



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA APLICADA

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS

Modelos osteológicos como herramienta de enseñanza en Ecología

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN ECOLOGÍA
APLICADA**

PRESENTA

M.V.Z. Nadia Rocha Martínez

Matrícula: 2182801147

COMITÉ TUTORAL

Dra. Claudia Irais Muñoz García

Directora

Dr. Emilio Rendón Franco

Codirector

M. en C. Reyes López Ordaz

Asesor

Ciudad de México a 23 de octubre 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser un apoyo incondicional...

A mi mamá porque sin su apoyo no hubiese logrado llegar hasta aquí, por ser un pilar importante en mi educación, por escucharme cuando estaba a punto de flaquear.

A mi papá por ser parte importante y su apoyo incondicional durante momentos buenos y malos dentro de esta trayectoria.

A mi hermano porque a pesar de la distancia y su corta edad, siempre estuvo presente, por su apoyo incondicional y motivación.

A Malibonwe Kenneth Sithole por su apoyo incondicional y motivación, por estar presente a pesar de la distancia y echarme porras para lograr la conclusión de este proyecto.

A mis amigos por su ayuda, motivación y apoyo en mis momentos más oscuros, cada uno y a su forma, me enseñaron que debo luchar por el lugar que logré con esfuerzo y dedicación, que jamás me rinda. A Renée y Diego que, a pesar de la distancia estuvieron presentes en cada paso importante a lo largo de esta trayectoria. A mis amigos de generación: Ale, Lupita, Rosa, Ernesto y Dirce, por tantos momentos, buenos y malos que logramos compartir en este camino.

A Alejandro Ugalde por su apoyo con la toma de fotografías de los ejemplares para el presente proyecto.

A mi Comité tutorial por asesorarme y apoyarme en cada paso durante mi camino por la maestría. A la Dra. Claudia y al Dr. Emilio por ser base fundamental y muy importante en esta trayectoria, por ayudarme a crecer profesionalmente y como persona, por su apoyo incondicional en cada tropiezo y en cada logro. Por permitirme trabajar con ustedes, por su paciencia, confianza, motivación y enseñanzas. Al maestro Osvaldo por abrirme las puertas del laboratorio de Histopatología Veterinaria de la Universidad Autónoma Metropolitana, por su paciencia, confianza, amistad y apoyo incondicional. Al maestro Reyes por formar parte de este proyecto. A la maestra Nora por su apoyo incondicional y por sus sabios consejos.

A los profesores que me dieron la oportunidad de trabajar con sus grupos de M.V.Z. y Biología: M. en C. Osvaldo López Díaz, M. en C. Luz Elena Alcaraz Sosa, Dr. Juan José Pérez Rivero, Dra. Carmen Monroy Dosta, M. en C. José Alberto Ramírez Torrez, Dr. Omar Valencia Méndez, Dra. Brenda Iliana Vega Rodríguez.

A cada uno de los integrantes de la Comisión de la Maestría en Ecología Aplicada de la gestión actual y anterior: Dr. Jorge Castro Mejía, Dra. Patricia Castilla, Dra. María Jesús Ferrara Guerrero, M. en C. Aida Del Rosario Malpica Sánchez, Dr. Luis Ayala, M. en C. Alfonso Esquivel, Dra. Carmen Monroy Dosta,

Dr. Javier Aldeco, por formar parte de esta etapa, lo cual me permitió fortalecer y adquirir conocimientos y, habilidades.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT) por el apoyo brindado durante mi tiempo en la maestría. Al Comité de Becas de Apoyos Extraordinarios de Posgrado de la Universidad Autónoma Metropolitana por la ayuda para concluir en tiempo y forma el posgrado.

A Beca de Movilidad de la Universidad Autónoma Metropolitana por permitirme realizar mi estancia en Sudáfrica, así como el apoyo económico que otorgó para mi regreso durante la pandemia.

A special thank to Professor Emmanuel Do Linh San for his support during the research stay at University of Fort Hare in South Africa. Thanks to the support of Prof. Emmanuel I was able to work with the osteological material of the University and of the Amathole Museum, achieving good results. Because without your trust and support, I would not have succeeded. Thanks to the University of Fort Hare and the Amathole Museum (particularly, to Fred Kigozi – Director/Manager and Buyiswa Mahala - Curator of Mammalogy) for allowing us to work with their specimens, to use their labs and, especially, for contribute to my professional training.

El Jurado asignado por la Comisión Académica de la Maestría en Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, aprobó la Idónea Comunicación de Resultados titulada:

**MODELOS OSTEOOLÓGICOS COMO HERRAMIENTA DE ENSEÑANZA EN
ECOLOGÍA**

Que presentó:

M.V.Z. NADIA ROCHA MARTÍNEZ

El día [...] de [...] de 2020 en la Ciudad de México para obtener el Grado de Maestra en Ecología Aplicada.

JURADO DE EXAMEN

FIRMA

Dr. Ángel Raymundo Lozada Gallegos (Universidad Autónoma
Metropolitana)

Presidente

M. en C. Reyes López Ordaz (Universidad Autónoma Metropolitana)

Secretario

Dr. Rafael Ávila Flores (Universidad Juárez Autónoma de Tabasco)

