte de una colonia residente en esta área.

A partir de los cortes estudiados se realizaron los mapas topográficos de las regiones del encéfalo y la médula espinal, considerando secciones transversales específicas: craneal, media, médula oblonga, lóbulos ópticos, cerebelo y médula espinal.

Los resultados obtenidos muestran en primera instancia los elementos tisulares convencionales: cuerpos neuronales, células de la neuroglia y el neurópilo, organizados en regiones razonablemente bien definidas de sustancia gris y sustancia blanca. Organográficamente se presentan las regiones del encéfalo aviar *hiperpallium*, *mesopallium* y *nidopallium* bien diferenciados, y en el caso de este último, podemos ver un desarrollo amplio con campos neuronales bien delimitados y regionalmente amplios, característicos de un ave capaz de resolver problemas y tomar decisiones que le permitan desenvolverse de manera eficaz en su hábitat o durante el fenómeno de migración, por otra parte, los lóbulos ópticos

presentan una conformación estratificada, lo que demuestra un desarrollo importante en la visión de estas aves, esencial para su actividad migratoria.

Palabras clave: garza ganadera, histología, sistema nervioso central.

Abstract

The Mexican Ministry of Environment and Natural Resources (SEMARNAT) reports that nearly 1,800 of the more than 11,000 bird species in the world fly through Mexican skies throughout the year to migrate to various sanctuaries around the world. In many cases, our country becomes a transit country, and at other times, a refuge for these animals during the winter.

However, the passage of these birds contributes to a high rate of spread of zoonotic diseases transmitted by them, such as avian influenza. Considering the current global situation with the COVID-19 pandemic, which, although not related to migratory birds, it is important to consider the possibility of the development of a new strain capable of spreading through these animals.

The cattle egret (*Bubulcus ibis ibis*) is a migratory aquatic bird belonging to the order Ciconiiformes and the family Pelecaniformes. It is morphologically characterized by its long beak, neck, and legs. These birds typically inhabit tropical areas or are directly related by following bodies of water across the planet. This migratory bird winters in the Tulancingo Valley, where it feeds and nests near livestock farms and crops.

A notable characteristic of migratory birds is their orientation during migration, which is based not only on the Earth's electromagnetic fields but also on-air currents, spatial memory, and the capacity for generational learning. This implies a cognitive development distinct from that of mammals. However, for a long time, the idea prevailed among neuroscientists that birds, lacking a neocortex, lacked the capacity to develop complex cognitive skills. However, at the beginning of the 21st century, neuroscientist Onur Güntürkün stated that birds possess a brain structure

with the same specificities as the neocortex, the same biochemistry, and the same communication patterns. The difference lies in the fact that it is not divided into layers. Therefore, it is even possible that the avian brain is more efficient than that of mammals, allowing the development of complex cognitive skills with a much smaller tissue volume (FAPESP; Toledo, 2014).

The present research aims to identify the histological structures of the brain of the cattle egret (*Bubulcus ibis ibis*) from a topographic perspective. The brain and cervical portion of the spinal cord were preserved and processed using paraffin embedding for subsequent sectioning and staining with H&E and Luxol-fast blue. These specimens were obtained from three carcasses of cattle egrets (*Bubulcus ibis ibis*) (a species confirmed by specialized photographic comparison and phylogenetic study using PCR). These specimens were found incidentally near the University City of Tulancingo, part of the UAEH, between January 2022 and February 2023, as part of a resident colony in this area.

From the sections studied, topographic maps of the brain and spinal cord regions were created, considering specific cross-sections: cranial, medial, medulla oblongata, optic lobes, cerebellum, and spinal cord. The results obtained initially show the conventional tissue elements: neuronal cell bodies, neuroglial cells, and neuropil, organized into reasonably well-defined regions of gray and white matter. Organographically, the avian brain regions—the hyperpallium, mesopallium, and nidopallium—are well-differentiated. In the latter, we can see extensive development with well-defined and regionally broad neuronal fields, characteristic of a bird capable of problem-solving and decision-making that allow it to function effectively in its habitat or during migration. Furthermore, the optic lobes display a stratified structure, demonstrating significant development of vision in these birds, essential for their migratory activity.

Keywords: cattle egret, histology, central nervous system.

Introducción

A. Generalidades

a) Importancia ambiental

Según R. Sarmiento, en 2014 el 83.33% de los productores mencionan que la garza ganadera o bueyera (*Bubulcus ibis ibis*) es un ave que funge de forma benéfica, ya que es capaz de controlar la mayoría de parásitos externos de los animales, principalmente garrapatas o plagas de insectos indeseables en los cultivos, (Sarmiento *et al.*, 2014) ya que su alimentación se basa en gusanos, caracoles e insectos que extraen de los drenes y ríos (Ocadiz, 2017), sin embargo, esta ave no deja de ser exótica y representa un riesgo asociado con el acarreo de enfermedades y parásitos, además del efecto negativo sobre la avifauna nativa, además de que, las aves migratorias consumen granos y frutos de áreas de cultivo, por lo que es de importancia la vigilancia de estas colonias para controlar su crecimiento y evitar daños al ecosistema que habiten (Sarmiento *et al.*, 2014).

Documentar la presencia de estas aves, acuáticas o no, y su ampliación de rango geográfico de distribución o reproducción, es importante para una valoración más completa de su biodiversidad y proponer acciones sustentadas para la conservación o control de las especies (Hernández *et al.*, 2020).

b) Las aves acuáticas migratorias y su relación con la salud pública

Las aves acuáticas migratorias desempeñan un papel clave en la diseminación de cepas del virus de la influenza desde sudeste asiático hacia África y Europa, si bien el transporte masivo de aves domésticas (avicultura industrial) no puede descartarse como factor de diseminación de estas nuevas cepas. Según datos de la OMS, entre 2003 y diciembre de 2014 se contabilizaron 676 casos de infección

humana por la cepa H5N1 en un total de 16 países, con una letalidad del 59%. Aunque diferentes tipos del virus de la influenza A pueden causar brotes graves de enfermedad respiratoria en una variedad de hospedadores (seres humanos, caballos, mamíferos marinos y cerdos), las aves domésticas o silvestres son el objetivo principal de los estudios epidemiológicos relacionados con la influenza altamente patógena (Rondón, 2011). La aparición de nuevas cepas del virus de la influenza A, se han relacionado con diferentes epidemias y pandemias en humanos con morbilidad y mortalidad alta. Las aves acuáticas en particular constituyen el origen más probable de todas las cepas del virus de la influenza A (Contreras, 2016).

La influenza aviar es una enfermedad que afecta principalmente a las aves, producida por el virus de la gripe A, que por lo general es de baja patogenicidad, sin embargo, su acelerada mutación puede llegar a originar cepas altamente patógenas. Desde el año 2003, está teniendo lugar un brote de influenza aviar producido por el subtipo H5N1 de alta patogenicidad, que, desde entonces, representa un riesgo potencial de producir una nueva pandemia de gripe (Arteaga *et al.*, 2006).

Las amenazas de infección de humanos con virus influenza tipo A procedentes de animales pueden tener dos niveles de impacto, el zoonótico, que puede ser de alta gravedad para el individuo, aunque no inmediatamente para la población humana y el pandémico, con afectación tanto individual como poblacional. Algunas prácticas de manejo zootécnico han posibilitado a los virus de la influenza establecerse en determinadas especies animales y eventualmente causar infecciones de gravedad variable en seres humanos. Algunos de los subtipos aviares que amenazan por su potencial zoonótico al ser humano, son el H5N1, H7 y H9N2 (Alfonso, 2010).

Como antecedentes sobre el *status* epidemiológico de las aves acuáticas migratorias, la influenza aviar H5N7 de baja patogenicidad ingresó a México a

finales de 1993 y para diciembre de 1994 el virus mutó a alta patogenicidad, causando pérdidas económicas importantes; fue erradicada en junio de 1995. En 2006 se aisló un virus H7N3 de baja patogenicidad en patos migratorios en la zona centro del país (SENASICA, 2020).

Por otra parte, en 2009 el virus pandémico AH1N1 causó cierta sorpresa, dados los protocolos sanitarios anteriores contra H5N1 (influenza aviar de origen asiático), ya que un virus precursor H1N1 rondaba años atrás en porcinos, infectando incluso a seres humanos (Díaz, 2010). Sin embargo, las características genéticas por las cuales evolucionó a esta variedad AH1N1, causaron pérdidas y una contingencia sanitaria hasta agosto del mismo año (Alfonso, 2010).

También se debe considerar la situación actual del mundo por causa de la pandemia de COVID-19, que, aunque su contagio no se relaciona directamente con las aves acuáticas migratorias, no está de más considerar las posibilidades de una nueva cepa capaz de diseminarse por medio de estos animales (Núñez, 2020).

En junio de 2023, se inició un operativo para atender una alerta por alta mortandad de aves: personal del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) junto con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) se trasladaron a costas del Pacífico mexicano (playas de los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Sonora y Baja California Sur) donde se reportaron avistamientos de aves enfermas y muertas. Por otra parte, personal del Centro Mexicano de la Tortuga en Oaxaca acudió a las playas costeras de Oaxaca, donde recolectaron posibles evidencias sobre los decesos, las cuales fueron enviadas a laboratorios de alta bioseguridad de la SENASICA, pero se conoce que el problema va desde los litorales de Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Sonora y Baja California Sur (SENASICA, 2023).

Hasta el momento 300 aves han perdido la vida en las playas mencionadas, y dentro de las hipótesis presentadas se encuentra la sospecha de que pueda tratarse del virus AH5N1 de alta patogenicidad, el cual puede ser transportado por las aves marinas en su regreso migratorio del norte (SENASICA, 2023).

Otra cuestión epidemiológica que considerar está ligada al botulismo, enfermedad aguda causada por la toxina de *Clostridium botulinum* (serotipos A, B, C, D y E) en animales domésticos y el ser humano. En aves se presenta prácticamente en todo el mundo, de forma predominante el tipo C alfa, pero se han descrito brotes de los tipos A y E en aves acuáticas. Muchas otras especies de aves silvestres son susceptibles al botulismo y también hay brotes en gallinas y faisanes de criadero. En aves domésticas se ha relacionado con el canibalismo y la ingestión de mosca de las canales en descomposición. La explicación es que la temperatura corpórea de las aves (41°C) favorece la producción y la absorción de la toxina tipo C en el ciego, cuyo pH de 7.4 también es favorable. La garza ganadera es un ejemplo de aves que distribuyen enfermedades zoonóticas como esta. Sin embargo, como las pérdidas económicas que ocasionan en la ganadería este tipo de enfermedades no son exactas, la erradicación de estas especies no es una prioridad (Acha *et al.*, 2001).

B. La garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*)



Figura 1. Garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*). Pérez, A. 2023.

a) Generalidades

La garza ganadera (Fig. 1 y Tabla 1), es un ave acuática de tamaño mediano, de entre 45 y 53 cm de envergadura, con pico, patas y cuello largo, su plumaje es blanco, pero en épocas reproductivas presenta plumas color beige o canela en la corona y espalda, los ojos y pico en general presentan un color amarillento, las patas en cambio son de un color gris, aunque en épocas reproductivas toman un color naranja. Estas aves no presentan dimorfismo sexual (MERI, 2013).

b) Distribución y aspectos migratorios

En su área nativa *B. ibis ibis* se puede encontrar en ecosistemas tropicales y subtropicales de África, está asociada a las grandes manadas de mamíferos terrestres, ya que se alimenta de artrópodos que estos portan. En sus áreas de colonización, particularmente en América, es común encontrarla cerca de cuerpos de agua como ríos, lagunas, costas, etc. Además de sitios alterados por el hombre, como áreas de pastoreo y jagüeyes. Las aves de las zonas de reproducción de Norteamérica pueden pasar el invierno en las Antillas y Bahamas, Centroamérica y el norte de Sudamérica. Es común en todas las temporadas en Florida, la costa del golfo y partes del suroeste. La dispersión de las crías puede abarcar grandes distancias en direcciones aleatorias, este comportamiento habría contribuido a que la especie colonice varias partes del planeta (Fig. 2). Las poblaciones aumentan durante épocas húmedas, formando colonias en árboles, arbustos e incluso el suelo, a menudo quedándose en un mismo lugar (Pulido, *et al.*, 2020).

Tabla 1:
Información taxonómica

Reino	Animalia
<i>Phylum</i>	Chordata
Clase	Aves
Orden	Ciconiiformes
Familia	Ardeidae
Nombre científico	<i>Bubulcus ibis ibis</i>
Nombre común	Garza ganadera

(MERI, 2013)

c) Reproducción

Suele reproducirse por primera vez a los 2 o 3 años. Se reproduce en colonias por lo general ya establecidas. El macho establece el territorio de apareamiento y se exhibe para atraer a la hembra, esta exhibición incluye estirar el cuello y levantar las plumas balanceándose de un lado a otro y hacer vuelos cortos con aleteos pronunciados y exagerados (Redrobe, 2015). El nido es construido principalmente por las hembras con materiales que el macho proporciona, es una plataforma o cuenco poco profundo hecho con ramas pequeñas de unos 20 a 45 cm de diámetro y 12 a 25 cm de altura, tapizada en ocasiones con algo de hierba (Audubon, 2024).

La puesta suele tener lugar entre mediados de mayo y finales de junio y consta de cuatro a cinco huevos en promedio (con variación de entre tres y nueve) blancos, con un tinte verdoso o azulado, y punteados en uno de los extremos. Su incubación, a cargo de ambos sexos, se prolonga de 22 a 26 días, los polluelos son atendidos por los adultos hasta los 20 días, en los cuales ya deambulan sobre las ramas aledañas y al mes de vida completan su desarrollo y abandonan el nido (Audubon, 2024).

d) Hábitat

En el proceso de colonización, la preferencia por la ocupación de un tipo de hábitat se basa fundamentalmente, en las características que determinan la similitud del paisaje (Sampaio *et al.*, 2019) entre el lugar de origen en África y las nuevas áreas colonizadas en América del Sur; tal como ocurrió, con la ocupación inicial de la garza ganadera en el estado de Rio Grande do Sul (Brasil), por la similitud de las características ambientales con la región de origen en África (Moralez *et al.*, 2014).

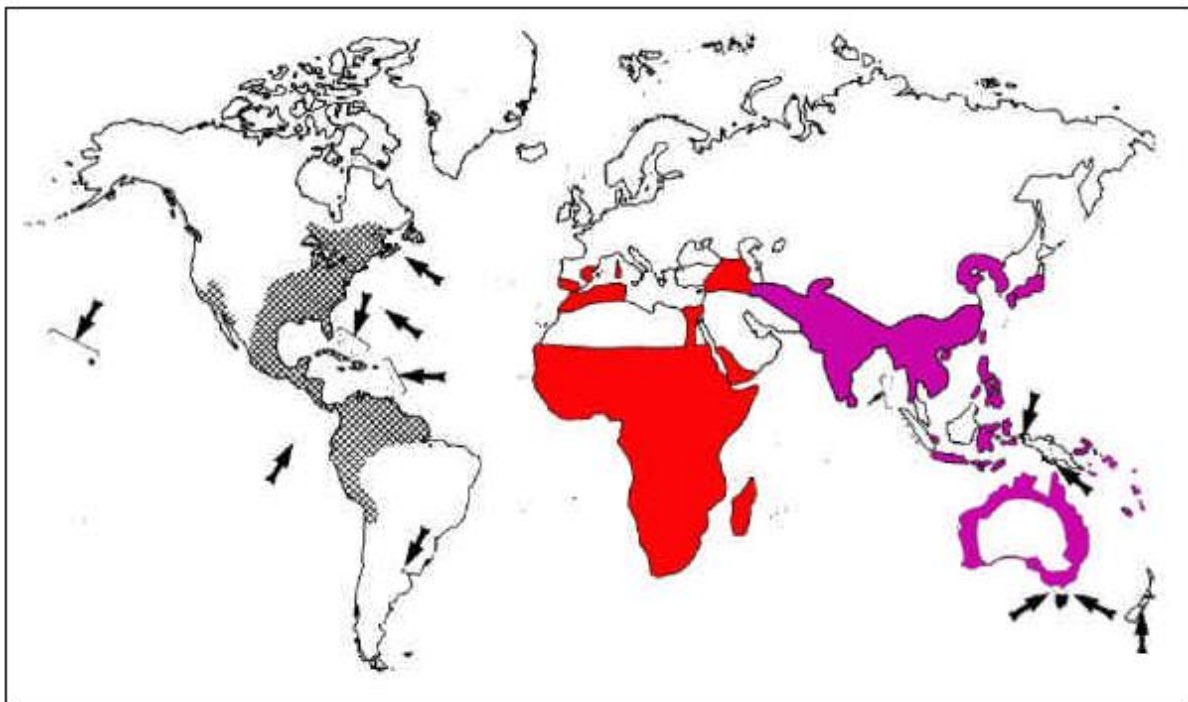


Figura 2. Distribución original y exótica de *Bubulcus ibis ibis*. El área original de distribución de esta subespecie está marcada con rojo, Las flechas indican los sitios en donde la especie ha sido introducida exitosamente y la cuadrícula indica la distribución exótica de la especie, el área morada indica la distribución de otras subespecies de la misma garza. (MERI 2013; Long, J. 1981)

Una vez establecida, la garza bueyera comienza a interactuar con las especies residentes, con las que comparte algunas características como el tamaño de nidada, alimentación, ambiente y depredadores, además hay que señalar que las

condiciones del clima, hábitat y el número de los organismos introducidos se comportan como indicadores significativos en el establecimiento de plantas, aves y mamíferos. La interacción entre especies nativas y no nativas, como en el caso de la garza ganadera, contribuye para adaptar las condiciones ambientales a sus necesidades, permitiendo así la expansión de la especie no nativa y cumpliendo funciones importantes en la dinámica natural del ecosistema (Pulido, *et al.*, 2020).

e) Estado de conservación

B. ibis ibis está incluida como especie invernante/migratoria y reproductora, actualmente de riesgo menor (LC); sin embargo, en hábitats de estadía migratoria, pueden competir con especies de aves nativas, sobre todo por alimento y áreas de nidificación, sin representar un impacto negativo grave (Audubon, 2024).