Vocal

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTEGRACIÓN DE ANATOMÍA SISTÉMICA Y MORFOFUNCIONAL EN LA EDUCACIÓN AMBIENTAL Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO.....	7
1.1. RESUMEN.....	7
1.2. ABSTRACT	8
1.3. INTRODUCCIÓN	10
1.4. IMPORTANCIA DE LA ANATOMÍA APLICADA AL ESTUDIO MORFOFUNCIONAL Y ECOLÓGICO ...	10
1.5. CONSERVACIÓN DE MATERIAL BIOLÓGICO Y AVANCES TECNOLÓGICOS	11
1.6. EDUCACIÓN AMBIENTAL	14
1.7. TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO Y TECNOLOGÍA	14
1.8. CONCLUSIONES	17
1.9. REFERENCIAS.....	18
CAPÍTULO 2. USO DE MODELOS TRIDIMENSIONALES PARA LA ENSEÑANZA DE ANATOMÍA DEL CRÁNEO.....	22
2.1. RESUMEN	22
2.2. ABSTRACT.....	23
2.3. INTRODUCCIÓN.....	25
2.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	26
2.4.1. <i>Antecedentes: Origen e Historia de la Anatomía</i>	26
2.4.2. <i>Enseñanza de anatomía y problemática actual</i>	28
2.4.3. <i>Uso de modelos anatómicos como herramienta de enseñanza</i>	30
2.5. OBJETIVO	31
2.6. HIPÓTESIS	31
2.7. MATERIAL Y MÉTODOS	31
2.7.1. <i>Generación de modelo tridimensional</i>	31
2.7.2. <i>Diseño de estudio</i>	33
2.7.3. <i>Herramienta de aprendizaje basada en el modelo tridimensional</i>	34
2.7.4. <i>Evaluación y análisis estadístico</i>	34
2.8. RESULTADOS	35
2.8.1. <i>Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía sistémica y morfofuncional (evaluación global)</i>	35
2.8.2. <i>Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de anatomía sistémica (Sección 1)</i>	37
2.9. DISCUSIÓN.....	39
2.10. CONCLUSIONES.....	44
2.11. REFERENCIAS	45
CAPÍTULO 3. USO DE MODELOS ANATÓMICOS TRIDIMENSIONALES SINTÉTICOS PARA LA ENSEÑANZA E INTERPRETACIÓN DE ADAPTACIONES MORFOLÓGICAS DE ESPECIES SILVESTRES ANTE DIFERENTES NICHOS ECOLÓGICOS.....	52
3.1. RESUMEN	52
3.2. ABSTRACT.....	53
3.3. INTRODUCCIÓN.....	55

3.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	56
3.4.1. <i>Morfología y Ecología: un conocimiento integral y aplicado</i>	56
3.4.2. <i>Importancia morfofuncional del cráneo</i>	57
3.4.3. <i>Modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía morfofuncional</i>	61
3.5. OBJETIVO	64
3.6. HIPÓTESIS	64
3.7. MATERIAL Y MÉTODOS	64
3.7.1. <i>Obtención y limpieza de material óseo</i>	64
3.7.2. <i>Selección de especies para el desarrollo de los modelos tridimensionales</i>	65
3.7.3. <i>Generación de modelo tridimensional</i>	67
3.7.4. <i>Herramienta de aprendizaje basada en los modelos tridimensionales</i>	67
3.7.5. <i>Diseño de estudio</i>	69
3.7.6. <i>Evaluación y análisis estadístico</i>	70
3.8. RESULTADOS	71
3.8.1. <i>Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía Morfofuncional (Sección 2)</i>	71
3.8.2. <i>Uso de modelos tridimensionales para la inferencia de variaciones morfofuncionales (Sección 3)</i>	73
3.9. DISCUSIÓN.....	75
3.10. CONCLUSIONES.....	78
3.11. REFERENCIAS	79
4. ANEXOS	87

Capítulo 1. Integración de anatomía sistémica y morfofuncional en la educación ambiental y transferencia de conocimiento.

1.1. Resumen

La anatomía es una de las ciencias más antiguas, estudia la forma y estructuras de los organismos. Dentro de las ramas de la anatomía se encuentra la osteología, ciencia que estudia los huesos. El estudio del esqueleto cobra gran importancia en la educación médico-biológica y, se considera un método práctico para el aprendizaje de anatomía, proporcionando una herramienta visual y en ocasiones táctil para relacionar estructuras, impulsando el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes y la comprensión de los principios básicos de anatomía y otras ciencias como la genética, fisiología, etología, biología y ecología. El estudio morfológico de los elementos óseos es una herramienta valiosa para la taxonomía, la cual ha permitido la definición de grandes grupos de vertebrados y la descripción e identificación de especies. De modo que, es de particular interés para los biólogos y ecólogos el análisis de la adaptación, es decir, las relaciones existentes entre la diversificación morfológica de individuos, poblaciones, especies o taxones superiores, y la variación del hábitat en que se desarrollan. El estudio de la ecología a diferentes niveles requiere de herramientas que la faciliten y lleven el aprendizaje a niveles más altos para la adecuada adquisición de la información. Desafortunadamente, es común que la enseñanza de dichas áreas del conocimiento ocurra de forma particularizada y con el apoyo únicamente de textos e imágenes, dificultando en el estudiante la asociación de variables que dirijan la adquisición de conocimientos relacionados con la adaptación de los animales a su medio. Por ello, el uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de anatomía permite la manipulación por parte de los estudiantes sin causar daño al material biológico y, la preservación de los ejemplares originales, al crear mayor número de réplicas para propósitos educativos a bajos costos, de tal forma que evita conflictos de bioseguridad, culturales y éticos. La importancia de la ecología en la educación ambiental implica diversos aspectos y estrategias que favorecen la adquisición de conocimientos, lo cual contribuye a promover actitudes favorables hacia el medio ambiente, en la medida en que se incremente la capacidad de los estudiantes para comprender la relación de la especie animal con el entorno

natural que le rodea. Durante los últimos años, las tecnologías de la información y la comunicación han contribuido de manera positiva al proceso de enseñanza-aprendizaje logrando que los docentes puedan proponer estrategias didácticas diferentes a las usadas en los sistemas tradicionales. Así, las posibilidades de transferir conocimiento o buscar otras estrategias pedagógicas para generar conocimiento de manera constructivista se ven favorecidas por el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), por ejemplo, los modelos tridimensionales, realidad virtual, entre otras tecnologías que apoyen para mejorar el desempeño de los estudiantes en el área biológica.

Palabras clave: Anatomía, osteología, ecología, educación ambiental, modelos impresos tridimensionales.

1.2. Abstract

The anatomy is one of the oldest sciences that studies the shape and structures of the organisms. Within the branches of anatomy there is the osteology, a science that studies bones. The study of the skeleton is of great importance in medical-biological education and is considered a practical tool for learning anatomy, because promotes the development of spatial skills in students by facilitating the ability to relate visual and tactile structures, and helps in the understanding of basic principles of anatomy and other sciences such as genetics, physiology, ethology, biology and ecology. The morphological study of bone elements is valuable for taxonomical purposes, that has allowed the determination of large groups of vertebrates and the description and identification of species. Thus, the analysis of animal adaptations is of importance for biologists and ecologists, since they can establish or infer relationships between the morphological diversification of individuals, populations, species or higher taxa and habitat variations in which they develop. The study of ecology at different levels requires educational tools that facilitate the acquisition of information. Unfortunately, it is common for the teaching of these areas that knowledge acquisition occur in a particularized way through only the support of texts and bidimensional images, making harder for the student the multiple variables association for acquiring information related to animals adaptation to their environment. Therefore, the use of three-dimensional printing models in the teaching of anatomy allows the manipulation by students without causing

damage to the biological material and, the preservation of the original specimens, because several replicas can be generated at low costs, also, prevents exposure to biological hazards, and avoid cultural and ethical conflicts. The importance of ecology in environmental education implies various aspects and strategies that favors the acquisition of knowledge, which contributes to promoting favorable attitudes towards the environment that extent students' ability to understand the relationships between animal species with their natural environment. During the last few years, new information technologies have contributed positively to the teaching-learning process, enabling teachers to design and carry out new educational strategies. Thus, the possibilities for transferring knowledge or the design of new pedagogical strategies to improve knowledge in a constructivist way are favored by the use of Information and Communication Technologies (ICT), for example, three-dimensional printed models, virtual reality, among other technologies that support the better acquisition of skills and abilities of students in the biological area.

Key words: Anatomy, osteology, ecology, environmental education, three-dimensional printed models.

1.3. Introducción

La anatomía es una de las ciencias más antiguas y forma los tópicos fundamentales en la enseñanza de las ciencias médico-biológicas (Horst *et al.*, 2008; Tefera, 2011; Cañete *et al.*, 2014). Dentro de las ramas de la anatomía se encuentra la osteología, ciencia que estudia los huesos y que cobra gran importancia en la educación médico-biológica (Tefera, 2011). Los esqueletos proporcionan a los estudiantes del área biológica un método práctico para el aprendizaje de la anatomía comparada, ya que su empleo proporciona una herramienta visual y en ocasiones táctil para relacionar estructuras (Hussain *et al.*, 2007; Allouch, 2014). Los modelos animales son una herramienta auxiliar de los métodos tradicionales de enseñanza, ya que impulsan el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes y la comprensión de los principios básicos de la anatomía y su relación con otras ciencias como la genética, fisiología, etología, biología y ecología (Pérez *et al.*, 2009; Tefera, 2011).

1.4. Importancia de la anatomía aplicada al estudio morfofuncional y ecológico

La morfología ósea de las especies está relacionada con sus interacciones en el ecosistema y se liga íntimamente con la morfología funcional, la cual se define como el estudio de la forma de las estructuras de los organismos en relación con sus funciones, y muestra como los diseños anatómicos particulares se favorecen por la selección natural. Por su parte, la morfología ecológica se define como el estudio de la forma en relación con el papel de la especie dentro de su comunidad y los factores ambientales (bióticos y abióticos) que le rodean y por lo tanto abarca a la morfología funcional, reflejando las diferencias morfológicas a partir de la estructura y tamaño del hueso. Así, los estudios eco-morfológicos pretenden establecer relaciones entre la forma de las estructuras y su función dentro de un contexto ecológico para un grupo de organismos (Aerts *et al.*, 2000; De Esteban, 2011; Maestri *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2020). De modo que, es de particular interés para los biólogos y ecólogos el estudio de la adaptación, es decir, el estudio de las relaciones existentes entre la diversificación morfológica

de individuos, poblaciones, especies o taxones superiores, y la variación del hábitat en que se desarrolla (Costa y Cataudella, 2007).

El aprendizaje de ecología a diferentes niveles requiere de herramientas que la faciliten y lleven el aprendizaje a niveles más altos, que son la adquisición e integración de la información. Desafortunadamente, es común que la enseñanza de dichas áreas del conocimiento ocurra de forma particularizada y con el apoyo únicamente de textos e imágenes, dificultando en el estudiante la asociación de variables que dirijan la adquisición de conocimientos relacionados con la adaptación de los animales a su medio (Gross *et al.*, 2017). Por lo que, la falta de herramientas educativas se muestra como un problema para la formación de profesionistas en el área biológica.

1.5. Conservación de material biológico y avances tecnológicos

El interés por la conservación de especímenes anatómicos existe desde hace más de cinco mil años, puesto que el uso de material biológico para la enseñanza contribuye a la mejora de habilidades explicativas, asimilativas y comprensivas de las disciplinas del área biológica (Cury *et al.*, 2013). Es así como, los animales juegan un papel importante en la educación, por ejemplo, cada año, millones de animales desde gatos, ranas, cerdos, perros, conejos y roedores son diseccionados o viviseccionados en instituciones, colegios y universidades en todo el mundo (Sathyanarayana, 2009). En el caso de los ejemplares silvestres, la mayoría de dichos animales son capturados en vida libre, lo que desafortunadamente, en ausencia de estudios poblacionales, puede ocasionar pérdida de biodiversidad e impactos negativos colaterales sobre su hábitat (Sathyanarayana, 2009). Sin embargo, es un hecho que el uso de animales en la educación e investigación ha beneficiado tanto al hombre como a los animales, una muestra de ello son los avances científicos alcanzados a la fecha, pero su uso, sobre todo en el área educativa, ha derivado en fuertes controversias bioéticas. Lo anterior junto con los avances tecnológicos han favorecido su reemplazo por otras herramientas educativas (Sathyanarayana, 2009).