C. Sistema Nervioso

a) Generalidades

El sistema nervioso se subdivide en sistema nervioso central (SNC), compuesto por el encéfalo y la médula espinal, y en sistema nervioso periférico (SNP) conformado por nervios que interconectan todos los tejidos del cuerpo con el SNC (Dyce *et al.*, 2010). Se deriva de una región especializada de ectodermo superficial, a lo largo de la línea media dorsal del disco embrionario. (Dellman *et al.*, 2006). Las células ectodérmicas se espesan para convertirse en ectodermo neural, formando dos pliegues neurales que posteriormente se fusionan y forman el tubo neural, incorporándose al embrión en desarrollo y formando el encéfalo y la médula espinal. Una población separada de células ectodérmicas permanece separada del tubo neural formando dos crestas neurales laterales que darán origen al SNP (Salguero, *et al.*, 2023).

El SNC se encuentra rodeado y protegido por tres membranas de tejido conectivo llamadas meninges: duramadre, aracnoides y piamadre, que se localizan entre el hueso y el tejido nervioso, siendo la duramadre la más externa y la piamadre la más interna. Entre la aracnoides y la piamadre se localiza un espacio subaracnoideo, en el cual circula el líquido cefalorraquídeo que coadyuva a la protección del SNC (Host, *et al.*, 2016).

Entre las funciones del sistema nervioso, se encuentra la percepción de los estímulos del medio ambiente para desarrollar funciones vitales como la alimentación, la defensa, la reproducción, la regulación integral de las funciones corporales y la vida de relación, la capacidad de aprendizaje y la ejecución de los reflejos condicionados, así como las respuestas adaptativas, expresadas a través del comportamiento animal innato y aprendido, además del almacenamiento de la información (memoria) (Pérez, 2013).

La estructura del tejido nervioso está formada por dos tipos de células: las neuronas, que llevan cabo las funciones del sistema nervioso y células de apoyo llamadas en conjunto neuroglia o glía (Host *et al.*, 2016).

Las neuronas poseen un cuerpo celular llamado soma, con un solo núcleo y con un nucléolo prominente. Su citoplasma es rico en la substancia cromidial (de Nissl), de aspecto granular y que en realidad está formada por ribosomas adheridos al retículo endoplásmico (por esta razón conocido como granular, antes mal llamado rugoso). Como los ribosomas son ricos en RNA, este tiene afinidad por la hematoxilina y esto da como resultado que el citoplasma de las neuronas sea predominantemente basófilo, de color violeta al microscopio de luz. La función de la neurona es recibir y transmitir impulsos eléctricos (por extensión, impulsos nerviosos). Las neuronas pueden mostrar diferentes tamaños y formas dependiendo de su función (Dellman *et al.*, 2006). Del soma de la neurona surgen unos procesos alargados, que son las dendritas y el axón, las dendritas son

procesos ramificados que funcionan generalmente como elementos receptores y el axón es generalmente el proceso único y largo para la transmisión posterior del impulso nervioso. La información transmitida de esta forma a lo largo de una cadena de neuronas pasa generalmente del axón a la dendrita en una unión especializada, la sinapsis. Las neuronas adultas, dada su gran especialización funcional, no realizan la división celular mitótica, sino que están en una etapa G_0 permanente (Host *et al.*, 2016).

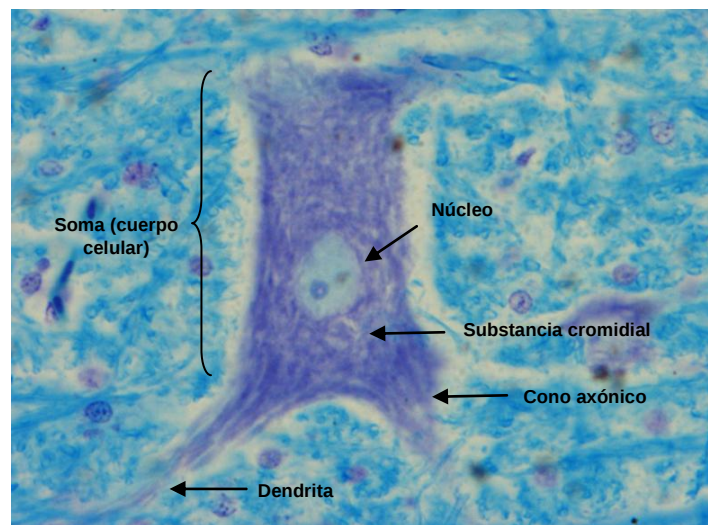


Figura 3. Neurona. Azul Luxol. 400X. (Pérez, A., 2023).

Con relación a las células de la neuroglia, estas coadyuvan a la función neuronal formando una red de soporte, defensa y nutrición para estas neuronas). Todos los órganos del sistema nervioso central poseen las llamadas sustancia gris y sustancia blanca y, si bien los cuerpos neuronales sólo están presentes en la sustancia gris (siendo éstos los que le dan el color característico), ambas presentan células de la neuroglia: en la sustancia gris existen los astrocitos protoplásmicos, los oligodendrocitos satélite y los microglíocitos (en conjunto llamados microglía); por otra parte, la neuroglia de la sustancia blanca está constituida por los astrocitos fibrosos, los oligodendrocitos interfasciculares y la microglía. Junto con los elementos celulares descritos, en la sustancia gris se

localizan fibras nerviosas amielínicas, mientras que la sustancia blanca presenta fibras nerviosas mielínicas (la mielina es la que da el color a la sustancia blanca y aumenta la velocidad de la transmisión de los impulsos nerviosos) (Rivas, 2010).

b) Sistema Nervioso Aviar

1. Encéfalo

El encéfalo de las aves, en comparación con el de los mamíferos, es muy pequeño, se encuentra dentro de la cavidad craneal, que ocupa una pequeña porción caudal de la cabeza en la que sobresale el pico y las grandes órbitas oculares. Las estructuras que conforman el encéfalo de las aves derivan de las cinco vesículas secundarias embrionarias descritas también en mamíferos: telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, metencéfalo y mielencéfalo (García, *et al.*, 2016).

Las aves no poseen una corteza extensamente desarrollada, pero las neuronas se agrupan en los hemisferios cerebrales formando áreas compactas semejantes a núcleos grises. Estas áreas derivan de los tres sectores del llamado *pallium*: *hiperpallium*, *mesopallium* y *nidopallium*, que equivalen en cierta forma a la corteza cerebral de los mamíferos y comparten su extensa conectividad multimodal, necesaria para el procesamiento de una gran cantidad de información sensitiva. Por esta razón las aves con mayor desarrollo del *mesopallium* y *nidopallium* son las que muestran un mejor desempeño en resolución de problemas (González N. *et al.*, 2014).

Los núcleos grises profundos del encéfalo muestran importantes variaciones entre especies, en algunas aves se han identificado cuatro grandes masas nucleares que recuerdan la estructura de los mamíferos, sin embargo, en otras aves es difícil reconocer cúmulos organizados de neuronas (Dellman *et al.*, 2006). En aves como los cuervos (*Corvus moneduloides*), por ejemplo, tienen la capacidad de utilizar herramientas para acceder a depósitos de alimento, mediante técnicas de tinción

se pudo observar que los núcleos grises son más frecuentes, los cuales, dependiendo de la zona del encéfalo, están relacionados con la resolución de problemas, memoria espacial y vuelo (González *et al.*, 2014).

Una forma de estudiar la morfología del encéfalo es dividirlo de acuerdo con su origen vesicular embrionario. A continuación, se enlistan estos elementos indicando las estructuras morfológicas asociadas a ellos (García, *et al.*, 2016):

- Telencéfalo: hemisferios cerebrales.
- Metencéfalo: cerebelo, incluyendo el puente.
- Diencefalo: tálamo, hipotálamo y epitálamo.
- Mesencéfalo: quiasma óptico.
- Mielencéfalo: médula oblonga.

- **Telencéfalo**

Está formado por los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo, que están separados por la fisura interhemisférica. En el extremo rostral de cada hemisferio se puede observar el bulbo olfatorio. Cada hemisferio puede dividirse en tres partes, frontal, parietal y occipital, en la superficie ventral de cada hemisferio aparece una protuberancia denominada tubérculo ventral, del que deriva rostralmente el bulbo olfatorio; en la parte interna del telencéfalo se localizan los ventrículos laterales (García, *et al.*, 2016).

Al igual que el de los reptiles, presenta una citoarquitectura muy diferente a la que se observa en los mamíferos: en las aves los derivados telencefálicos se organizan como núcleos grises compactos con funciones equivalentes a las áreas corticales de los mamíferos (González *et al.*, 2014).

- Metencéfalo

Está constituido por el cerebelo y el puente. El cerebelo se sitúa caudal a los hemisferios telencefálicos, está formado por el vérmix, que sobresale en la parte central del cerebelo y dos pequeñas salientes laterales (aurículas cerebelares) (Schwarze, 1980; García *et al.*, 2016).

En todos los vertebrados, el cerebelo está asociado a la coordinación, la modulación, sincronización de movimientos y a la memoria motora. Las aves poseen un sistema vestibular y un cerebro complejo que resuelven problemáticas relacionadas al vuelo, visión y audición (González *et al.* 2014).

En las aves el cerebelo está formado por una sección central compacta, dividida por numerosos surcos y una porción lateral pequeña llamada aurícula, esta configuración explica la ausencia del puente en el tronco del encéfalo, esta porción está formada principalmente por fibras nerviosas transversas que conectan ambos hemisferios cerebelosos (González *et al.* 2014).

La superficie del cerebelo está marcada por fisuras cerebelares que separan las folias cerebelares. El puente se sitúa en la parte ventral del cerebelo, rostral a la médula oblonga; en un corte lateral, se puede identificar como una flexura en la parte rostral de la médula oblonga (Schwarze, 1980; García *et al.*, 2016).

El cerebelo está separado de los hemisferios cerebrales por la cisura transversal del cerebro, que es de extensión variable. En su superficie se advierten numerosas láminas o protuberancias transversales y en los cortes longitudinales se aprecian las formaciones que constituyen el llamado árbol

de la vida; donde la corteza es de sustancia gris periférica y una médula de sustancia blanca central (Schwarze, 1980; García, 2016).

La citoarquitectura del cerebelo de las aves es similar a la de los mamíferos. Una masa de sustancia blanca central contiene los voluminosos núcleos grises y se prolonga en forma digitiforme para constituir el eje central de las láminas cerebelosas. Sobre el eje de la sustancia blanca se dispone la corteza formada por tres capas concéntricas: Un estrato molecular cubierto por la piamadre, el estrato de neuronas piriformes (de Purkinje) y el estrato granuloso que descansa sobre la sustancia blanca (González *et al.* 2014).

- **Diencefalo**

Este presenta el tálamo como estructura central, situado medioventralmente a los hemisferios telencefálicos. Ventralmente a éste se encuentra el hipotálamo, que se conecta mediante el infundíbulo con la hipófisis; situada sobre la superficie ventral del diencefalo y caudorostral al tálamo, se localiza la glándula pineal, que forma parte del epitálamo. Rostralmente a la hipófisis, se encuentra el quiasma óptico, del que derivan los nervios ópticos (García *et al.*, 2016).

El diencefalo de las aves está formado por tres regiones: epitálamo, tálamo e hipotálamo. La única parte visible se observa en la superficie ventral del encéfalo y está representado por el voluminoso quiasma óptico, la hipófisis y los tractos ópticos. Las aves carecen de la eminencia llamada cuerpo mamar, que en los mamíferos aparece inmediatamente caudal a la hipófisis (González *et al.* 2014).

Tálamo

Consta de dos núcleos simétricos grises separados por delgadas láminas de fibras nerviosas. Los núcleos talámicos están formados por neuronas medianas, bipolares o multipolares que forman parte de circuitos sensitivos, motores o límbicos. La parte caudal es pequeña y se encuentra en conexión con los abultados lóbulos ópticos (González N. *et al.* 2014).

Epitálamo

Incluye la glándula pineal, que se encuentra conectada por medio de fascículos nerviosos con los núcleos habenulares. Los estudios citoquímicos realizados en esta glándula han demostrado la presencia de opsinas (pigmentos visuales) en pinealocitos de animales jóvenes y abundantes neuronas secretoras de melatonina en animales adultos (González *et al.* 2014).

Hipotálamo

Este se confunde anatómicamente con el *pallium ventral*. Los núcleos grises son poco diferenciados y se encuentran formados principalmente por neuronas bipolares. Muchas de estas neuronas tienen función secretora y sintetizan las hormonas liberadoras e inhibidoras de las hormonas hipofisiarias, mientras que otras neuronas son de mayor tamaño y sintetizan oxitocina y vasopresina, secretando estas hormonas directamente desde el lóbulo neural de la hipófisis (González *et al.* 2014).

Otros núcleos del hipotálamo controlan funciones autonómicas y existen centros asociados a la termorregulación, saciedad y ciclos circadianos (González *et al.* 2014).

El tercer ventrículo aparece ubicado entre los núcleos grises del tálamo y presenta un extremo nasal que conduce al infundíbulo hipofisario. Una evaginación dorsal del diencefalo conecta con el epitélamo y otra evaginación ventral se prolonga para formar la porción neural de la hipófisis (González *et al.* 2014).

- **Mesencéfalo**

Está situado caudalmente al diencefalo, del cual sobresalen dos eminencias redondeadas ubicadas en la parte caudoventral de cada hemisferio telencefálico, llamadas cunículos mesencefálicos y forman parte del techo mesencefálico. Rostralmente se conectan con el quiasma óptico mediante los tractos ópticos, por lo que reciben el nombre de lóbulos ópticos (García *et al.*, 2016).

- **Myelencefalo**

Está representado por la médula oblonga, que aparece como un cilindro abultado, caudal al puente, que continua con la médula espinal. Entre esta estructura y el cerebelo se puede ubicar el cuarto ventrículo (García *et al.*, 2016).

La cara dorsal delimita la fosa romboidal que representa el piso del cuarto ventrículo y se encuentra cubierta por el cerebelo. La citoarquitectura del órgano es muy similar a la de la médula espinal, la sustancia blanca está localizada periféricamente rodeando y separando los núcleos grises. Su estructura no es uniforme en toda su longitud, por esta razón las secciones histológicas muestran variaciones importantes según el sector rostrocaudal considerado (Schwarze, 1980; González *et al.* 2014).

Por otro lado, las neuronas se agrupan en los núcleos sensitivos, motores y autónomos de los nervios craneales, mientras que las fibras nerviosas están organizadas en fascículos ascendentes sensitivos y fascículos descendentes motores (González *et al.* 2014).

En la médula oblonga se encuentran los núcleos nerviosos craneales V, VI, VII, IX, X, XI y XII. En este órgano está muy desarrollada la formación reticular compuesta por una vasta red de somas neuronales y fibras amielínicas, La formación reticular contiene núcleos asociados a funciones vegetativas que son importantes para el mantenimiento de ciclos como el del sueño, vigilia y de funciones vitales como la cardíaca, respiratoria, deglutoria, entre otras (Schwarze, 1980; González *et al.* 2014).

2. Médula espinal

Situada en el canal raquídeo, constituye uno de los componentes más importantes del SNC. Asimismo, tiene una vital importancia, ya que relaciona el sistema nervioso central con el periférico, en lo que refiere a neuronas motoras, viscerales, somáticas y sensoriales (Gázquez *et al.*, 2004).

Su estructura es cilíndrica y está constituida en su parte más interna por agrupaciones de neuronas (sustancia gris) y en la periferia se distribuyen las fibras nerviosas aferentes y eferentes (sustancia blanca) (Gázquez *et al.*, 2004). Corre por todo el canal vertebral desde la región cervical hasta la caudal. En general es semejante a la de los mamíferos al presentar 4 partes: cervical, torácica, sinsacro y caudal. Tiene un surco mediano dorsal, dos surcos dorsolaterales y dos surcos ventrolaterales, además de la fisura mediana ventral. A nivel de la porción sinsacro la intumescencia lumbosacra incrementa por el cuerpo gelatinoso, que es una dilatación de consistencia blanda formada por células gliales periféricas (García *et al.*, 2016).

La sustancia gris recuerda la forma de alas de mariposa, está formada por dos cuernos o astas dorsales y dos ventrales (García *et al.*, 2016). Las neuronas se agrupan en las astas o cuernos, formando los núcleos neuronales, que reciben estímulos sensitivos, en el caso de las neuronas localizadas en las astas dorsales, por otra parte, las neuronas localizadas en las astas ventrales son preferentemente motoras (Gázquez *et al.*, 2004). Los cuernos del lado derecho se conectan con los del lado izquierdo mediante la comisura gris, donde se localiza el canal central. La sustancia blanca de cada lado se divide en tres regiones o funículos: dorsal, lateral y ventral (García *et al.*, 2016).

El líquido cerebroespinal o cefalorraquídeo se forma en los plexos coroideos de los ventrículos encefálicos y se absorbe en los senos venosos de la duramadre. El líquido cerebroespinal pasa por los ventrículos laterales y después pasa al tercer ventrículo a través de los forámenes interventriculares, cruza el acueducto mesencefálico para llegar al cuarto ventrículo donde pasa al canal central de la médula espinal o bien alcanza la cavidad subaracnoidea a través de los recesos laterales del cuarto ventrículo (García *et al.*, 2016).

3. Meninges

El encéfalo y la médula espinal de las aves domésticas, al igual que sucede en los mamíferos, se hallan envueltos por las tres meninges: duramadre, aracnoides y piamadre, las cuales se describen con más detalle a continuación (Host *et al.*, 2016):

- Duramadre

A partir de la división de los hemisferios cerebrales, la duramadre forma una partición longitudinal superficial que se extiende sobre la superficie de cada uno de estos. Un tabique transversal, la tienda del cerebelo, se extiende entre los hemisferios cerebrales, el cerebelo y el mesencéfalo.

- **Aracnoides**

Se encuentra adherida a la superficie interna de la duramadre, en la superficie convexa del cerebro, formando a su vez unas derivaciones membranosas reticulares que forman el espacio subaracnoideo, localizado este entre la aracnoides y la piamadre, alojando al líquido cefalorraquídeo y distribuido sobre los lóbulos más grandes del cerebro, entre los espacios del diencéfalo ventral y el mesencéfalo y entre el cerebelo y la médula oblonga, para formar cisternas subaracnoideas.