En la actualidad, se ha incrementado la toma de conciencia por parte de la comunidad académica, además de las instituciones gubernamentales y privadas, sobre el uso inadecuado de animales para la adquisición de destrezas en diferentes ramas de esas ciencias, principalmente anatomía y cirugía. Es por ello, que se ha buscado construir métodos alternativos para disminuir el uso de los animales para la adquisición de destrezas, aplicando así nuevas opciones para este propósito (Soler *et al.*, 2016).

Desde hace algunas décadas comenzó a limitarse el uso de animales en el ámbito educativo, lo que de acuerdo con algunos autores ha causado un impacto negativo en la enseñanza de la anatomía (Knight, 2007). La enseñanza de anatomía ha cambiado en los últimos años, los principios de bioética y las legislaciones actuales, restringen el uso de animales en las prácticas de docencia y regula el uso de animales en investigación. Esto ha llevado a la implementación de nuevas herramientas pedagógicas dentro de los cuales se incluyen los procesos de docencia, conservación de piezas anatómicas y uso de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) (Castellanos y Correa, 2013).

El uso de escáner e impresión 3D representan una opción favorable como herramientas auxiliares en la enseñanza, debido a su accesibilidad, especificidad, alta fidelidad y corto tiempo de elaboración; en comparación con la dificultad que se muestra para la adquisición y mantenimiento de ejemplares biológicos (De Alcântara *et al.*, 2019; Miana y Prieto, 2019). El escáner 3D realiza una copia tridimensional digital de un objeto, posteriormente la impresión 3D es un proceso que crea objetos físicos a partir del diseño digital, con una superposición sucesiva de capas de material deseado (filamentos de polímeros o metales) (Juárez *et al.*, 2018). Las impresiones 3D en el área biológica son denominadas biomodelos, que son la reproducción de un modelo físico el cual mantiene las características morfológicas de la estructura anatómica de origen (De Alcântara *et al.*, 2017).

La adquisición de material biológico y preservación de especímenes acarrea dificultades inherentes desde su obtención, método de preservación, mantenimiento (costos y tiempo), además de los cada vez mayores riesgos biológicos para sus colectores, preservadores y manipuladores en general (Scanferla, 2010; Quijano *et al.*, 2012; Dumitru *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2017). Por ello actualmente los biomodelos y otras herramientas complementarias permiten transferir con mayor fluidez los contenidos teóricos en los estudiantes. Por ejemplo, al utilizar modelos plásticos los estudiantes adquieren habilidades, se previene la exposición a riesgos biológico-infecciosos, se evita el uso y sacrificio de seres vivos en las prácticas de laboratorios y, contribuye a la conservación de la fauna regional y nacional, debido a que previene la colecta biológica innecesaria de ejemplares de vida silvestre. Es así como su utilización favorece el desarrollo sustentable y sostenible de los recursos naturales (Briceño *et al.*, 2017; De Alcântara *et al.*, 2017). El uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de anatomía permite la preservación de los ejemplares originales, al crear mayor número de réplicas para propósitos educativos a bajos costos, de tal forma que evita conflictos de bioseguridad, culturales y éticos; así, los estudiantes logran manipular los ejemplares sintéticos sin causar daño al material biológico (Inzunza *et al.*, 2015; Quinn y Khan, 2016; Yamine y Violato, 2016; Núñez *et al.*, 2018; Hackmann *et al.*, 2019). Un ejemplo de ello son las recreaciones tridimensionales de huesos, que se imprimen con los detalles anatómicos idénticos al original y proporcionan a los estudiantes detalles necesarios para la comprensión de las estructuras (Ugidos *et al.*, 2019). La enseñanza anatómica, se puede realizar utilizando modelos reales de animales preservados por distintas técnicas, sin embargo, los modelos más comunes que existen en la actualidad son de especies domésticas como gatos, perros, caballos, vacas, pero muy pocos son de especies silvestres. Gracias al uso de las impresiones tridimensionales es posible obtener una gran cantidad de modelos animales sintéticos de alta fidelidad morfológica, no solo de especies domésticas sino también de especies silvestres (Valliyate *et al.*, 2012).

1.6. Educación Ambiental

La educación ambiental se está configurando como una necesidad en la formación de los estudiantes y es un tema reciente en la actividad pedagógica; constituye parte del proceso educativo que implica la relación del ser humano con su ambiente, y consigo mismo, así como las consecuencias de dichas relaciones, de tal forma, que juega un papel importante en todo el entramado de la enseñanza y el aprendizaje. El concepto de educación ambiental es un proceso que involucra aspectos ecológicos, pedagógicos y sociales; a través de ello, los individuos adquieren conciencia de su ambiente, aprenden valores, experiencias y capacidades para actuar en la resolución de problemas ambientales presentes y futuros, para generar cambios que aseguren un desarrollo sostenible y sustentable (Fernández y Casal, 1995; Caride, 2000; Martínez, 2010).

La importancia de la ecología en la educación ambiental implica diversos aspectos y estrategias que favorecen la adquisición de conocimientos. Así, los modelos anatómicos, no solamente permiten la adquisición de conocimientos ecológicos, sino que contribuyen a la educación ambiental mediante la preservación de especies silvestres, sin tener que alterar las poblaciones silvestres de las cuales proceden para la obtención de material biológico con propósitos educativos, el conocimiento y cuidado de especies desconocidas para la población creando conciencia de la importancia de las especies de vida libre y su entorno. Hoy en día se asume que los estudios de ecología constituyen un componente básico de la educación ambiental. Los conocimientos de ecología pueden contribuir a promover actitudes favorables hacia el ambiente en la medida en que se incremente la capacidad de los estudiantes para comprender la relación de la especie animal con el entorno natural que le rodea (Fernández y Casal, 1995).

1.7. Transferencia de Conocimiento y Tecnología

La educación referente a la anatomía ha evolucionado, afrontando los desafíos y adaptándose en consecuencia a los rápidos avances tecnológicos y su efecto en las nuevas generaciones de estudiantes. El conocimiento anatómico ha aumentado exponencialmente y se ha ampliado a niveles de comprensión y

detalles, integrándose con otras ciencias como la biología, ecología, genética, entre otras. Desde hace varias décadas las instituciones han realizado reformas a los planes de estudio de las licenciaturas biológicas, cambiando la enseñanza tradicional de la anatomía, hacía una comprensión integrada con otras áreas. Esto, ha provocado impactos significativos en esta ciencia, replanteando estilos de enseñanza, estrategias y herramientas pedagógicas, para adaptarse a las exigencias actuales tanto de los estudiantes como de las necesidades en el ámbito laboral. En ciertos casos, esta nueva mecánica ha generado el reemplazo de uso de especímenes reales por modelos plásticos, lecturas, programas informáticos y diversas herramientas tecnológicas (Bravo, 2019).

La Transferencia de Conocimiento y Tecnología (TCT) ha cobrado relevancia en los últimos años, siendo una fuente crucial del desarrollo económico, social y de transformación de la sociedad. La TCT es el resultado de crear, almacenar y recuperar el conocimiento para transferirlo a las organizaciones en la generación de nuevos productos o servicios, así como la mejora de sus procesos productivos. Da respuesta a la demanda por parte de la sociedad. En este caso da respuesta a las demandas que enfrentan a nivel laboral los egresados del área biológica en cuanto a la aplicación de conocimientos. Sin duda, la educación superior representa el instrumento principal para los complejos procesos de transformación y modernización de la sociedad y es la encargada de impulsar los cambios mediante la creación de nuevos conocimientos, el desarrollo tecnológico y la innovación (Vázquez, 2017).

Durante los últimos años, las tecnologías de la información y la comunicación han contribuido de manera positiva al proceso de enseñanza-aprendizaje logrando que los docentes puedan proponer estrategias didácticas diferentes a las usadas en los sistemas tradicionales. Se debe tomar en cuenta que existen estrategias didácticas que unen a la tecnología con la pedagogía, por ejemplo, el uso de herramientas en el proceso enseñanza-aprendizaje de la anatomía integrando otras ciencias como la ecología (Bonilla *et al.*,2019).

El conocimiento y su transferencia ha estado pasando por muchos cambios en las últimas décadas, esto debido a la emergencia de las nuevas tecnologías que avanzan día a día y transforman los entornos permanentemente. Así, el conocimiento es transferido a través de diversas estrategias didácticas y pedagógicas, respecto a los medios actuales y novedosos con los que cuenta cada institución. El avance tecnológico en las ciencias biológicas (como Veterinaria y Biología) permite el acceso a elementos dinámicos en tercera dimensión, semejante a la observación del animal en su estado natural, con ello, se muestran estructuras que en formatos bidimensionales no se pueden captar, generando un contraste con las estructuras reales, propiciando una adquisición y asimilación de conocimientos (Bonilla *et al.*,2019).

Los procesos académicos de apropiación del conocimiento y de aprendizaje significativo realizados a través de escenarios tecno-pedagógicos como los simuladores, le permiten a un estudiante, el poder experimentar, evaluar y validar una aproximación de una situación real. Por ende, instituciones de educación superior necesitan herramientas de apoyo a los programas académicos para que los estudiantes trabajen, enriquezcan su proceso formativo y que aporten sus experiencias personales al mejoramiento de los contenidos. Así, las posibilidades de transferir conocimiento o buscar otras estrategias pedagógicas para generar conocimiento de manera constructivista se ven favorecidas por el uso de las TIC, por ejemplo, los modelos tridimensionales, realidad virtual, entre otras tecnologías que apoyen mejor el desempeño de los estudiantes en el área biológica (Bonilla *et al.*,2019).

1.8. Conclusiones

El uso de nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación en la enseñanza de la anatomía y la ecología puede disminuir el uso de especímenes naturales, por lo que deben ser consideradas como herramientas alternativas para la enseñanza, porque al igual que los ejemplares naturales, permiten la adquisición e integración de conocimientos multidisciplinarios y pueden promover actitudes favorables hacia la conservación de especies silvestres por parte de los estudiantes. En particular, los modelos tridimensionales digitalizados e impresos son nuevas herramientas tecnológicas para la enseñanza de la anatomía y la ecología, que se muestran como una opción viable hacia la preservación de poblaciones silvestres y, además, son complementarios y didácticos, permitiendo el desarrollo de nuevas habilidades y la adquisición de conocimientos en los estudiantes.

1.9. Referencias

- Aerts P., Van D. R., Vanhooydonck B., Zaaf A., Herrel A., (2000). Lizard locomotion: How morphology meets ecology. *Netherlands Journal of Zoology*, 50(2):261-277 pp.
- Allouch G., (2014). Scientific Technique for skeletons preservation and preparation of anatomical models to promote veterinary anatomy. *Journal of Veterinary Anatomy*, 7(2):133-139 pp.
- Bonilla T.D., Villamil R.V., Montes M.J.F., (2019). Uso de simuladores 3D como estrategia tecno pedagógica para la transferencia de conocimiento en el aprendizaje de la anatomía animal. *ECAPMA, Working Papers*, 1-12 pp.
- Bravo S.A., (2019). La anatomía ha evolucionado: enseñar y aprender anatomía en el siglo XXI ¿Qué ha cambiado? *Morfología*, 11(1).
- Briceño A., Núñez J., Martínez T., Patiño D., (2017). Herramienta didáctica en polímero plástico de anatomía de planaria (platelminto) para la enseñanza de la Biología. Universidad de Zulia, Venezuela.
- Cañete B.G., Sánchez P.J., Noda C.L., (2014). Ensamblaje artesanal de un esqueleto canino mediante variantes de la osteotecnia. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(09).
- Caride, J.A., (2000). Educación ambiental y desarrollo humano: Nuevas perspectivas conceptuales y estratégicas. *Conferencia dictada en el III Congreso Iberoamericano de Educación Ambiental*. Caracas, Venezuela.
- Castellanos L.I., Correa A.G., (2013). Enseñanza de la medicina veterinaria, bioética y uso de las TIC. *Revista Universidad de la Salle*, 6:177-191 pp.
- Costa C., Cataudella S., (2007). Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian sea). *Environmental Biology of Fishes*, 78(2):115-123 pp.
- Cury S.F., Censoni B.J., Ambrósio C.E., (2013). Técnicas anatómicas no ensino da prática de anatomía animal. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(5):688-696 pp.

- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Mendonca de A.B., Pereira S.B., Domanski B. E., Santos F.J., Rosa J.J.C., Delys O.F., Ramos S.S., Chaves A.N.A., (2017). Biomodelos ósseos produzidos por intermédio da impressão 3D: uma alternativa metodológica no ensino da Anatomia Veterinária. *Revista de Graduação USP*, 2(3):47-53 pp.
- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Rosa J.J.C., Chaves A.N.A., (2019). Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing. *3D Printing in Medicine*, 5(13).
- De Esteban T.S., (2011). Ecomorfología de Xenarthros extintos: análisis de la mandíbula con métodos de morfometría geométrica. *Bio One. Research Evolved*, 48(3):381-398 pp.
- Dumitru I., Trâncă S., Martonoş C., Silaghi F., Tuns F., Irimescu I., Damian A., (2013). Study regarding two methods of processing and preserving bird skeletons. *Veterinary Medicine*, 70(1): 66-71 pp.
- Fernández M., Casal J., (1995). La enseñanza de la ecología. Un objetivo de la educación Ambiental. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3): 295-311 pp.
- Gross M., Wright M., Anderson O., (2017). Effects of image-based and text-based active learning exercises on student examination performance in a musculoskeletal anatomy course. *Anatomical Sciences Education*, 1-12 pp.
- Gutiérrez J.C., Gómez J. M., Sudel G., Prater R. M., (2017). Anatomical knowledge in veterinary medical students in Chile. *Investigación en Educación Médica*, 6(22):70-74 pp.
- Hackmann H.C., Leite R.A., Neto A., (2019). Digital revolution in veterinary anatomy: confection of anatomical models of canine stomach by scanning and three-dimensional printing (3D). *International Journal of Morphology*, 37(2):486-490 pp.
- Horst W.K., Witch H., Snipes R., Timmermans P.J., Paulsen F., Rune G., Vogt B.E., (2008). The dissection course - necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students. *Annals of Anatomy*, 190:16-22 pp.
- Hussain M., Hussain N., Zainab H., Qaiser S., (2007). Skeletal preservation techniques to enhance veterinary anatomy teaching. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 1:21-23 pp.

- Inzunza O., Caro I., Mondragón G., Baeza F., Burdiles A., Salgado G., (2015). Impresiones 3D, nueva tecnología que apoya la docencia anatómica. *International Journal of Morphology*, 33(3):1176-1182 pp.
- Juárez C.A., Meza O.A., Solís L.C., Soria C.V.H., Bermúdez S.P.S., Ahedo S.C., Olivos D.B., Ponce L.I., (2008). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 61(6):43-51 pp.
- Knight A., (2007). La efectividad de los métodos de enseñanza humanitaria en la educación veterinaria. *ALTEX*, 24(2):91-109 pp.
- Maestri R., Patterson B., Fornel R., Monteiro L., De Freitas O.R., (2016). Diet, bite force and skull morphology in the generalist rodent morphotype. *Journal of Evolutionary Biology*, 29: 2191-2204 pp.
- Martínez C.R., (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Revista Electrónica Educare*, 14(1):97-111 pp.
- Miana V., Prieto G.E., (2019). Estrategias didácticas para promover el aprendizaje de ciencias biológicas y anatomía. *Revista Docencia Universitaria*, 20(1):19-32 pp.
- Núñez C.S., Gajardo P., Lizana P., Vega F. G., Hormazabal P.A., Binivignat O., (2018). Percepción de los Estudiantes de anatomía humana frente a un método de enseñanza y aprendizaje basado en la construcción de un modelo de pelvis. *International Journal of Morphology*, 36(1):221-225 pp.
- Pérez M., Rojo C., Encinas T., (2009). Modelos Animales en Anfibios. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 3(2):1988-2688 pp.
- Quijano B.Y., Rodríguez F.C., Peralta K., Cortés S., (2012). Réplicas óseas en resina poliéster como herramienta didáctica para el aprendizaje de anatomía. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 15(2): 275-281.
- Quinn G.D., Khan J., (2016). Thinking outside of the box: the potential of 3D printing in Veterinary Medicine. *Journal of veterinary, Science and Technology*, 7(5).
- Sathyanarayana M., (2009). Need for alternatives for animals in education and the alternative resources. *ALTEX*, 2:77-81 pp.

- Scanferla C.A., (2010). Técnicas para la preparación de esqueletos secos de lepidosaurios. *Revista del Museo de La Plata*, 49:1-6 pp.
- Shi B., Wang Y., Gong L., Chang Y., Liu T., Zhao X., Lin A., Feng J., Tinglei J., (2020). Correlation of skull morphology and bite force in a bird-eating bat (family Vespertilionidae). *Frontiers in Zoology*, 17(8): 1-14 pp.
- Soler Y., Ramírez W., Yaguana J., Antúnez G., Flores A., (2016). Modelos alternativos al servicio de la enseñanza y la bioética en Medicina Veterinaria. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12):1-10 pp.
- Tefera M., (2011). Enhancing cognitive learning in Veterinary Osteology through student participation in skeleton preparation project. *Ethiopian Veterinary Journal*, 15(1):87-102 pp.
- Ugidos L.M.T., Blaya H.F., Ruggiero A., Manzoor S., Juanes M.J.A., (2019). Evaluation of the Applicability of 3D models as perceived by the students of health sciences. *Journal of Medical Systems*, 43:108 pp.
- Valliyate M., Robinson N., Goodman J., (2012). Current concepts in simulation and other alternatives for veterinary education: a review. *Veterinarni Medicina*. 57(7):325-337 pp.
- Vázquez G.E.R., (2017). Transferencia del conocimiento y tecnología en universidades. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 83(38): 75-95 pp.
- Yamine K., Violato C., (2016). The effectiveness of physical models in teaching anatomy: a meta-analysis of comparative studies. *Advances in Health Sciences Education*, 21(4):883-895 pp.