- **Piamadre**

Está unida íntimamente a toda la superficie del tejido nervioso del encéfalo y la médula espinal. Forma un revestimiento delgado sobre los vasos de los plexos coroideos. Entre los nervios espinales, la piamadre emite extensiones laterales a la duramadre, que forman los ligamentos serratos denticulados, que están particularmente bien desarrollados en la región cervical y al nivel del cuerpo gelatinoso. Este último es una estructura ricamente vascularizada de función no determinada, formada por células gliales ricas en glucógeno modificado y es más notorio a nivel del tercer a sexto segmento sacro de la médula espinal.

4. Evolución del encéfalo de las aves y desarrollo cognitivo.

La citoarquitectura de los hemisferios cerebrales de las aves es completamente distinta a la organización estratificada que se observa en los mamíferos. En las aves se encuentran acúmulos compactos de neuronas semejantes a núcleos grises separados por pequeñas láminas de sustancia blanca. Esta organización presenta a los somas neuronales formando áreas telencefálicas y diencefálicas definidas, aunque no estrictamente delimitadas; algunos estudios han demostrado que los derivados telencefálicos de los mamíferos, aves y reptiles, proceden de sectores embrionarios similares (Tabla 2) (González *et al.* 2014).

En relación con el peso corporal, el cerebro de las aves es de 5 a 20 veces más grande que el de los reptiles. Los lóbulos occipitales y el cerebelo son relativamente grandes en las aves (Host *et al.*, 2016).

Los hemisferios cerebrales de las aves no poseen surcos, por lo general los presentan esbozados, es decir, el cerebro aviar es lisencefálico y de un peso reducido (Host *et al.*, 2016).

En la antigua visión de la neuroanatomía, había una jerarquía evolutiva que sugería que los vertebrados inferiores (peces, reptiles y aves) tenían pobres capacidades cognitivas y operadas básicamente por reflejos. La teoría unificada de la evolución del cerebro adoptada por Edinger, implicaba una evolución lineal del cerebro y la evolución concomitante del pensamiento de nivel superior como uno solo (Orosz *et al.* 2007).

Esto sugería que había partes del cerebro más antiguas y a medida que la evolución avanzaba, habría componentes nuevos y complejos agregados. Esta visión lineal dio lugar a subdivisiones del cerebro desde los más antiguos a regiones menores complejas como el *paleostriatum* y *archistriatum*, hasta las más nuevas, denominadas *neostriatum*, lo que sugiere una neocorteza para el cerebro de mamíferos (Tabla 3) (Orosz *et al.* 2007).

Tabla 2: Anatomía comparada entre las estructuras del cerebro de mamíferos y aves (Orosz *et al.* 2007)

Mamíferos	Aves
Neocórtex prefrontal	<i>Nidopallium</i>
División oftálmica (V1), corteza visual primaria y corteza somatosensorial	<i>Endopallium</i>
Corteza asociativa	<i>Mesopallium</i>
Corteza auditiva primaria	Campo L
Amígdala	Complejo amigdalóide
Tálamo	Tálamo
Cerebelo	Cerebelo
Eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal (HHA)	HHA
Hipocampo	Hipocampo

La nomenclatura utilizada actualmente reconoce distintas regiones derivadas del *pallium* o corteza (*hiperpallium*, *mesopallium*, *nidopallium*, hipocampo y corteza piriforme) (Fig. 3) que cumplen funciones similares a algunos derivados encontrados en los mamíferos y reptiles (González *et al.* 2014).

El *hiperpallium* es el único derivado embrionario del *pallium* dorsal y por lo tanto homólogo a la neocorteza de los mamíferos. Distintos estudios inmunohistoquímicos para evidenciar sustancia P, tiroxina hidroxilasa y colina acetil transferasa han demostrado la homología entre los elementos corticales y subcorticales de aves y mamíferos. Este tipo de estudios permiten correlacionar las funciones más complejas (aprendizaje y memoria) del encéfalo con los estudios conductuales (González *et al.* 2014).

Tabla 3: Desarrollo comparativo del telencéfalo en mamíferos, aves y reptiles (González *et al.* 2014)

	Mamíferos	Aves	Reptiles
<i>Pallium</i> medial	Hipocampo (arquicorteza)	Hipocampo	Corteza medial y dorsomedial
<i>Pallium</i> dorsal	Estratos celulares de la neocorteza	<i>Hiperpallium</i>	Corteza dorsal
<i>Pallium</i> lateroventral	Corteza piriforme (paleocorteza), claustró y amígdala	<i>Mesopallium</i> <i>Nidopallium</i> Corteza piriforme, claustró y amígdala	Cresta dorso-ventricular, Corteza piriforme, claustró y amígdala

Las estructuras subcorticales *pallium ventral*, *globopallium*, *striatum*, *claustrum* y parte de la amígdala, están muy desarrollados en las aves y se encuentran separadas del *nidopallium* por delgadas láminas de sustancia blanca (González *et al.* 2014).

Las células corticales de los mamíferos que procesan información se desarrollaron en la superficie, mientras que las células homologas se retuvieron profundamente dentro de la corteza en aves y reptiles, en los núcleos subcorticales, por lo cual,

podemos decir, que las aves procesan la información en una ubicación y de una manera diferente, es decir, utilizando núcleos subcorticales de tres capas, no en una corteza de seis capas como los mamíferos (Fig. 4) (Orosz *et al.* 2007).

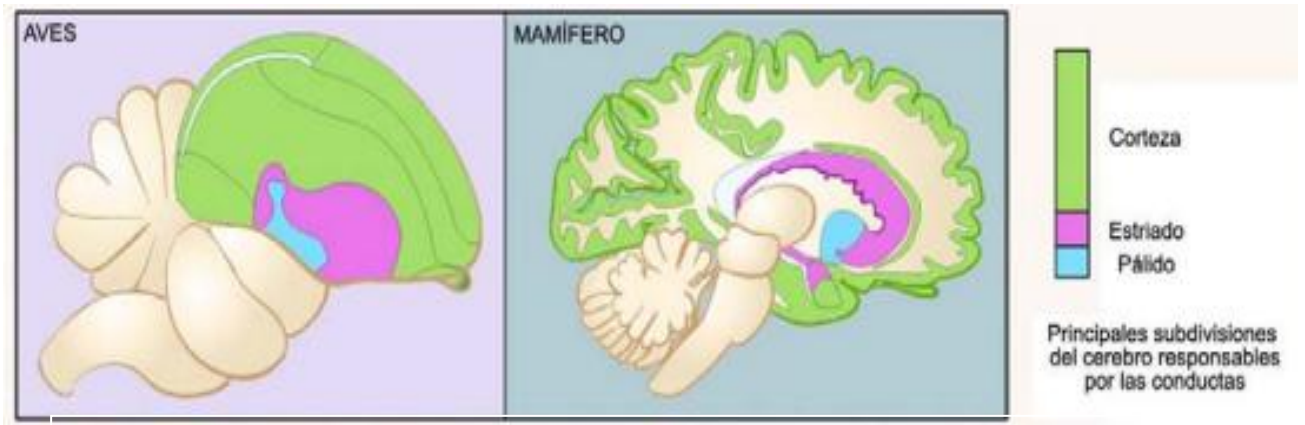


Figura 4. Modelo moderno de evolución encefálica (Orosz S.E, *et al.* 2007).

El *paleostriatum* de los reptiles debía tener una parte más antigua y una parte más nueva, el *augmentatum*. Ambas subdivisiones se consideraban homólogas al *globopallium* de los humanos, parte de los núcleos subcorticales asociados con la ejecución suave de movimientos voluntarios. Se pensaba que las aves habían desarrollado de manera única un componente más nuevo en los ganglios basales, el *hiperstriatum* o estriado hipertrofiado (Orosz *et al.* 2007).

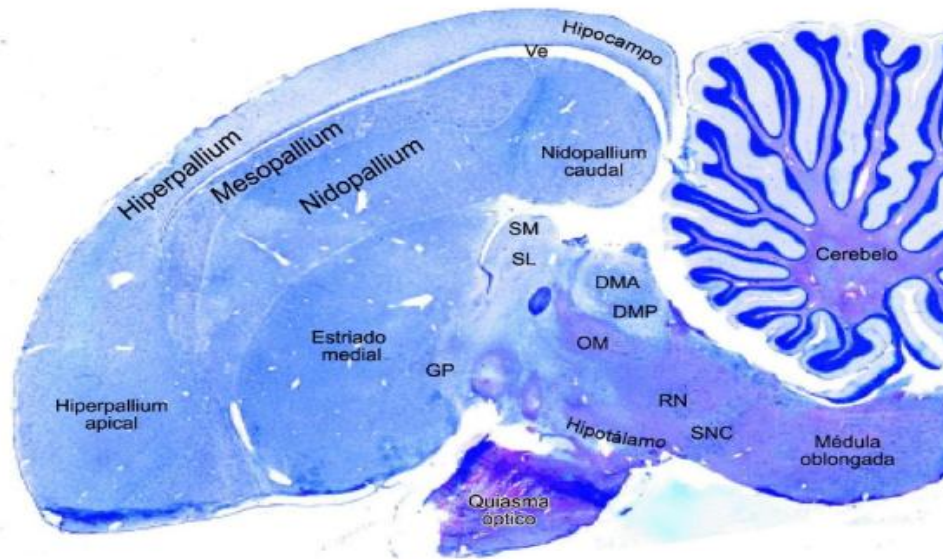


Figura 5. Microfotografía de una sección sagital de encéfalo del cuervo japonés (*Corvus macrorhynchos*) teñida con violeta de cresilo y azul luxol rápido. El plano de sección se encuentra 2mm lateral al plano mediano. Se observan los principales componentes telencéfálicos y diencefálicos: núcleo dorsal anterior del tálamo (DMA), núcleo dorsal posterior del tálamo (DMP), globo pallium (GP), tracto occipitomesencéfalo (OM), núcleo rojo (RN), sustancia nigra compacta (SNC), ventrículo (Ve) (Orosz *et al.* 2007).

La porción del encéfalo, el tronco encefálico (que integra médula oblonga, puente y mesencéfalo), evolucionaron de manera similar tanto en aves como en mamíferos (Orosz *et al.* 2007).

La porción rostral o telencéfalo y el diencefalo evolucionaron de manera diferente en las aves en comparación con los mamíferos; se pensaba que el área asociada con la corteza evolucionó a partir de un *archistriatum* (termino referenciado a la nomenclatura anterior) reptil o un estriado arcaico sobre el *paleostriatum*. Esta estructura fue propuesta como precursora del *caudo* y el *putamen* humanos (masas de materia gris situadas en los hemisferios), que representan núcleos subcorticales asociados en la calidad del movimiento (Orosz *et al.* 2007).

Tomando como base esta información, el presente trabajo pretende contribuir al estudio morfológico microscópico de las aves, tomado como modelo a la garza ganadera (*Bubulcus ibis*), representante de las aves acuáticas migratorias.

Justificación

Las enfermedades zoonóticas emergentes constituyen una de las preocupaciones mundiales de importancia en la actualidad (Quammen, 2012), tomando como ejemplo el caso de la pandemia de COVID-19.

De la mano del estudio de estas enfermedades, está el estudio de los vectores y/o reservorios que participan en el *spillover* respectivo. En este contexto hay dos grupos de animales que revisten especial interés por el constante papel que desempeñan en este tenor: los murciélagos y las aves acuáticas (Quammen, 2012).

En este último caso, la característica migratoria y su fácil adaptación a ambientes semi-urbanizados, permiten que varias de estas especies tengan mayor facilidad para diseminación de enfermedades en las poblaciones humanas. Por ejemplo, diversas variantes de influenza de alto potencial patógeno parecen pasar de estas aves al ser humano (Quammen, 2012).

Por esta razón, es importante conocer diversos aspectos morfofisiológicos de estos animales que permitan definir a corto y mediano plazo estrategias que permitan limitar la diseminación de patógenos con potencial catastrófico para el ser humano.

El presente estudio forma parte de un mega-proyecto que permitirá conocer la morfología de esta especie migratoria con fines de apoyo para estudios posteriores relativos a las enfermedades que pueden transmitir directa o indirectamente al ser humano.

Hipótesis

La histología del sistema nervioso de *Bubulcus ibis ibis* está condicionada con respecto al orden al que pertenece (Ciconiiformes), caracterizado por poseer picos

grandes con relación al tamaño de su cabeza y grandes globos oculares colocados lateralmente, constituyendo una adaptación evolutiva relativa al comportamiento de estos animales y el nicho ecológico en el que se desenvuelven.

Objetivos

A. Objetivo general

- Realizar la histología descriptiva y topográfica del encéfalo y la médula espinal de la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*).

B. Objetivos específicos

- Obtención de muestras biológicas del encéfalo y la médula espinal de estas aves para la obtención de preparados histológicos teñidos con un método especial para tejido nervioso (Prophet & Mills, 1995).
- Observación de las preparaciones histológicas obtenidas para su análisis e interpretación.
- Elaboración de mapas topográficos de las estructuras identificadas.

Materiales y Métodos

A. Colecta de sujetos de estudio

Durante el invierno, arriba a la región del Valle de Tulancingo y sus alrededores una colonia de garzas acuáticas migratorias constituida por individuos de la especie *Bubulcus ibis ibis* (garza ganadera). Uno de los grupos fue ubicado en la Ciudad Universitaria de Tulancingo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, a partir del cual se obtuvieron de manera incidental entre enero de 2022 y febrero de 2023 los sujetos de estudio: tres cadáveres de garzas adultas con características morfológicas compatibles con *Bubulcus ibis ibis*, (corroborado mediante posterior cotejo fotográfico especializado y estudio genético por PCR), sin lesiones físicas aparentes, encontrados en los alrededores del Instituto de Ciencias Agropecuarias, sito en la Cd. Universitaria de referencia. Los individuos fueron levantados con guantes, colocados en bolsas RPB (Residuos Peligrosos Biológicos Infecciosos) como marca la norma 087 de la SEMARNAT, código amarillo; numerados progresivamente y almacenados en la cámara fría del Área de Anatomía y Necropsias del Área Académica de MVZ, para su posterior estudio. El espécimen de garza ganadera 1, se encontró el 10 de enero de 2022, espécimen de garza ganadera 2, se encontró el 26 de enero de 2023 y el espécimen de garza ganadera 3, se encontró el 21 de febrero de 2023.

B. Obtención de muestras biológicas

A partir de los individuos de referencia se diseccionaron cuidadosamente los órganos y estructuras de sus sistemas orgánicos y se fijaron al menos 24 h en solución acuosa de formaldehído al 3.7% *bufferada* con fosfatos (Prophet, 1995) para su estudio histológico. Para este trabajo se estudiaron las muestras de encéfalo y médula espinal.

C. Procesamiento por el método de inclusión en parafina

Posterior a un tiempo de espera de 24 horas de fijación se realizaron cortes transversales de los órganos y se colocaron en *histocassettes*, que fueron debidamente identificados.

Tabla 4: Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) Número 1

Órgano	Numero de cortes	Tipo de corte
Encéfalo	I. Telencéfalo	I. Transversal
	II. Telencéfalo	II. Transversal
	III. Telencéfalo	III. Transversal
	IV. Mesencéfalo	IV. Transversal
	V. Mesencéfalo	V. Transversal
	VI. Cerebelo y mesencéfalo	VI. Transversal
	VII. Médula oblonga	VII. Transversal
Médula espinal	I. Zona entre el atlas y axis del cuello del ave	I. Transversal
Bulbo olfatorio	I. Completo	I. Transversal

Tabla 5: Cortes de encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 2

Órgano	Número de cortes	Tipo de corte
Encéfalo	I. Telencéfalo	Transversal I
	II. Telencéfalo	Transversal II
	III. Telencéfalo	Transversal III
	IV. Mesencéfalo	Transversal IV
	V. Mesencéfalo	Transversal V
	VI. Médula oblonga	Transversal VI
	VII. Médula oblonga	Transversal VII
		Transversal VIII

Tabla 6: Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 3

Órgano	Número de cortes	Tipo de corte
Encéfalo	I. Encéfalo	Transversal I
	II. Encéfalo	Transversal II
	III. Encéfalo	Transversal III
	IV. Encéfalo	Transversal IV
	V. Encéfalo	Transversal V
	VI. Mesencéfalo	Transversal VI

Las muestras se procesaron mediante el método por inclusión en parafina (Prophet & Mills, 1995) con un procesador automatizado de tejidos (*histokinette*) marca Microm, mod. STP 120, el cual fue programado como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Proceso de inclusión en el *histokinette* (modificado de Prophet & Mills, 1995)

Contenedor	Proceso	Tiempo (horas)	Reactivo
1	Lavado Elimina exceso de formol	1	Agua destilada
2	Deshidratación Extracción de agua de forma gradual	1	Etanol 60%
3		1	Etanol 70%
4		1	Etanol 80%
5		1	Etanol 95%
6		2	Etanol 95 %
7		1	Etanol 100%
8		2	Etanol 100%
9	Aclaramiento	1	Xileno
10	El etanol es sustituido por xileno	2	Xileno
11	Infiltración	1	Parafina
12	El xileno se evapora y se suple por parafina para obtener la consistencia adecuada para realizar los cortes histológicos	2	Parafina

D. Inclusión y corte de las muestras histológicas obtenidas.

Una vez que las muestras salieron del *histokinette*, fueron incluidas en bloques de parafina grado histológico, con ayuda de moldes de aluminio lubricados con glicerina para evitar la excesiva adherencia de la parafina al metal y así sacar los bloques de parafina fácilmente del molde de metal. El proceso de inclusión permite realizar cortes muy delgados del tejido con un microtomo, al estar el tejido en una matriz firme y sólida para el corte (Prophet & Mills, 1995). Una vez colocada la muestra en el molde con parafina líquida (a punto de fusión 57°C) se esperó a que enfriara y solidificara, preferentemente 24 hrs a temperatura ambiente, para realizar el proceso de corte.

Se realizaron cortes histológicos de 6 y 20 μm con un micrótopo Leica, mod. 2125RT. Se obtuvieron 4 cortes de cada sección mostrada en las tablas 4, 5 y 6. Los cortes fueron colocados en portaobjetos de vidrio con el apoyo de un baño de flotación de tejidos (Premiere, XH-1001), el cual contiene agua destilada a 37°C con 2 g de grenetina (que permite extender cada corte y facilita su adhesión a la lámina portaobjetos). Después de coleccionar los cortes en los portaobjetos se colocaron en una platina térmica marca Thermolyne Mod. HPA2245M para promover la unión del corte al portaobjetos (Prophet & Mills, 1995).