Capítulo 2. Uso de modelos tridimensionales para la enseñanza de anatomía del cráneo

2.1. Resumen

La anatomía es una de las ciencias más antiguas, estudia la forma y estructuras de los organismos. Dentro de las ramas de la anatomía se encuentra la osteología, ciencia que estudia los huesos. El estudio del esqueleto cobra gran importancia en la educación médico-biológica y, se considera un método práctico para el aprendizaje de anatomía, proporcionando una herramienta visual y en ocasiones táctil para relacionar estructuras, impulsando el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes y la comprensión de los principios básicos de anatomía y otras ciencias como la genética, fisiología, etología, biología y ecología. Actualmente, la enseñanza de anatomía se ve obstaculizada en las instituciones por la falta de material didáctico, particularmente modelos tridimensionales. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos estrategias de aprendizaje de anatomía del cráneo, en estudiantes de las licenciaturas de Biología y Medicina Veterinaria y Zootecnia (M.V.Z.). Se elaboró una herramienta educativa que consistió en cráneos articulados y desarticulados de conejos (*Oryctolagus cuniculus*) provenientes del UPEAL-Bioterio UAM Xochimilco. Para obtener la herramienta educativa se realizó la limpieza de los cráneos y en el caso de los modelos desarticulados, los huesos del cráneo fueron desacoplados y posteriormente fueron montados con la finalidad de observar separada y tridimensionalmente cada hueso. La herramienta educativa se utilizó en conjunto con esquemas (método tradicional utilizado en muchas instituciones de educación superior) en el grupo experimental y, su eficacia para la adquisición de conocimientos se probó mediante la comparación con estudiantes que únicamente utilizaron los esquemas en el grupo control. En el presente estudio se contrastaron los grupos control vs experimental por licenciatura (Biología vs M.V.Z.), en alumnos que cursaban entre el 2º y 3º año de ambas licenciaturas. Se les aplicó una evaluación y se obtuvieron dos variables: calificaciones (cero a diez) y número de aciertos (cero a doce), mismas que se procesaron en el paquete estadístico JMP mediante un Análisis de Varianza de un solo factor (ANOVA), integrando la prueba de medias Tukey. Los resultados de forma general mostraron diferencia significativa ($p=0.02$) lo que sugiere que el uso de

modelos tridimensionales como herramientas auxiliares en la enseñanza de anatomía mejora la adquisición de conocimientos anatómicos del cráneo.

Palabras clave: Anatomía, osteología, cráneo, enseñanza, herramientas tridimensionales.

2.2. Abstract

The anatomy is one of the oldest sciences that studies the shape and structures of the organisms. Within the branches of anatomy, we can find the osteology, a science that studies bones. The study of the skeleton is of great importance in medical-biological education and is considered a practical tool for learning anatomy, providing a visual and sometimes tactile tool to achieve a good identification between related structures, promoting the development of spatial skills in students and so, understanding anatomical basic principles for other sciences such as genetics, physiology, ethology, biology and ecology. Currently, the teaching of anatomy is hampered in institutions by the lack of teaching materials, particularly three-dimensional models. The objective of this study was to evaluate two learning strategies for skull anatomy, in second and third-year students of Biology and Veterinary Medicine (M.V.Z.). An educational tool was developed, which was articulated and disarticulated rabbit skulls (*Oryctolagus cuniculus*) provided by UPEAL-Bioterio UAM Xochimilco. To obtain the educational tool, the skulls were cleaned and for the case of the disarticulated models, the skull bones were uncoupled and later mounted to observe each bone separately in a three-dimensionally way. The educational tool was used in conjunction with two-dimensional (traditional method used in many schools of higher education) in the experimental group, and its effectiveness for the acquisition of knowledge was tested through its comparison with the control group, formed by students who only used the two-dimensional schemes. In the present study, the control vs experimental groups were contrasted by career (Biology vs M.V.Z.). In order to evaluate knowledge acquisition, a test was applied and two variables were obtained: the test grade (from zero to ten) and the number of correct answers (from zero to twelve), variables were analysed using the JMP statistical package by the use of a single factor Analysis of Variance (ANOVA), integrating Tukey test. The general results showed a significant difference

($p= 0.02$), which suggests that the use of three-dimensional models as auxiliary tools in the teaching of anatomy improves the acquisition of skull anatomical knowledge.

Key words: Anatomy, osteology, skull, teaching, three-dimensional tools.

2.3. Introducción

La anatomía es una de las ciencias más antiguas, forma los tópicos fundamentales de la enseñanza en las ciencias biológicas y es eminentemente descriptiva, estudia la forma y estructura de los organismos (Horst *et al.*, 2008; Tefera, 2011; Cañete *et al.*, 2014).

Dentro de las ramas de la anatomía se encuentra la osteología, ciencia que estudia los huesos y su enseñanza se realiza por lo general a través del uso de esqueletos (Tefera, 2011). Los esqueletos proporcionan a los estudiantes del área médico-biológica una herramienta práctica para el aprendizaje de la anatomía comparada, ya que su empleo provee una estructura visual y en ocasiones táctil para relacionar estructuras. Los esqueletos forman parte de los modelos osteológicos y su realización sucede a partir del uso de animales de especies distintas, para ser utilizados en investigación o docencia y, constituyen parte importante en las salas de anatomía y museos, las cuales tienen como finalidad promover la comprensión de la enseñanza anatómica (Hussain *et al.*, 2007; Allouch, 2014). Los modelos animales son una herramienta auxiliar de los métodos tradicionales de enseñanza que, impulsan el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes y la comprensión de los principios básicos de anatomía y otras ciencias como la genética, fisiología, etología, biología y ecología (Pérez *et al.*, 2009; Tefera, 2011).