E. Coloración y montaje de los cortes obtenidos.

Para la observación histológica de los cortes realizados, se llevaron a cabo diferentes métodos de tinción que nos permitieron identificar las diferentes estructuras histológicas de los tejidos.

Los cortes obtenidos se dividieron de la siguiente manera, tomando como referencia los μm necesarios para las diferentes tinciones a emplear (Prophet & Mills, 1995):

- a) Hematoxilina y Eosina, cortes de 4-6 μm .
- b) Método de Azul Luxol-Resistente, cortes de 4-6 μm .
- c) Método de Holmes, cortes de 10-20 μm .

a) Hematoxilina y Eosina

La hematoxilina es un colorante natural, excelente para tinción nuclear. El agente colorante activo, la hemateína, se forma por la oxidación de la hematoxilina. Este proceso, conocido como maduración, ocurre de forma espontánea si la solución de hematoxilina se deja en reposo por varios días, sin embargo, puede usarse de forma inmediata usando un agente oxidante como yodato de sodio u óxido de

mercurio. Esta solución fue almacenada en recipiente oscuro, ya que su proceso de oxidación es continuo (Prophet & Mills, 1995).

Las soluciones de eosina se usan convencionalmente para contrastar, la eosina-floxina da el mayor grado de contraste de rosado a rojo brillante, donde, el citoplasma se tiñe de rosado y el colágeno y músculos de rojo brillante (Prophet & Mills, 1995).

1) Método de Hematoxilina y Eosina de Harris

El método de Harris es considerado regresivo ya que de inicio la hematoxilina tiñe todas las estructuras del corte y continúa con una decoloración controlada y un “azulado” hasta llegar a una tinción nuclear que sea óptima (Prophet & Mills, 1995).

Tabla 8: Preparación de colorantes para el método de Hematoxilina-Eosina de Harris (Prophet & Mills, 1995)

Alcohol acido 1%	
Agua amoniacal	
Solución saturada de carbonato de litio	
Solución de Hematoxilina de Harris	
Hematoxilina	5.0 g
Etanol 100%	50.0 mL
Alumbre de potasio o amonio	100.0 g
Agua destilada	1000.0 mL
Oxido rojo de mercurio	2.5 g
Solución matriz de Eosina	
Eosina Y, hidrosoluble	1.0 g
Agua destilada	100.0 mL
Solución matriz de Floxina	
Floxina B	1.0 g
Agua destilada	100.0 mL
Solución de trabajo Eosina-Floxina	
Combinar en un cilindro de 100 mL	
Solución matriz de eosina	100.0 mL
Solución matriz de floxina	10.0 mL
Etanol al 95%	780.0 mL

Acido acético, glacial	4.0 mL
------------------------	--------

Procedimiento:

1. Las laminillas fueron desparafinizadas e hidratadas hasta llegar al agua destilada.
2. Se tiñeron con Hematoxilina de Harris, previamente filtrada, por 6 o 10 min.
3. Se lavaron en agua corriente por 5 min.
4. Se diferenciaron con alcohol ácido al 1% en dos virajes.
5. Se lavaron brevemente en agua corriente.
6. Se colocaron en una solución de agua amoniacal al 28%, hasta que los cortes tomaron un tono azul brillante.
7. Se lavaron durante 10 minutos en agua corriente.
8. Se colocaron en etanol al 80% por 2 minutos.
9. Se contrastaron en solución de Eosina-Floxina por 5 minutos.
10. Se deshidrataron y aclararon a través de 2 cambios de etanol al 95%, etanol absoluto y xileno, 2 minutos cada cambio.
11. Se montaron con cubreobjetos y medio resinoso.

Resultados:

Núcleos de color azul y citoplasma entre otros tejidos entre rosado y rojo.

b) Histotecnología en neuropatología

En el citoplasma del soma de las neuronas se encuentra la substancia cromidial (de Nissl), la cual se puede mostrar selectivamente con el uso de violeta de cresilo. Con el uso de azul Luxol se demuestra la mielina asociada a los axones de la substancia blanca. El uso combinado de estos dos colorantes permite diferenciar claramente la substancia gris (con los cuerpos neuronales teñidos de violeta) y la substancia blanca, con la mielina en azul intenso, constituyendo así la base del método original de Klüver-Barrera (Tamayo *et al.*, 2011).

Alternativamente a este método, existen las impregnaciones argénticas (como el método de Holmes, de Rio-Hortega, de Golgi, etc.), a base de soluciones de nitrato de plata, que son afines a los axones del tejido nervioso y selectivamente a varias de las células de la neuroglía (Tamayo *et al.*, 2011).

1. Método de Azul Luxol-Resistente (modificado de Klüver-Barrera) para mielina y células nerviosas

Tabla 9: Preparación de soluciones para el método de Azul Luxol Resistente (Prophet & Mills, 1995)

Solución de azul Luxol Resistente al 0.1%	
Azul Luxol-resistente, MBS	0.1 g
Etanol al 95%	100.0 mL
Disuelva el colorante en el alcohol y añada 0.5 ml de ácido acético al 10% por cada 100.0ml de solución. Esta permanece estable por meses	
Solución “echt” de violeta de cresilo al 0.1%	
Violeta de cresilo echt (violeta cresilo- resistente)	0.1 g
Agua destilada	100.0 mL
Inmediatamente antes de usar añada 15 gotas de ácido acético glacial al 10%	

Solución de carbonato de litio al 0.05%	
Carbonato de litio	0.05 g
Agua destilada	100.0 mL
Etanol 70%	

Procedimiento:

- 1) Las laminillas se desparafinaron e hidrataron hasta llegar a etanol al 95%.
- 2) Se colocaron en la solución de azul-Luxol resistente en un horno a 56°C hasta la mañana siguiente.
- 3) Se enjuagó el exceso de colorante con etanol al 95%.
- 4) Se lavaron con agua destilada.
- 5) Se diferenciaron una por una por 30 s en la solución de carbonato de litio.

- 6) Se continuó la diferenciación en el etanol al 70% hasta que la sustancia gris estuvo clara y la sustancia blanca estuvo bien definida.
- 7) Se examinaron en el microscopio y se repitió la diferenciación si fue necesario, comenzando en el paso 5.
- 8) Tan pronto la diferenciación se completó, se colocaron en agua destilada.
- 9) Cuando todas las laminillas fueron acumuladas en agua destilada, se añadió agua destilada fresca.
- 10) Se contrastaron en la solución de violeta "echt" de cresilo por 6 min.
- 11) Se enjuagaron en 2 cambios de etanol al 95%.
- 12) Se continuó la deshidratación a través de 2 cambios de etanol absoluto y xileno, 2 cambios cada uno de 2 min cada uno.
- 13) Se montaron con medio resinoso.

Resultados:

Mielina, incluyendo fosfolípidos, de azul a verde, células y productos celulares de rosado a violeta.

F. Observación, interpretación y análisis de los preparados histológicos

Las preparaciones histológicas resultantes se observaron en un microscopio compuesto de campo claro Olympus, modelo CX31, con los objetivos de 40, 100, 400 y 1000X, para la identificación y análisis de las diferentes estructuras histológicas de los órganos estudiados, con la finalidad de establecer semejanzas, diferencias y aportaciones con relación a lo reportado en la literatura.

a) Observación e interpretación de preparados histológicos

Las preparaciones histológicas teñidas con los métodos de H-E, de Azul Luxol resistente y de Holmes fueron analizadas cuidadosamente y a partir de la observación se escribieron los hallazgos en prosa y se procedió a la elaboración de mapas topográficos, para ilustrar las diferentes regiones observadas en cada serie de cortes, los cuales después fueron escaneados para su incorporación a los datos del presente trabajo.

b) Captura de imágenes digitales

A partir de las preparaciones histológicas estudiadas se obtuvieron imágenes representativas en formato TIFF, con los objetivos 40, 100, 400 y 1000X, con un microscopio compuesto de campo claro, marca Olympus, mod. BX41, equipado con una cámara digital ProEvolution (MediaCybernetics), mediante el software Image-Pro Express v. 6.0 (Media Cybernetics), en una PC Vaio con procesador Pentium y 512 Mb de memoria RAM, con la finalidad de ilustrar los hallazgos encontrados.

c) Elaboración de mapas topográficos

Cada mapa fue realizado a mano con lápiz y terminado en tinta negra sobre papel bond blanco, escaneado y rotulado digitalmente en PowerPoint, guardando los resultados finales como imágenes JPG para su incorporación al presente trabajo, como elementos de interpretación de los hallazgos histológicos obtenidos.

G. Elaboración del árbol filogenético de la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) y la garza común (*Ardea alba*).

Un árbol filogenético es una representación esquemática de entidades biológicas que están conectadas por descendencia común, especies o grupos taxonómicos mayores, creados a partir de datos moleculares de ADN, ARN o proteínas (Mendoza, 2012).

Tanto la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) como la garza común (*Ardea alba*) comparten la misma familia, *pelicaniformes*, sus características morfológicas son similares a excepción del tamaño, sin embargo, existen organismos vivos que a pesar de ser similares no comparten una línea evolutiva que los relacione taxonómicamente. La diferenciación genética permite comparar cualquier tipo de ser viviente, lo cual nos permite diferenciar grupos taxonómicos y sus parentescos entre sí, hasta llegar incluso al origen evolutivo de las especies estudiadas (Mendoza, 2012).

En base a lo anterior y con la finalidad de clasificar el grupo de garzas ganaderas presente en Ciudad Universitaria Tulancingo, se obtuvo ADN del encéfalo de una garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) la cual fue purificada por PCR a COX I, extrayendo ADN por técnica de columnas sílice, la cual se denominó UAEH ICAP 2024 *Bubulcus ibis* COX I.

a) Extracción de material genético

El material genético se extrajo de encéfalo en parafina, la cual se desinfectó por inmersión en solución de etanol al 70% durante cinco minutos, enjuagando con agua estéril, y después se secaron sobre papel de filtro. Se tomó con una hoja de bisturí estéril una parte del tejido. Para la extracción de ADN se utilizó 5 mg de este tejido limpio. La extracción de ADN se realizó con el Kit DNeasy® Tissue (QIAGEN, Hilden Alemania) según las instrucciones del fabricante. El material genético obtenido se analizará la calidad y pureza mediante el espectrofotómetro Nanodrop One.

b) Amplificación de Material genético y búsqueda de Secuencias COX I

El DNA extraído se amplificó utilizando iniciadores específicos de especie, el fragmento del gene *COXI* se amplificó a partir de proteínas específicas. La mezcla de reacción de PCR consistió en 2 pmol de cada iniciador, 200 mM de concentración de cada desoxinucleósido trifosfato, tampón de PCR, 1 U de Taq ADN polimerasa (Invitrogen, Brasil) y de 50-100 ng de ADN de la muestra para cada PCR en un 50 µl de mezcla de reacción. Para el segundo paso de la PCR anidada se utilizaron cebadores y protocolos publicados previamente (Ivanova *et al.* 2006; Cooper *et al.* 2007) para amplificar la región de código de barras de 658 pb de COX I, utilizando la primera ampliación de PCR como plantilla. Los cebadores directos VF1 (5c-TTCTCAACCAAC-CACAAAGACATTGG-3c), VF1d (5c-TTCTCAACCAAC-CACAAAGACATTGG-3c), VF1i (5c-TTCTCAACCAACCACAARGAYATYGG-3c) y VF1i (5c-TTCTCAACCAACCAIAAIGAIATIGG-3c) se mezclaron en una proporción de 1 VF1:1 VF1d: 2VF1i. Los cebadores inversos VR1bio (5c-bio-TAGACTTCTGGGTGGCCAAAGAATCA-3c), VR1dbio (5c-bio-TAGACTTCTGGCCRAARAAYCA-3c) y VR1ibio (5c-bio-TAGACTTCTGGGTGICCAIAAICA-3c) se biotinaron y mezclaron en la misma proporción 1 VR1bio: 1 VR1dbio: 2 VR1 ibio. Los objetivos se amplificaron utilizando ADN polimerasa Htstar Taq Plus O (Qiagen, Valencia, CA, EE. UU). Cada reacción contenía 2,5 IL de tampón 10. Con MgCl₂, 50 IM de cada dATP, dTTP, dCTP y dGTP, 0,4 IM de cada mezcla de cebadores, 1 IL de producto de PCR de la rwaccion anterior, 0,5 U de polimerasa y ddH₂O para un total de 25 IL. Los parámetros del ciclado fueron 95°C durante 30s, y finalmente 72°C durante 7 min (Thiemann *et al.* 2012).

Los productos de PCR con los tamaños esperados se purificaron mediante el kit de extracción de gel QIAquick® (QIAGEN, CA). Se determinó las secuencias de nucleótidos en un secuenciador (Applied Biosystem). Las secuencias serán analizadas a través del software de Chromas lite (v.2.1.1), y alineadas utilizando MEGA v.5. Se compararon con las secuencias genéticas utilizando BLAST.

c) Secuenciación y análisis filogenético

Se realizó el procedimiento de secuenciación utilizando BigDye Terminator v 3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, EE. UU.), las ampliaciones de PCR se sometieron a una secuenciación automática utilizando un secuenciador de ADN automático (BLAST) integrando la secuencia UAEH ICAP 2024 *Bubulcus ibis* COX 1, junto con otras secuencias de *Bubulcus ibis* y *Ardea Alba* para su respectiva interpretación homóloga, en la cual, se utilizó FASTA (software de alineamiento de secuencias de ADN y proteínas) este formato, permite manipular y analizar secuencias usando herramientas de procesador de textos y lenguajes de guión, por lo cual cada secuencia se modificó para lograr una mayor precisión en los resultados, MESQUITE (Managing Molecular Data) nos permitió convertir las secuencias de formato de texto a FASTA para su posterior conversión a árbol filogenético. Para la alineación de secuencias que demuestren distintos codones, se utilizó CLUSTAL (Programa de alineación de secuencias de ADN, ARN o estructuras primarias proteicas) del cual posteriormente se obtuvo el árbol filogenético utilizando el software Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA 5.0) y el análisis de verosimilitud (ML). Se utilizó el enfoque bootstrap con 1000 réplicas para evaluar el árbol ML. Con longitudes de rama en las mismas unidades que las distancias evolutivas utilizadas para estimar los árboles filogenéticos renderizados a escala (Abdel-Gaber *et al.* 2023).

Resultados

A. Obtención de cortes del encéfalo de la garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*).



Figura 6. Encéfalos de garzas ganaderas (*Bubulcus ibis ibis*) numeradas de izquierda a derecha núm.1, 2 y 3.

a) Estructuras anatómicas del encéfalo de *Bubulcus ibis ibis*

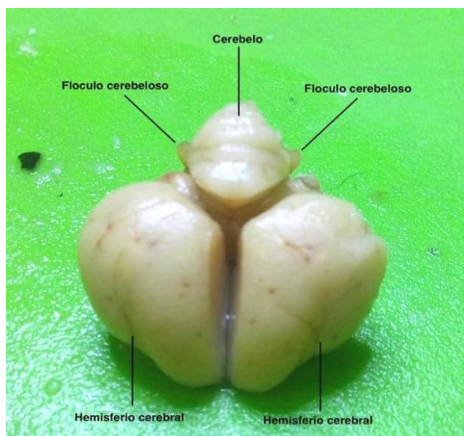


Figura 7. Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 1, vista dorsal.

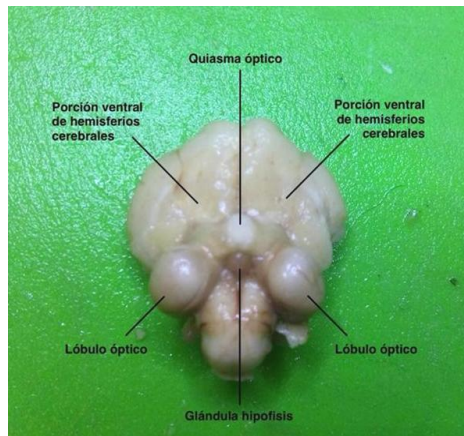


Figura 8. Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 2, vista ventral.



Figura 9. Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 1, vista ventral.

b) Secciones del encéfalo de la garza ganadera

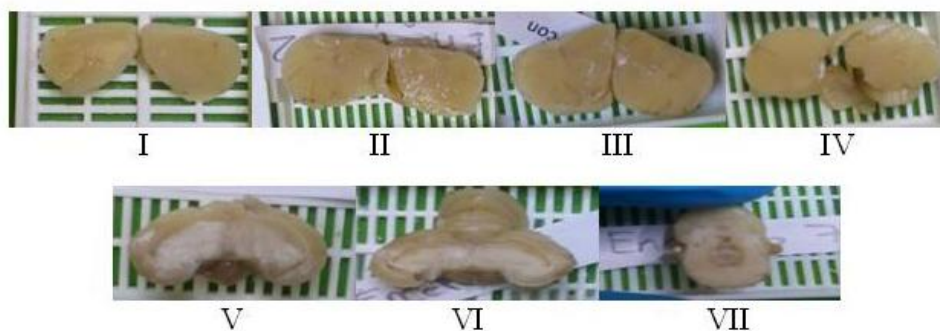


Figura 10. Encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*) núm. 1, cortes transversales.

c) Mapas topográficos de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*)

SECCION I: Porción craneal del *hiperpallium*.

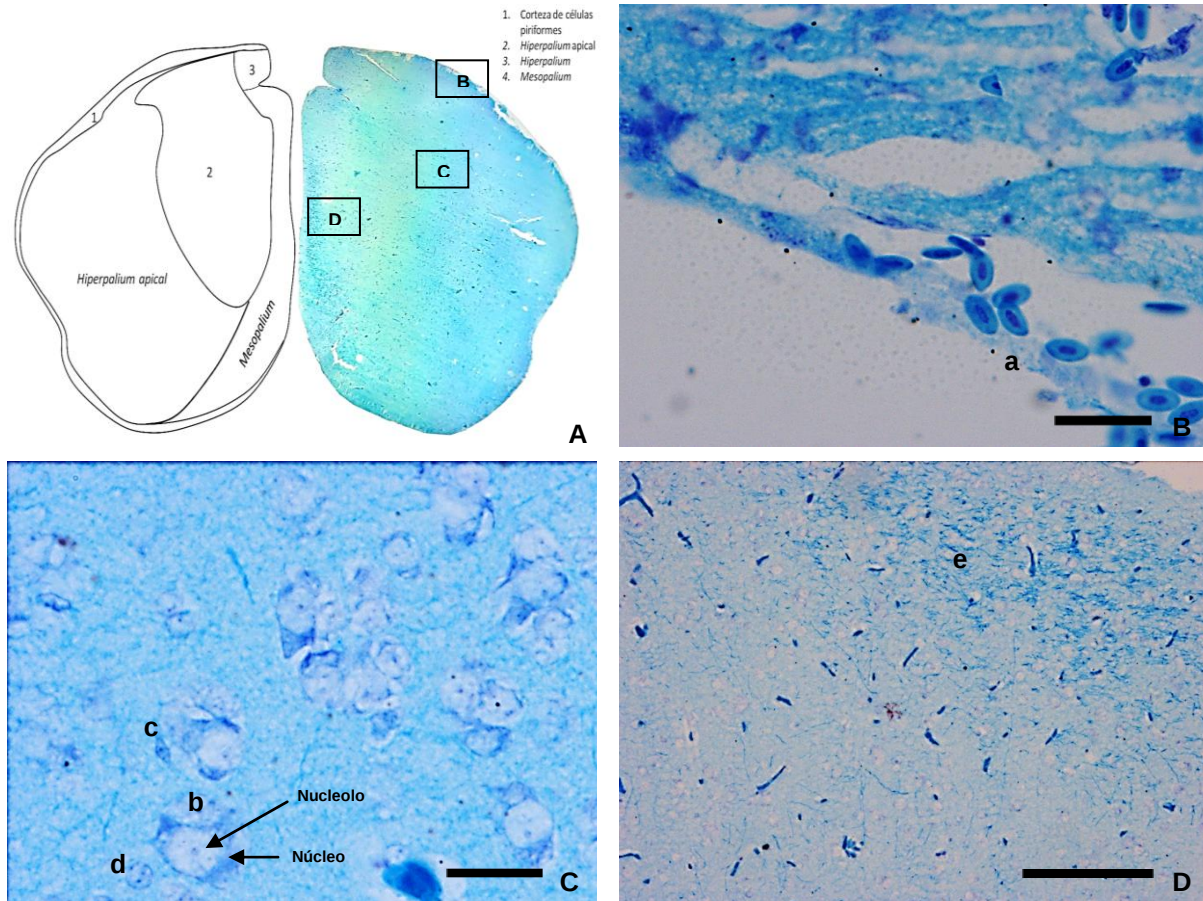


Figura 13. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. Membrana aracnoides (a). C. Agrupaciones neuronales (núcleos grises), (b) cuerpo neuronal, (c) astrogliocito, (d) oligodendrogliocito satélite. D. Neurópilo. Nótese la presencia de axones mielínicos relativamente dispersos (e). Azul luxol resistente. B y C, 400X, barra = 20 μm . D, 100X, barra= 100 μm .

La superficie tisular en esta sección es razonablemente uniforme, con grandes áreas de cuerpos neuronales dispersos y rodeados por zonas de neurópilo. No se observan con claridad regiones separadas de sustancia blanca o sustancia gris como lo descrito en mamíferos. La superficie está cubierta por la membrana aracnoides a la cual se asocian vasos sanguíneos (a). Los cuerpos neuronales (b) son de forma poliédrica con núcleo grande y nucléolo visible, asimismo, se

observan asociados astrogliocitos **(d)** y oligodendrogliocitos satélite **(c)** a algunos cuerpos neuronales. También se observan núcleos de microglía. El neurópilo es uniforme y con un aspecto granuloso. Se observa sin embargo alguna diferenciación zonal en cuanto a la presencia de axones mielínicos **(e)** relativa a la densidad de estos, es decir, en algunas zonas se observa una mayor concentración y en otras relativamente más dispersos. Esta descripción es uniforme para ambos hemisferios.

SECCION II: Porción craneal del *hiperpallium*.

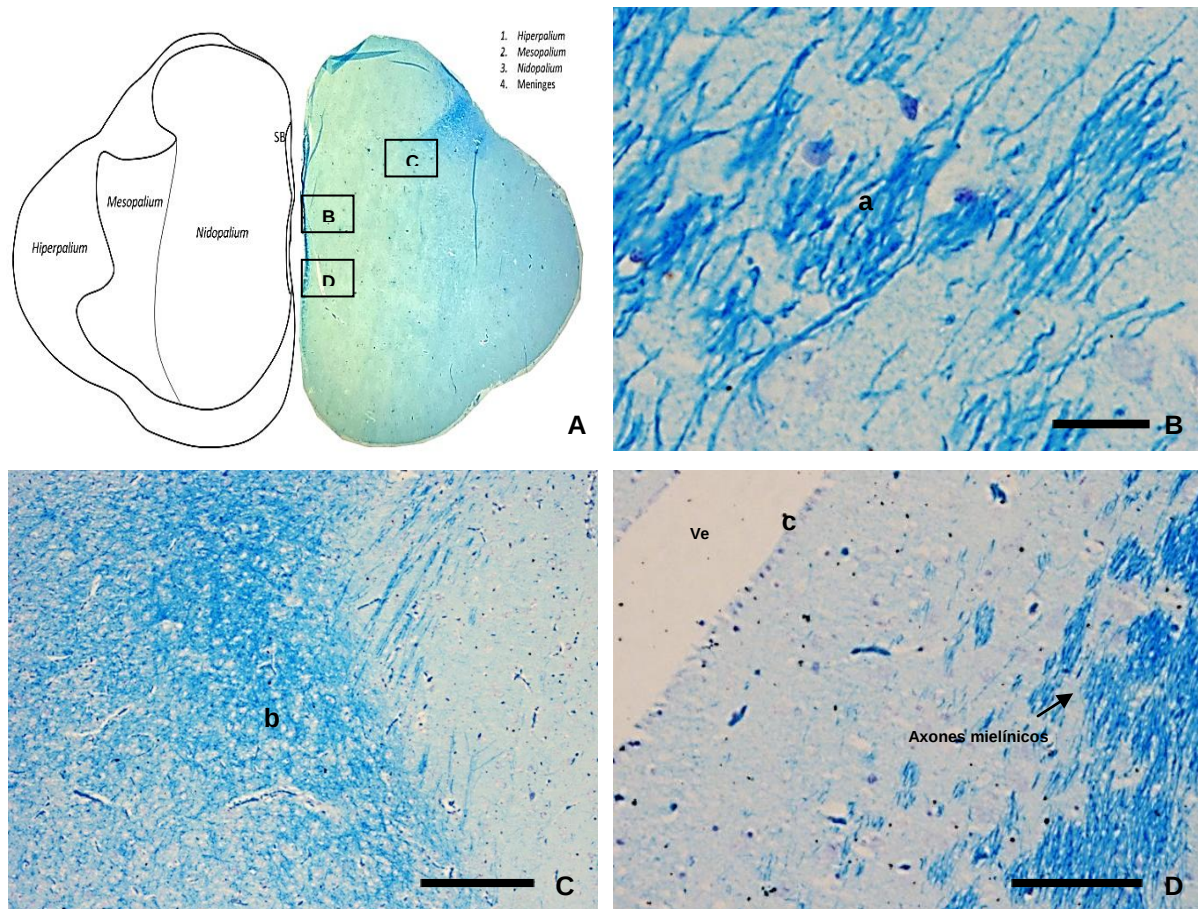


Figura 14. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. Fibras nerviosas mielínicas (a). C. Fibras nerviosas mielínicas (b). D. Ventrículo dorsal (Ve) con epitelio ependimario (c). Azul luxol resistente. B, 400X, barra = 20 μ m. C, 40X, barra = 200 μ m. D, 100X, barra = 100 μ m.

De manera semejante a la sección previa, la arquitectura tisular es relativamente uniforme en toda la extensión del corte: presencia de cuerpos neuronales poliédricos dispersos en una matriz de neurópilo de aspecto homogéneo y granular. Destaca, sin embargo, la presencia de abundantes fibras nerviosas mielínicas **(a)** presentes en la zona paramediana del corte, con relación a la fisura longitudinal que separa los dos hemisferios cerebrales, así como dorsalmente, en forma de dos estructuras cuneiformes **(b)** asociadas a las porciones laterales de cada hemisferio, asimismo, se observan dos cavidades alargadas en disposición dorsoventral en cada hemisferio, cerca de la región paramediana arriba mencionada. Estas cavidades están revestidas por un epitelio ependimario **(c)** característico (cuboide con cilios) y corresponden a los ventrículos dorsales.

SECCION III: Porción medial del *nidopallium*

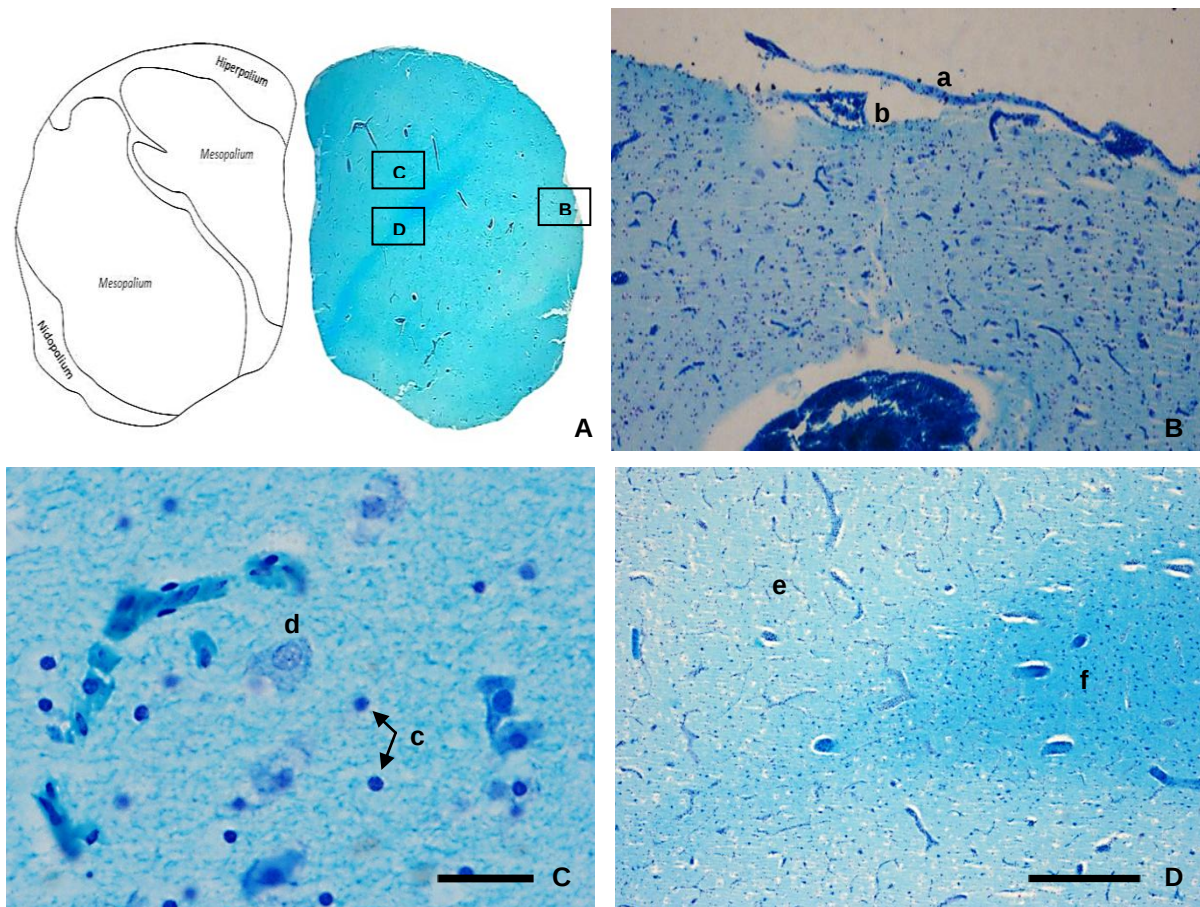


Figura 15. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. Meninges: aracnoides (a), piamadre (b). C. Núcleos de neuroglia (c) y cuerpos neuronales (d). D. *Hiperpallium* (e) y *nidopallium* (f). Azul luxol resistente. B, 100X, barra = 100 μ m. C, 400X, barra = 20 μ m. D, 40X, barra = 200 μ m.

Superficialmente se observan dos membranas meninges: aracnoides (a) y piamadre (b), la primera con vasos sanguíneos asociados y la segunda muy delgada, unida al tejido nervioso. Las regiones de este corte presentan una irrigación capilar importante, estando formadas por amplias zonas de un neurópilo fibroso con numerosos núcleos de neuroglia (c) y cuerpos neuronales pequeños de forma piriforme o estrellada (d), la distribución de los elementos mencionados es homogénea, aunque permite diferenciar a pequeño aumento las zonas de referencia (*hiperpallium*, *mesopallium*, *nidopallium*). En cada lóbulo se observa una zona alargada que separa las regiones superior e inferior del *mesopallium* (e) y que constituye el *hiperpallium* (f) esta zona está formada por abundantes cuerpos

neuronales pequeños y por lo tanto se observa más pigmentada, coincidiendo con la pigmentación más marcada del propio *hiperpallium* en la región dorsal de cada hemisferio, que tiene características tisulares similares.

SECCION IV: Sección medial de *hiperpallium* y *mesopallium*

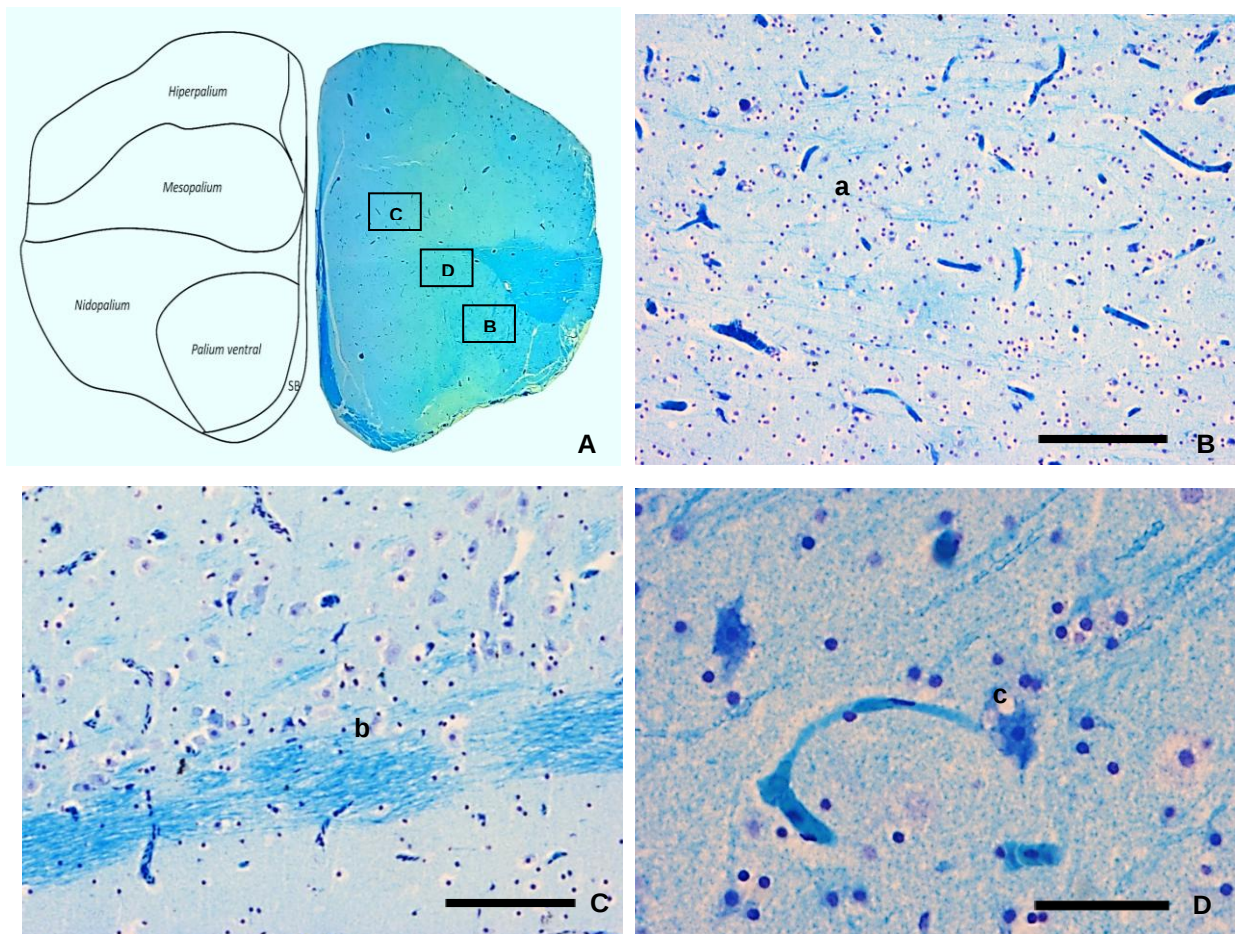


Figura 16. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. *Hiperpallium*. Azul luxol, 100X. Barra = 100 µm. C. *Mesopallium*. Azul luxol, 100X. Barra = 100 µm. D. *Nidopallium*. Azul luxol, 40X. Barra = 200 µm.

Se observa superficialmente las membranas meninges piamadre y aracnoides, de forma semejante a lo escrito anteriormente. La sección correspondiente al *hiperpallium* presenta un neurópilo homogéneo, muy irrigado, con gran cantidad núcleos de neuroglia (**a**) y escasos cuerpos neuronales; la región inmediatamente inferior (*mesopallium*) presenta características semejantes, aunque se observa una mayor cantidad de fibras nerviosas mielínicas (**b**). Con relación a la región del *nidopallium*, localizada en la parte central de cada hemisferio, en forma de “cuña” lateral, está constituida por numerosos cuerpos neuronales de forma piramidal y estrellada (**c**) dando un aspecto más pigmentado a esta región.

SECCION V: *Nidopallium* y *mesopallium*

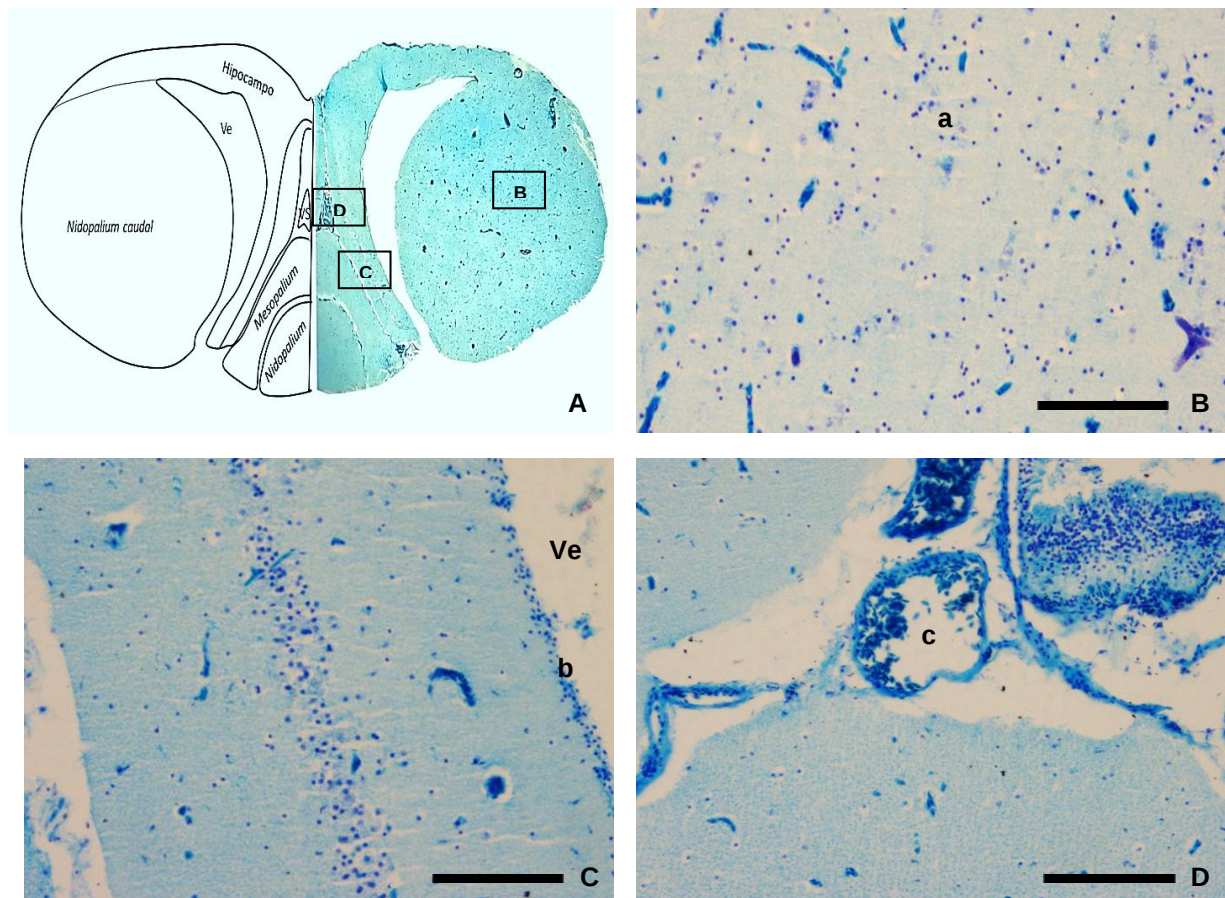
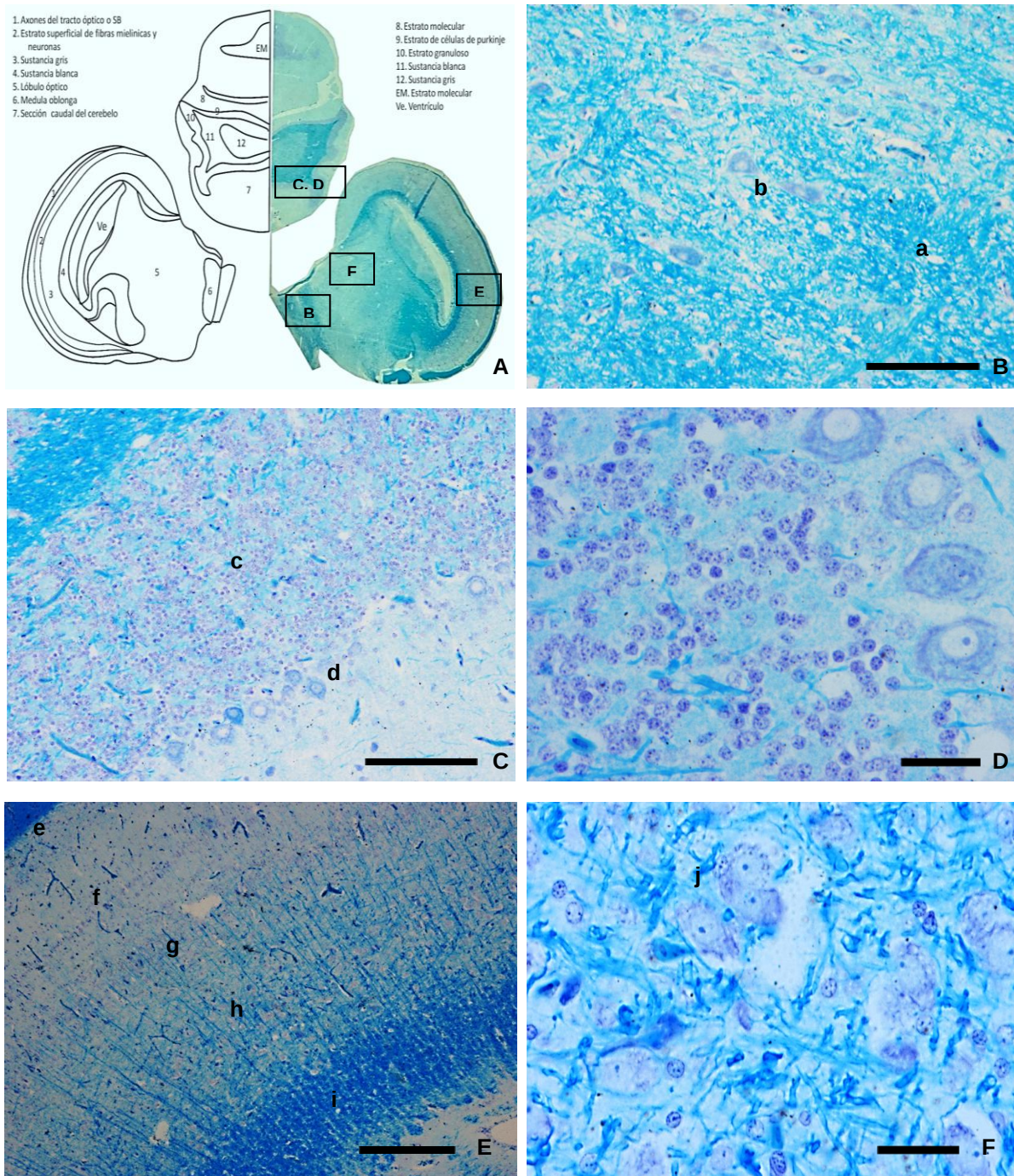


Figura 17. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. *Nidopallium* caudal. Nótese la presencia de gran cantidad de núcleos de neuroglia presentes. C. Hipocampo. Nótese la cavidad ventricular (Ve), revestida por su epitelio ependimario (b). D. Plexos coroideos (c). Azul luxol resistente. B, C y D, 100X, barra = 100 μ m.

Superficialmente se observan las membranas meninges aracnoides y piamadre de acuerdo con lo descrito anteriormente. Las secciones que componen este segmento (*nidopallium* y *mesopallium*) se observan muy semejantes, con gran cantidad de células de neuroglia **(a)** y escasos cuerpos neuronales en un neurópilo de aspecto homogéneo. La región correspondiente al hipocampo tislularmente es muy similar, pero presenta una cavidad ventricular con un epitelio endimario **(b)** convencional y plexos coroideos asociados **(c)**.

SECCION VI: Médula oblonga y lóbulos ópticos



En este corte se observa una porción de transición entre la médula oblonga (rostral) y el cerebelo (caudal). En la parte central del área de observación se observa una zona rica en fibras nerviosas mielínicas (sustancia blanca) **(a)** que rodean a una gran acumulación de cuerpos neuronales (núcleos grises) **(b)**. Lateralmente a esta zona (a la izquierda y a la derecha) se observa una acumulación importante de neuronas, constituyendo un estrato granular **(c)** y más hacia lateral se observan acumulaciones importantes de neuronas piriformes **(d)**, formando desde una, hasta varias capas (probablemente por efecto de corte, debido al plegamiento de la estructura). Finalmente, en los extremos laterales se observa una capa molecular de grosor variable, aunque en lo general bastante ancha.

En este mismo corte situado en forma ventrolateral a la región descrita, se localizan dos grandes masas de tejido correspondientes a los lóbulos ópticos. Cada uno de ellos está constituido de la siguiente forma: una zona superficial de grosor variable constituido por numerosas fibras nerviosas mielínicas o estrato óptico **(e)**, acomodadas en una sola dirección, debajo de estas se encuentra una zona de sustancia gris que parece dividirse a su vez en dos capas, una con escasos cuerpos neuronales **(f)** y debajo de esta, otra cuyos cuerpos neuronales se hacen más abundantes de forma redondeada o bien piramidal **(g)**, entre estos se observa un estrato superficial de fibras nerviosas y neuronas que parecen dos líneas, sin embargo, debido a la superposición del corte se aprecia más de una línea de células, además de observar cada vez más fibras nerviosas dispuestas en forma paralela entre ellas y que se hacen cada vez más abundantes conforme se profundiza el tejido (estrato gris central) **(h)** hasta llegar a una gran zona central de sustancia blanca **(i)** con algunos cuerpos neuronales todavía presentes; en la parte central de la estructura se observan también acúmulos de cuerpos neuronales constituyendo núcleos grises **(j)**.

SECCION VII: Médula oblonga y cerebelo

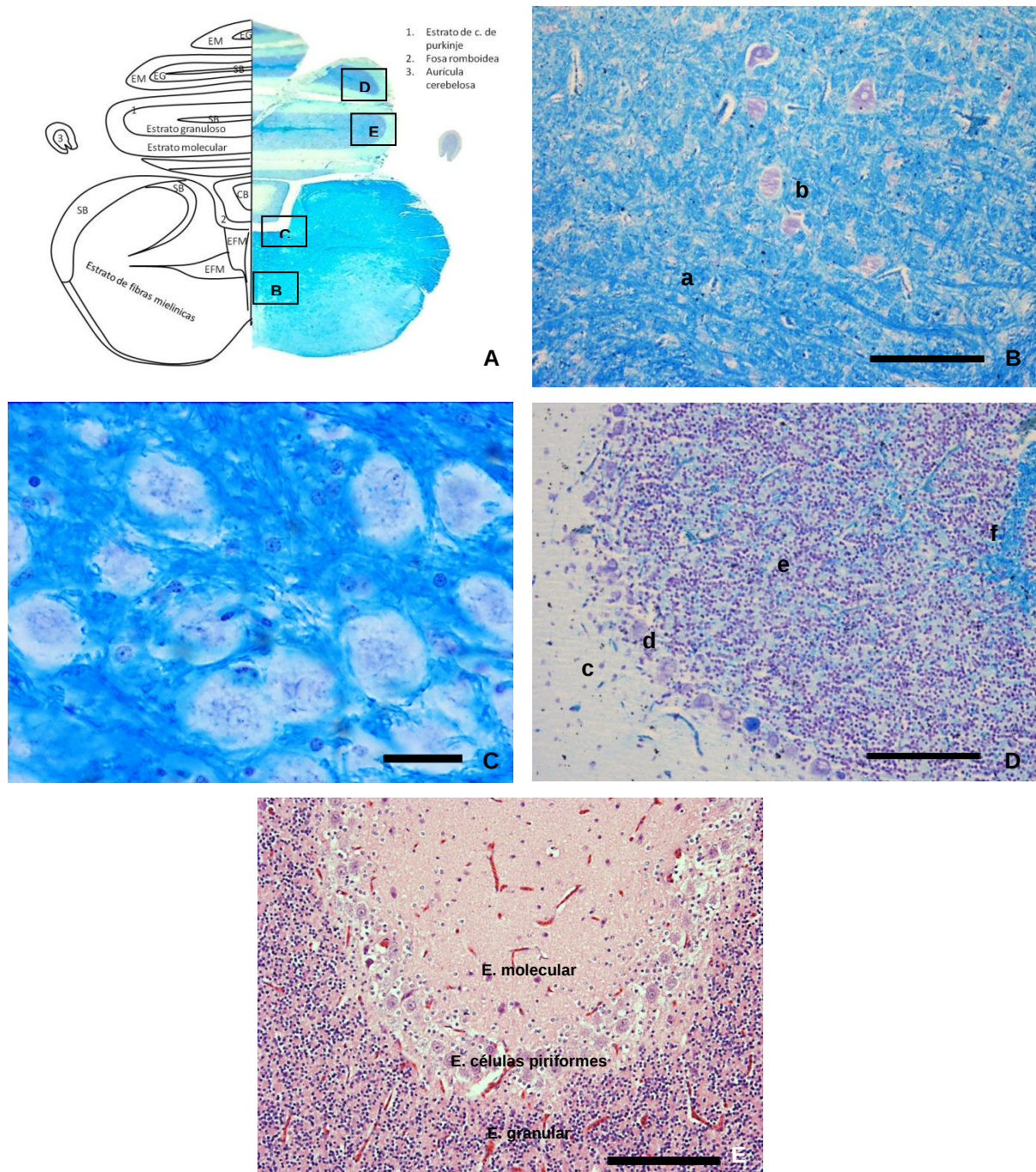


Figura 19. A. Mapa topográfico del corte transversal. **B.** Médula oblonga. (a) fibras nerviosas mielínicas, (b) núcleos grises. **C.** Núcleos grises (acercamiento). **D.** Cerebelo. (c) Estrato molecular, (d) estrato de neuronas piriformes, (e) estrato granular y (f) sustancia blanca. **E.** Cerebelo. A, B, C y D, azul luxol resistente. E, H-E. B, D y E, 100X. Barra = 100 μ m. C, 400X. Barra = 20 μ m.

La médula oblonga se observa ventral al cerebelo y se caracteriza por formar un conglomerado importante de elementos de sustancia blanca (fibras nerviosas mielínicas) **(a)**, entre las cuales se localizan varios núcleos grises tanto centralmente como en la periferia **(b)**. Por su parte el cerebelo presenta las capas características descritas para este órgano, una capa molecular superficial **(c)**, un estrato de neuronas piriformes que, en algunas zonas, por efecto de corte se aprecia constituido por varias capas de neuronas **(d)**, un estrato granular bien desarrollado **(e)** y una zona central de sustancia blanca **(f)**, la cual no se observa muy ramificada dado que es la parte inicial del órgano (hacia rostral) y su desarrollo general es menor que el observado en el cerebelo de los mamíferos.

SECCION VIII: Médula oblonga y cerebelo

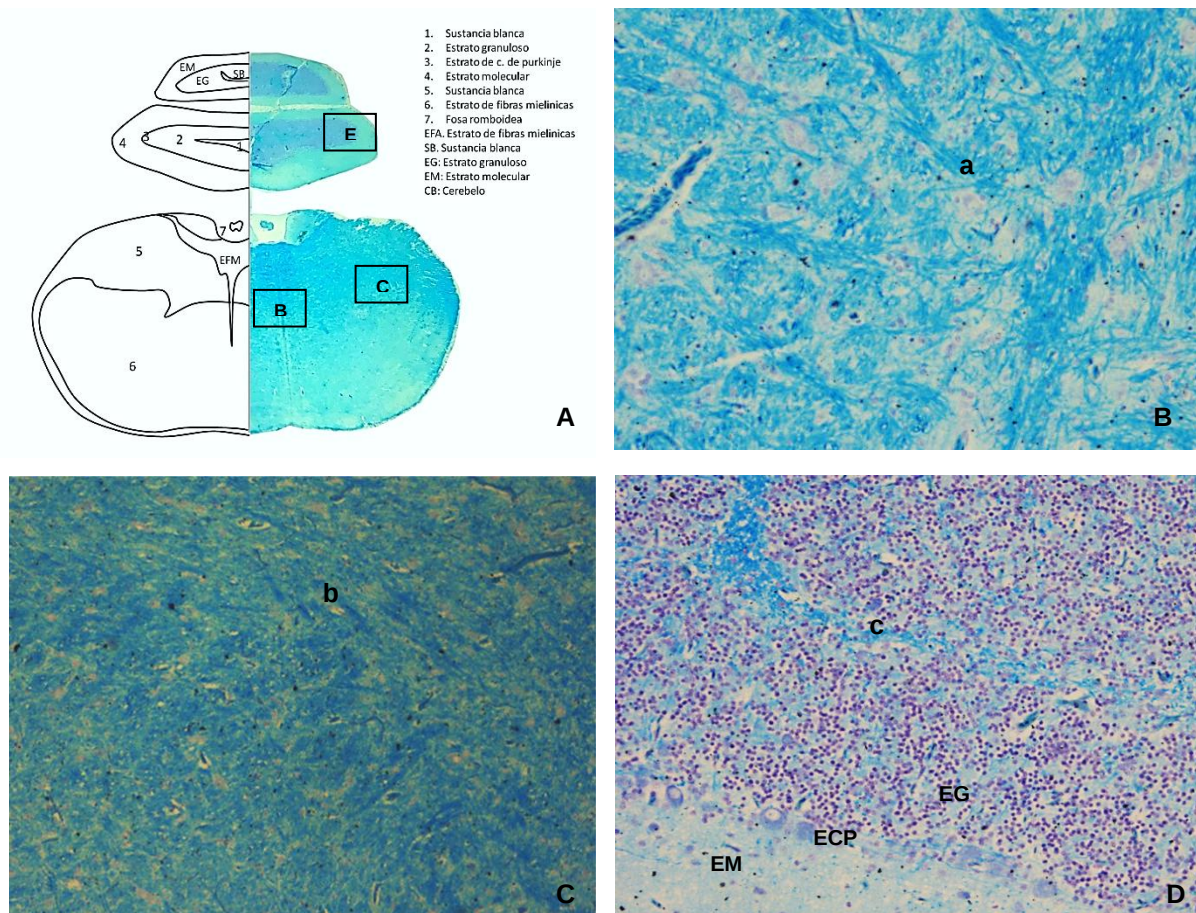
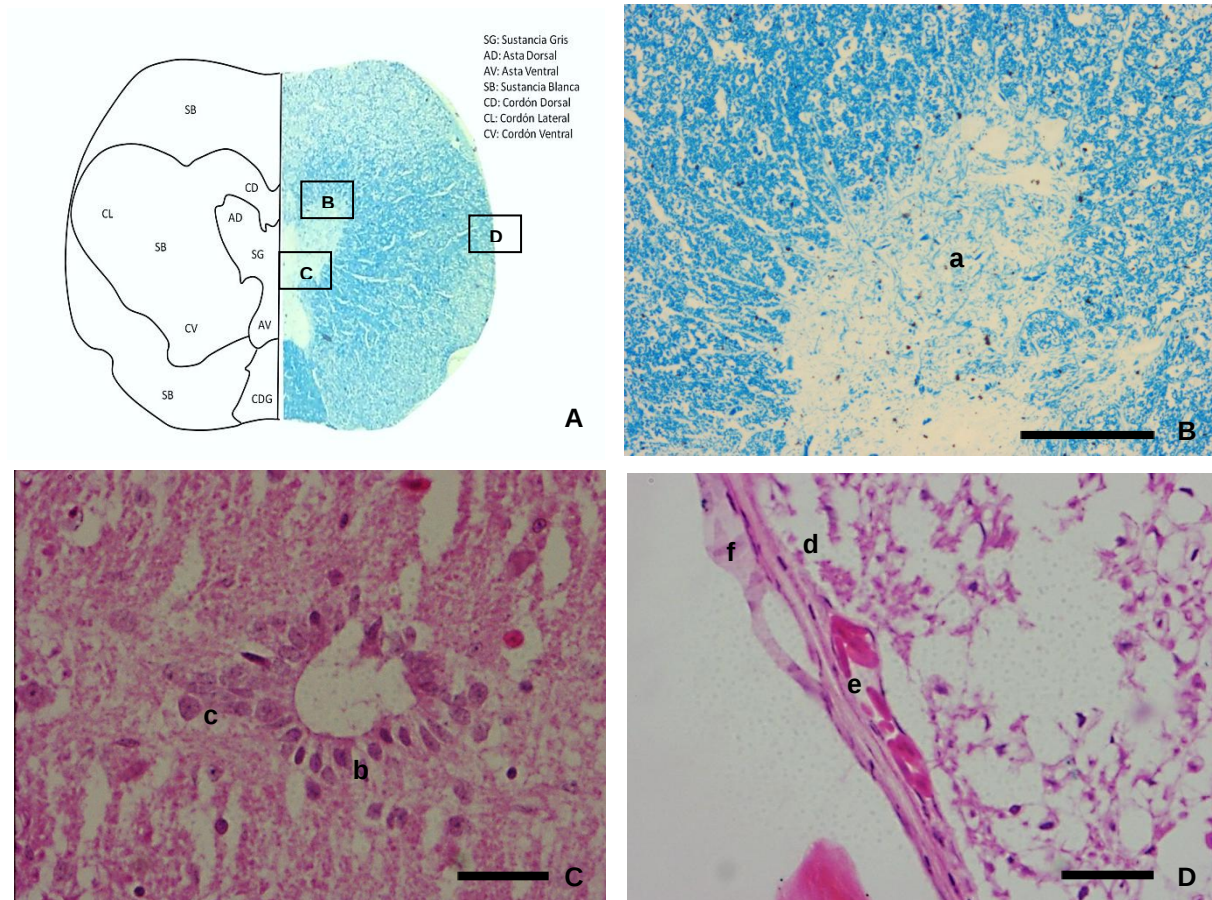


Figura 20. A. Mapa topográfico del corte transversal. B. Médula oblonga. (a) fibras nerviosas mielínicas. C. Médula oblonga. Núcleos grises (b). D. Cerebelo y sus estratos característicos (EM estrato molecular, ECP estrato de células piriformes, EG estrato granular), (c) sustancia blanca. Azul luxol resistente. B y C, 100X. Barra = 100 μ m. D, 40X. Barra = 200 μ m.

En este corte, de manera semejante a lo descrito en el corte VII, se observa la médula oblonga ventralmente y al cerebelo dorsalmente. La medula oblonga presenta una gran concentración de fibras nerviosas mielínicas ocupando casi toda su estructura **(a)**, siendo la proporción de núcleos grises menor que en el corte previo (o al menos con áreas de menor tamaño). Topográficamente la sustancia blanca ocupa una región central que se desplaza dorsalmente hacia lateral, formando una especie de letra T y ventralmente se observan dos medias lunas de fibras nerviosas más dispersas y con los núcleos grises mencionados **(b)**.

Con relación al cerebelo, este se observa compactado en dos bloques, dorsal y ventral con sus tres capas descritas previamente y pequeñas regiones discretas de sustancia blanca que no se ramifica **(c)**.

SECCIÓN IX: Médula espinal.



El corte observado corresponde a la región cervical, se observa una zona central que forma unas alas de mariposa pequeñas y poco desarrolladas, comparadas con las descritas en mamíferos **(a)**, con un canal central característico revestido por ependimocitos **(b)** y presencia de cuerpos neuronales pequeños **(c)**. Con relación a la capa externa de sustancia blanca, esta presenta sus axones mielínicos cortados

transversalmente. Periféricamente se observa la piamadre adherida al tejido nervioso **(d)** y la aracnoides muy unida a ella, con su plexo capilar característico **(e)**. Se observan algunos fragmentos de la duramadre **(f)**.

d) Mapa topográfico de la garza ganadera (corte paramediano).

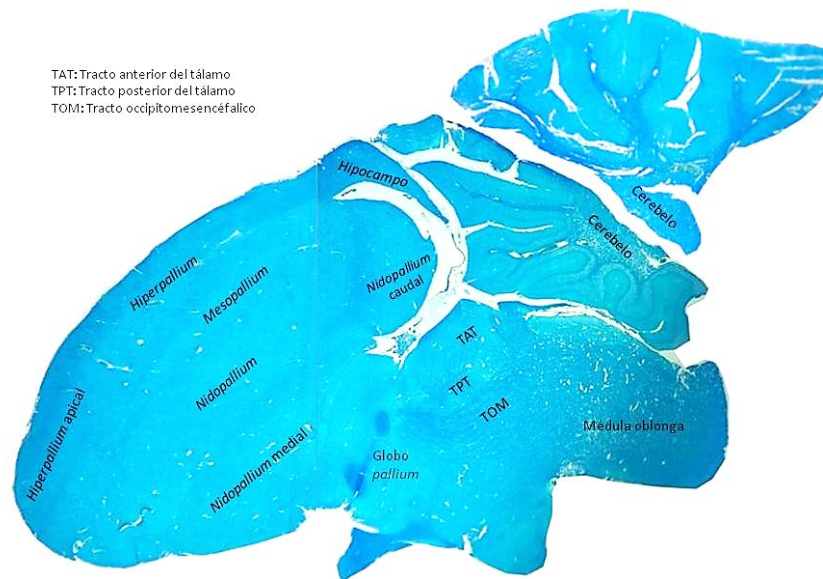


Figura 22. Corte paramediano de encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*).

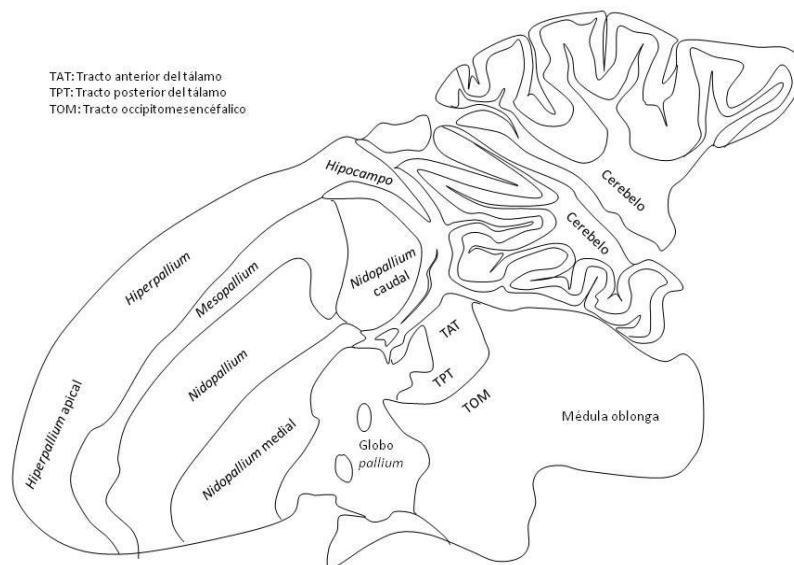


Figura 23. Mapa topográfico de corte paramediano de encéfalo de garza ganadera (*Bubulcus ibis ibis*).

e) Esquematización de árbol filogenético

Los resultados obtenidos mostraron una homología del 100% con *Bubulcus ibis* y 94% con *Ardea alba*.

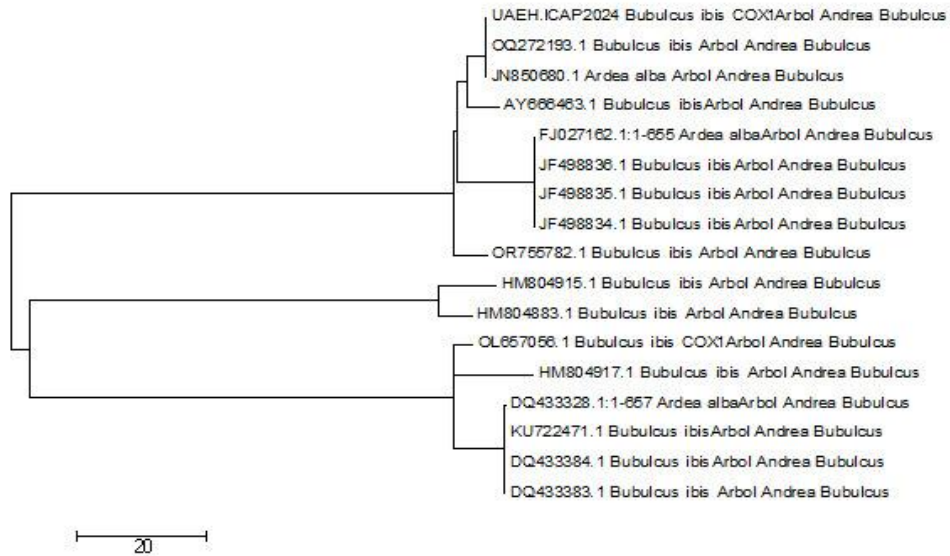


Figura 24. Árbol filogenético *Bubulcus ibis ibis*, esquema tradicional (Sosa C. 2024).

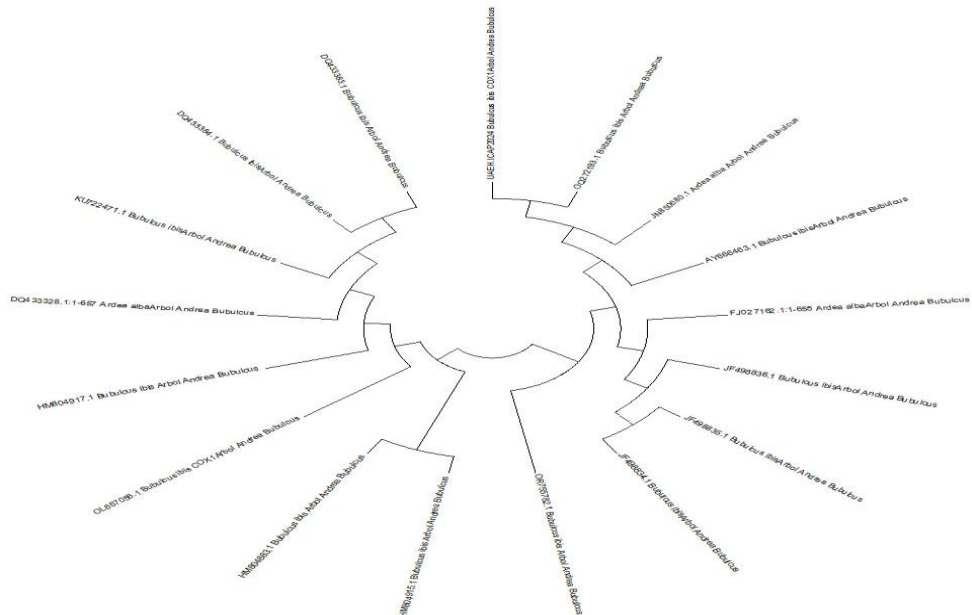


Figura 25. Árbol filogenético *Bubulcus ibis ibis*, esquema circular (Sosa C. 2024).

Discusión y Conclusiones

A. Histología y organografía topográfica del sistema nervioso central de *Bubulcus ibis ibis*.

a) Regionalización del encéfalo de las aves con relación a los mamíferos y aspectos relativos del encéfalo de *B. ibis ibis*.

Estudios neuroanatómicos clásicos proponen que las aves y los mamíferos comparten principalmente estructuras subpaliares. De estas, el *stratum* es mucho más grande y abarca la mayor parte del encéfalo. Por lo tanto, se entendía que el encéfalo de las aves estaba dominado por el *stratum*, además de que solo tenía un pequeño *pallium* medial (hipocampo) y un *pallium* lateral (amígdala). Se asumía que el *pallium* dorsal (neocórtex) estaba ausente en las aves (Güntürkün *et al.*, 2016).

Sin embargo, estudios posteriores demostraron que los patrones de conectividad sensorial y motora del encéfalo aviar son similares a los de los mamíferos, de tal forma que se ha propuesto que son los tipos de neuronas corticales (y no las áreas cerebrales), los que son homólogos y, por lo tanto, relacionados a un último ancestro común (Karten *et al.*, 1969), dando pie a lo que se denomina la hipótesis de núcleo a capa, la cual sugiere que el último ancestro común de aves y mamíferos poseía un *pallium* dorsal nuclear que ya contaba con todas las conectividades que caracterizan los prosencéfalos de aves y mamíferos modernos. Cuando esta entidad encefálica ancestral se transformó posteriormente en una neocorteza estratificada en los mamíferos, mantuvo la conectividad de la red nuclear ancestral (Jarvis, *et al.*, 2005).

La corteza prefrontal (CPF) de los mamíferos se asocia con la generación de funciones ejecutivas, es decir, un conjunto de diversas funciones cognitivas, que abarcan desde la memoria de trabajo hasta la planificación. El equivalente funcional de la CPF en las aves es el *nidopallium* caudolateral (NCL) (Jarvis, *et al.*, 2013). Las neuronas del *nidopallium* caudolateral codifican operaciones cognitivas

como la toma de decisiones, el seguimiento de reglas, la codificación de valores subjetivos y la asociación de resultados con acciones (Starosta *et al.*, 2013).

Aunque la gran mayoría de los hallazgos en neuroquímica, conexiones y funciones muestran que la CPF y el NCL son muy similares, dado que anatómicamente se ubican en extremos opuestos del encéfalo y que al menos algunos patrones de expresión genética podrían contradecir una homología de campos, el NCL y el CPF posiblemente representan un caso espectacular de convergencia evolutiva. Así, campos no homólogos dentro de un *pallium* homólogo convergieron en áreas prefrontales de mamíferos y aves, desempeñando funciones muy similares. De este modo, ambas áreas adquirieron la capacidad de generar las mismas funciones cognitivas utilizando propiedades celulares similares (Montiel, *et al.*, 2015).

El NCL de las aves y el CPF de los primates son funcionalmente análogos, no homólogos. Por lo tanto, estas dos estructuras no derivan de una ascendencia común, sino que representan el resultado de dos trayectorias evolutivas completamente independientes y convergentes (Güntürkün *et al.*, 2016).

La cuestión de hasta qué punto los cerebros de aves y mamíferos convergieron durante la evolución de capacidades cognitivas similares es difícil de responder, ya que nos obliga a diferenciar primero entre caracteres neuronales que son similares debido a la homología (ancestro común) o a la homoplasia (convergencia funcional), por lo tanto, los caracteres homólogos pueden tener apariencias muy diferentes (Güntürkün *et al.*, 2016).

Los hallazgos mostrados en este trabajo muestran las regiones del encéfalo aviar *hiperpallium*, *mesopallium* y *nidopallium* bien diferenciados, y en el caso de este último, podemos ver un desarrollo amplio con campos neuronales bien delimitados y regionalmente amplios, característicos de un ave capaz de resolver problemas y tomar decisiones que le permitan desenvolverse de manera eficaz en su hábitat, de acuerdo con lo arriba expuesto.

b) Regionalización del encéfalo de *B. ibis ibis* con relación a otras aves y elementos morfológicos de adaptación evolutiva con relación a su modo de vida (acuática) y migración.

Un predictor de la inteligencia aviar, se basa en el tamaño del *mesopallium* y *nidopallium*. El *mesopallium* contiene áreas primarias multimodales para el procesamiento de información y el *nidopallium* posee campos anatómicos específicos y necesarios para mediar la conducta y manipulación de herramientas a partir de la integración de información visual y sensitiva somática (Puelles, 2015). Ambas deben considerarse como formaciones corticales con funciones en conductas complejas, tales como la resolución de problemas mediante el uso de herramientas, reconocimiento espacial y almacenaje de alimento (González *et al.* 2014).

Las aves pueden fabricar y usar herramientas, utilizar conocimientos para resolver problemas, hacer inferencias acerca de las relaciones causa-efecto, reconocerse ante un espejo e incluso planificar las necesidades futuras o bien, hacer gala de otras habilidades cognitivas que antes se consideraban exclusivamente del dominio de los primates. Las neuronas de las aves son mucho más pequeñas, se encuentran densamente empaquetadas y en un mayor número que en los mamíferos; en aves cantoras y loros, por ejemplo, tienen un gran número de neuronas en el *pallium*, compatible con las funciones cognitivas superiores, por lo cual estas mismas aves, demuestran un desarrollo cognitivo superior (Rodríguez; Herculano-Houzel, 2019).

Según Orosz (2007), las aves no están limitadas únicamente a un nivel instintivo de función, es decir, aunque el cerebro de las aves parece diferente anatómicamente al de los mamíferos, sus funciones siguen siendo similares. Se pensaba que la capacidad de interpretar y pensar en un contexto social residía sólo en la *neocorteza*, por lo que se creía que las aves tenían, en el mejor de los casos, una capacidad limitada para tener esas facultades de nivel superior (Orosz *et al.* 2007).

En el caso de *B. ibis ibis*, el amplio desarrollo del *nidopallium* y de los lóbulos ópticos manifiesta una excelente capacidad de orientación espacial que, en términos conductuales documentados previamente en este trabajo, dan evidencia anatómica e histológica de su capacidad migratoria a grandes distancias intracontinentales.

B. ibis ibis pertenece a un grupo amplio de aves acuáticas migratorias, las cuales, para llevar a cabo esta actividad, deben enfrentar retos físicos y fisiológicos, por lo que se han adaptado para volverse más resistentes y tolerantes en sus requerimientos ecológicos y metabólicos, han modificado su conducta y pueden alimentarse de una mayor variedad de recursos (Berlanga *et al.*, 2009). Las aves acuáticas que migran en invierno a México, Centro y Sudamérica, lo hacen porque en sus lugares de origen los lagos o cuerpos de agua se congelan, además de que la actividad agrícola y ganadera baja en esta época, así, se reduce la disponibilidad de semillas e insectos propios de su alimentación (Vargas, 2023).

Como fenómeno biológico, los tipos de migración se definen en función de sus características relacionadas a la etapa fisiológica, temporalidad u orientación geográfica. Para el caso de las aves, se clasifica el fenómeno migratorio de la siguiente forma: a) migración altitudinal, asociada al cambio de elevación de la especie; b) migración horizontal, característica de aves acuáticas como *Bubulcus ibis ibis*, siguiendo regímenes de lluvia y sequía; c) migración latitudinal, que implica desplazamientos entre continentes (Ocampo, 2010; MAVDT & WWF, 2009).

B) Árbol filogenético de *Bubulcus ibis ibis*.

Un árbol filogenético es una hipótesis sobre las relaciones evolutivas, para construirlo es necesario utilizar caracteres que sean indicadores fiables de una ascendencia común. Se utilizan caracteres homólogos de diferentes organismos que se parecen, porque fueron heredados de un antepasado común que también poseía ese carácter (Berkeley UOC, 2015).

El naturalista Ernst Hückel describía las relaciones entre diferentes organismos en diagramas de árbol, únicamente a partir de datos morfológicos, hoy en día, la mayoría de árboles filogenéticos se crean a partir de datos moleculares ya sea ADN, ARN o proteínas. Se tiende a usar ADN cuando se analizan especies cercanamente emparentadas, porque proveen mayor información (las cadenas de ADN son más largas que las cadenas de aminoácidos); mientras que las secuencias de aminoácidos son usados para análisis filogenéticos de especies más lejanamente emparentadas (Mendoza, 2012).

La importancia de un árbol filogenético yace en la topología, es decir, cómo están unidas las ramas o el patrón de ramificación, lo que representa la relación evolutiva entre los distintos taxones, mientras más ancestros comunes comparten dos taxones en exclusión de otros, se encuentran más cercanamente emparentados (Mendoza, 2012).

En la búsqueda de nuevos caracteres que pudieran ser utilizadas como buenos evaluadores de la filogenia, han sido integrados los recientes avances de las técnicas de estudio de la “anatomía comparada” de proteínas y ácidos nucleicos al análisis de algunos problemas sistemáticos particulares en las aves, e inclusive a tratar de definir la filogenia de los grupos mayores (Navarros,1988).

Las primeras aportaciones en este campo fueron en el sentido de determinar el grado de parentesco entre poblaciones (Mendoza, 2012).

El objetivo del proceso de diferenciación filogenética de *B. ibis ibis* se basó inicialmente en sus características morfológicas, pero presentó algunos inconvenientes, ya que comparte similitudes con otras garzas, como *Ardea alba*, *Egretta thula*, *Mesophonyx intermedia* o *Endocimus albus*, así como características como el tipo y época del año de migración y el hábitat, además de la taxonomía. Por este motivo fue que se optó por el estudio genético. Los resultados obtenidos mostraron una homología del 100% con *Bubulcus ibis* y 94% con *Ardea alba*, un indicativo de que *B. ibis ibis* tiene un parentesco mucho mayor con la garza blanca (*A. alba*), a pesar de que esta última es de un tamaño mucho mayor, considerando, que tendría mayor homología con garzas más pequeñas.

La principal aportación de este estudio fue brindar certeza de que la especie estudiada fue plenamente identificada.

El hecho de que las aves vivan en un nicho ecológico aéreo y cambiante plantea necesidades energéticas, lo que parece haber promovido la aparición convergente del metabolismo de sangre caliente (endotermos) en aves y mamíferos. La existencia de comportamientos flexibles se transformó en un mecanismo clave para lograr mayor ajuste “darwiniano”, lo cual presumiblemente impulsó una relativa tele-encefalización. Entre las primeras consecuencias de este hecho estarían las complejas secuencias de comportamiento dedicadas a la optimización de la función aislante del plumaje y del pelaje, el acicalado, que en las aves es aún más exigente que en los mamíferos, porque las plumas también tienen una función esencial en el vuelo; el vuelo a largas distancias durante la migración o durante el retorno al entorno habitual requiere habilidades de navegación, aún no entendidas totalmente, pero que ciertamente implican procesos cognitivos que dependen marcadamente de la experiencia previa, asimismo, las complicadas estrategias reproductivas de incubación y lactancia surgen de la necesidad de que la cría alcance la independencia con un cerebro demasiado voluminoso como para madurar dentro del huevo o del útero, y, a la vez, plenamente funcional (Delius *et al.*, 2001).

La evolución funciona para adaptar progresivamente a que cada especie se adapte a diferentes hábitats, siempre que la adaptación no sea ralentizada por la selección conservadora que pueda producir el entorno intragenómico, como la llegada de especies invasoras o elementos humanos que alteren el ecosistema (Delius *et al.*, 2001).

Referencias

1. Acha, P.N. y Szyfres, B. (2001). Zoonosis y enfermedades transmisibles comunes al hombre y a los animales. Publicación científica. 354. Organización Mundial de la Salud. Washington, D.C
2. Alfonso P. (2010). Amenazas y oportunidades de reducción de riesgos por virus influenza en la interfase animal hombre, Artículo reseña, Rev. Salud Anim. Vol. 32 No. 1, 1-10 pp. Dirección de Salud y Producción Animal, Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Cuba
3. Arteaga A., Izquierdo M., Sierra M.J. y Amela C. (2006). Medidas de vigilancia y contención de la influenza aviar en aves. Implicaciones para la salud pública. Rev. Esp. Salud Publica vol.80 no.6 Madrid. ISSN 2173-9110.
4. Berlanga H. y Rodríguez V. (2009). Las aves migratorias: aprueba de muros. Revista: CONABIO. Ciencia ciudadana. Vol.6 No.6. https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/ciencia-ciudadana/documentos/naturalia_aves.pdf
5. Cooper JK, Sykes G, King S, et al. Species identification in cell culture: a two-pronged molecular approach. In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal. doi: 10.1007/s11626-007-9060-2.
6. Contreras, A. Gómez Martín, A. Paterna, J. Tatay Dualde, M. Prats van der Ham, J.C. Corrales, C. de la Fe & A. Sánchez. (2016). Papel epidemiológico de las aves en la transmisión y mantenimiento de zoonosis. Revista científica y técnica, Vol. 35. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/03/02112016-00082-es-contreras.pdf>
7. Contreras E. (2016). “Estudio de un gremio de aves acuáticas en un Petén de la costa norte de Yucatán durante la temporada de nortes”, Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB ECOLOGIA/Tesis concluidas files/tesis_esteban.pdf
8. Delius D, y Godoy A. (2001). Neuropsicología cognitiva; Los procesos cognitivos de las aves y sus diversos orígenes. <https://kops.uni-konstanz.de/server/api/core/bitstreams/5cb42f0a-a555-433e-be83-b6f3b6825f67/content>
9. Díaz C. (2010). Perfil clínico y epidemiológico de la influenza A H1N1 en el Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo. Acta Med Per 27(2).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172010000200002

10. Dyce, K; Sack, W & Wensing, C. (2010). Anatomía Veterinaria. México: Manual Moderno.
11. Eurell J., Frappier B. y Dellmann H. (2006). Dellmann's Textbook of Veterinary Histology. Sixth edition. Nervous Tissue. Pp. 91-115. ISBN13. 9780781741484.
12. Gaber A., Kamel R., Maher S., Fergani Y., Baghdadi H. y Abdel R. (2023). Morphological and molecular approaches of the nematode parasite *Desportesius invaginatus* (Acuariidae) infecting the cattle egret *Bubulcus ibis* (Ardeidae). Journal of King Saud University – Science, Volume 35, Issue 1. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018364722005997>
13. García C. G., Ortiz T., Pichardo M.R y Nieto J.L. (2016). Anatomía de las aves domésticas, SBN 978-607-02-7609-5. Universidad Autónoma de México.
14. Gázquez A. y Blanco A. (2014). "Tratado de histología Veterinaria", Cap. 8, Tejido Nervioso. MASSON S.A, ISBN 84-458-1413-3, Pp159-193. Barcelona, España.
15. González N.V y Barbeito G. C. (2014). Histología de las aves, Cátedra de Histología y Embriología. Editorial de la Universidad de La Plata, 47 N°. 380,. E-book ISBN 978-950-34-1088-2. La Plata, Argentina.
16. Güntürkün, O. y Bugnyar, T. (2016). Cognition without Cortex. Trends in Cognitive Sciences, CELLPRESS, 20(4), 291–303. doi:10.1016/j.tics.2016.02.001
17. Hernandez S., Hernández G., González D., Contreras S., Castillo J.A. y Ramírez L. (2020). Observaciones importantes de aves acuáticas en el Pacífico central mexicano Huitzil, vol. 21, núm. 1, Sociedad para el Estudio y Conservación de las Aves en México, A.C. (CIPAMEX) DOI: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.21.1.412>
18. Horst E., König R. y Korbel Hans-Georg L. (2016). Anatomía Aviar, Libro de texto y atlas en color. ISBN 978-1-910455-60-9. Alemania.
19. Ivanova N., Dewaard J. y Hebert P. (2006). An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA. Mol Ecology Notes. 2006;6:998–1002. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x>

20. Jarvis E. *et al.* (2013). Global view of the functional molecular organization of the avian cerebrum: Mirror images and functional columns, Vol. 521, Issue 16. doi.org/10.1002/cne.23404
21. Jarvis, E., Güntürkün, O., Bruce, L. *et al.* (2005). Avian brains and a new understanding of vertebrate brain evolution. Nat Rev Neurosci 6, 151–159. doi: org/10.1038/nrn1606
22. Karten J.H. (1969) The organization of the avian telencephalon and some speculations on the phylogeny of the amniote telencephalon, Comparative and Evolutionary Aspects of the Vertebrate Central Nervous System Volume167, Issue1. doi: org/10.1111/j.1749-6632.1969.tb20442.x
23. Mendoza J. (2012). Aportes de la filogenética a la investigación médica, Rev. Med. Herediana, v.23 n.2 Lima. ISSN 1018-130X. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2012000200008
24. Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI). (2013). Especies exóticas en México *Bubulcus ibis* Linnaeus, 1758, Repositorio. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222400/Bubulcus ibis.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222400/Bubulcus_ibis.pdf)
25. Montiel J., Vasistha N., Garcia F. y Molnar Z. (2015). From sauropsids to mammals and back: New approaches to comparative cortical development. Volume524, Issue3, Special Issue: Cortical Evolution. doi.org/10.1002/cne.23871
26. Morales E. y Del Lama S.N. (2014). Colonization of Brazil by the cattle egret (*Bubulcus ibis*) revealed by mitochondrial DNA. In: Capdevila-Argüelles L, Zillett B (Eds) Proceedings of 7th Neobiota Conference, Pontevedra, Spain. *NeoBiota*. doi.org/10.3897/neobiota.21.4966
27. NAS y Kaufman K. (1996) Adaptación de Lives of North American Birds, Audubon. Guía de aves: Garza ganadera. <https://www.audubon.org/es/guia-de-aves/ave/garza-ganadera>
28. Navarro A.G, (1988). Filogenia y clasificación de las aves, hacia una síntesis de diferentes enfoques actuales, Ciencias, rev. Difusión. UNAM. ISSN:0187-6376. <https://www.revistacienciasunam.com/es/1342-filogenia-y-clasificaci%C3%B3n-de-aves.html>.
29. Nuñez G. (2020). Coronavirus en aves acuáticas. Revista Kuxulkab, Vol. 26, num. 56, UJAT. ISSN 2448-508X.

30. Ocadiz C. (2017). Garzas llegan a a campos de cultivo de la región, Tulancingo, Hidalgo. Rev. Enero 2024 <https://www.elsoldetulancingo.com.mx/local/garzas-llegan-a-campos-de-cultivo-en-la-region-1431918.html>
31. Ocampo N. (2010). El fenómeno de la migración en aves: una mirada desde la Orinoquia, OQUIA – Universidad Javeriana. Artículo de revisión. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v14n2/v14n2a09.pdf>
32. Organización Mundial de la Salud. (2018). Virus de la gripe aviar y otros virus de la gripe de origen zoonótico, Nota descriptiva. (Consulta 24 de Agosto del 2022) [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/influenza-\(avian-and-other-zoonotic\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/influenza-(avian-and-other-zoonotic))
33. Orosz S. (2007). Avian Neuroanatomy Revisited: From Clinical Principles to Avian Cognition. Vol. 10, Issue 3. ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2007.06.001>
34. Pérez H. (2013). Fisiología animal II, Medicina Veterinaria. Managua UNA. ISBN 978-99924-1-025-7, Universidad Nacional Agraria. <https://cenida.una.edu.ni/textos/nl50p438f.pdf>
35. Prophet, E. B. y Mills, B. (1995). Métodos Histotecnológicos. E.U.A.: Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP).
36. Puelles L. (2001). Thoughts on the development, structure and evolution of the mammalian and avian telencephalic pallium. Department of Morphological Science, UOM. doi: 10.1098/rstb. 2001. 0973.
37. Pulido V, Olivera E., Cano D. y Acevedo J. (2020). A 143 años de la migración de la garza bueyera Bubulcus ibis (Linnaeus, 1758) desde África hacia los Andes. Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research 22(4), 352–361.
38. Quammen D. (2012). Spillover, London: The Bodley Head, 2012, 587 pp Rev. Enero 2024 <https://davidquammen.com/spillover/>
39. Redrobe S. (2015). Chapter 12, *Pelecaniformes* (Pelicans, Tropicbirds, Cormorants, Frigatebirds, Anhingas, Gannets), Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine, Vol. 8 (pp. 96-99)
40. Rivas P. (2010). Cap. 6 Tejido Nervioso, Impregnaciones metálicas, Atlas fotomicrográfico de estructuras subcelulares, células y tejidos animales.
41. Rodríguez H. y Herculano S. (2019). El subestimado cerebro de las aves, National Geographic España, Rev. Enero 2024.

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/el-subestimado-cerebro-de-los-pajaros_10458#:~:text=%E2%80%9CHemos%20encontrado%20que%20las%20aves,para%20el%20futuro%20o%20la

42. Rondon J. A. (2011). Vigilancia dirigida de influenza aviar en aves silvestres de los humedales de Puerto Viejo usando patos domésticos (*Cairina moschata*) como centinelas, Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172013000300009
43. Salguero F. J. (2023). Histología veterinaria comparada de Aughey y Frye con correlatos clínicos. 2da edición. Nervous System. Ed. Prensa CRC. ISBN. 9781003333807.
44. Sampaio G., Almeida dos Santos D. y Vargas, E. (2019). Richness, abundance and microhabitat use by Ardeidae (Aves: Pelecaniformes) during one seasonal cycle in the floodplain lakes of the lower Amazon River. *Zoologia*. doi.org/10.3897/zoologia.36.e30475
45. Sarmiento R., Mendez G. y López E. (2014). Aves exóticas en el ámbito agropecuario, métodos de control y erradicación, Universidad Autónoma de Chapingo, Repositorio. <https://zootecnia.chapingo.mx/assets/12mendez.pdf>
46. Schwarze E. (1980). Compendio de anatomía veterinaria, anatomía de las aves, TOMO V. Ed. ACRIBIA, España. ISBN 842000250X
47. SENASICA (2019). Influenza Aviar AH7N3: Situación actual en México. Rev. Enero 2024. https://dj.senasica.gob.mx/AtlasSanitario/storymaps/ia_focos.html
48. SENASICA (2023). Inicia Gobierno de México operativo para atender alerta por mortandad de aves en el Pacífico mexicano, Comunicado, Rev. Enero 2024 <https://www.gob.mx/senasica/articulos/inicia-gobierno-de-mexico-operativo-para-atender-alerta-por-mortandad-de-aves-en-el-pacifico-mexicano-336662>
49. Starosta S., Güntürkün O. y Stüttgen C. M. (2013). Stimulus-Response-Outcome Coding in the Pigeon Nidopallium Caudolaterale, Journals PLOS ONE, 8(2): e57407. doi: org/10.1371/journal.pone.0057407
50. Tamayo L. y Torres O. (2011). Estandarización de un protocolo para la combinación de técnicas neurohistológicas en cortes obtenidos con vibrátomo, Nota técnica, Laboratorio de Microscopía, Grupo de Morfología Celular, Subdirección de Investigación, Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C., Colombia

51. Thiemann T.C, Brault A.C, Ernest H. B y Reisen K. (2011). Development of a high-throughput microsphere-based molecular assay to identify 15 common bloodmeal hosts of Culex mosquitoes, Molecular Ecology Resources. Molecular Ecology Resources (2012) 12, 238–246. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22136215/>
52. UOC. (2015). Understanding evolution, Evolution 101, Berkeley University of California. Consulta: Marzo 2025. <https://evolution.berkeley.edu/bienvenido-a-la-evolucion-101/la-historia-de-la-vida-la-observacion-de-los-patronos/como-utilizar-el-arbol-para-clasificar/>
53. Vargas M. (2023). Recibe Ciudad de México a 229 especies de aves migratorias de invierno. Notas de SEDEMA. Ciudad de México. Fecha de revisión: Marzo 2025. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/recibe-ciudad-de-mexico-229-especies-de-aves-migratorias-de-invierno#:~:text=Miriam%20Vargas%20result%C3%B3%20que%20las,semillas%20e%20insectos%20que%20consumen.>