Actualmente, la enseñanza de anatomía se ve obstaculizada en las instituciones por la dificultad que representa la obtención de piezas anatómicas como material didáctico, por lo que muchos programas de anatomía se basan únicamente en el uso de libros y atlas para la instrucción de los alumnos en ausencia de disección cadavérica, otros utilizan especímenes preservados o plastinados (material cadavérico procesado para eliminar agua y grasa, y reemplazarlo con un polímero sintético permanente); para mejorar la enseñanza (Rodríguez *et al.*, 2009; Narváez y Murillo, 2014; Gutiérrez *et al.*, 2017).

El proceso enseñanza-aprendizaje en anatomía debe actualizarse continuamente de acuerdo con los avances tecnológicos y debe adecuarse hacia la superación de las problemáticas que ha enfrentado en los últimos años.

2.4. Revisión Bibliográfica

2.4.1. Antecedentes: Origen e Historia de la Anatomía

Desde la antigüedad el conocimiento anatómico ha sido necesario para la realización de embalsamientos y momificaciones, entre las culturas que destacan por realizar los procedimientos debido a sus creencias mítico-religiosas, están la egipcia y mesopotámica. Los egipcios perfeccionaron los métodos para conservar los cadáveres y aplicaron el embalsamiento y momificación, extrayendo el cerebro a través de las fosas nasales, también describieron en papiros el corazón y los vasos sanguíneos. En Mesopotamia realizaron embalsamientos y distinguieron los órganos más relevantes del cuerpo como corazón e hígado (Rodríguez *et al.*, 2009; Araujo, 2018).

Durante el siglo IV a.C. en la antigua sociedad griega, los anatomistas más destacados fueron Hipócrates, considerado el padre de la medicina, y Aristóteles, considerado como el padre de la anatomía comparada (haciendo referencia a las diferencias existentes entre especies). Hipócrates aportó la descripción detallada de los ventrículos del corazón, vasos sanguíneos, órganos de los sentidos y del aparato locomotor (huesos, articulaciones y principales músculos). Aristóteles fue el primero en utilizar el término Anatomía que proviene del griego “Ana” que significa hacia arriba y “tomos” que significa cortar o separar (cortar hacia arriba), también estudió las relaciones entre forma y función del mundo viviente, realizó más de quinientas descripciones de diversas especies desde mamíferos, aves, peces, reptiles, anfibios e invertebrados, todas ellas vinculadas a su relación funcional y por lo tanto, a su función de adaptación respecto al nicho ecológico (Blits, 1999; Collipal y Silva, 2011; Araujo, 2017; Araujo, 2018; Núñez *et al.*, 2018).

Durante el último tercio del siglo IV a.C., la anatomía adquirió carácter de ciencia independiente. En esta época Herófilo y Erasístrato fueron los primeros en practicar la disección de cadáveres humanos. Herófilo por un lado, descubrió numerosas formaciones anatómicas tales como el cerebro y meninges, plexos vasculares, nervios, arterias y venas, fue el primer maestro de anatomía que utilizó el cadáver humano como instrumento didáctico; sin embargo, Erasístrato fue el primero en diferenciar los nervios motores, estudió la contracción de los músculos e hizo la descripción del corazón (Cañete *et al.*, 2014; Araujo, 2018).

Durante el siglo V a.C. en la Antigua Roma destacó Claudio Galeno, fue un eminente fisiólogo, biólogo y anatomista. Fue el primero en realizar vivisecciones y utilizar cadáveres animales, a partir de esto realizó descripciones exactas de huesos y articulaciones (utilizada hasta nuestros días), detalló grandes formaciones del cerebro, identificó siete pares de nervios craneales y el sistema nervioso simpático (Siang, 2002; Cañete *et al.*, 2014; Araujo, 2018).

Durante el siglo VI a.C., Alcmeón de Crotón diseccionó animales y descubrió algunas estructuras como el nervio óptico, rastreó los principales nervios sensoriales hasta el cerebro, los cuales consideró la base de la sensibilidad e intelecto (Blits, 1999).

Leonardo Da Vinci (S. XV) produjo distintos aportes y se considera el fundador de la anatomía plástica, determinó la función de las válvulas cardíacas, describió los ventrículos cerebrales y desarrolló una técnica para conservarlos a base de cera, realizó más de setecientos cincuenta dibujos anatómicos, en ellos se encuentran los primeros que representan cortes transversales del cuerpo humano (Cañete *et al.*, 2014; Araujo, 2018).

En los siglos XVI y XVII durante el Renacimiento, se retomó el estudio de la anatomía como ciencia imprescindible para el estudio de la medicina humana y veterinaria. Durante el siglo XVI, otros anatomistas estructuraron el fundamento

sólido de la anatomía descriptiva y fueron Gabriel Falopio, Bartolomeo Eustaquio y Andrés Vesalio; éste último realizó incontables disecciones en cadáveres con fines didácticos y a partir de ello, hizo su gran obra que perdura hasta nuestros días, llamada *De Humani Corporis Fabrica*, que consta de siete libros ilustrados con dibujos que representan las estructuras anatómicas. Una de las figuras fundamentales de este período fue William Harvey, médico, anatomista, fisiólogo y fundador de la embriología, empleó la experimentación con animales y obtuvo la concepción real acerca de la circulación de la sangre. A partir de Harvey, se evidenció un notable progreso en las ciencias naturales, el cual estuvo marcado por numerosos descubrimientos como la teoría celular, la idea de la evolución, entre otras (Siang, 2002; Cañete *et al.*, 2014; Araujo, 2018).

Los anatomistas más destacados del siglo XIX fueron: Luigi Rolando destacó por sus investigaciones sobre el sistema nervioso, describió la cisura central del cerebro. Jacob Henle realizó más de once mil autopsias, describió las estructuras macroscópicas y microscópicas de todo el cuerpo humano y creó el atlas de anatomía topográfica. Paúl Broca estudió los centros nerviosos y Wilhelm His, realizó importantes trabajos sobre el músculo cardíaco, vasos cerebrales, y acerca del sistema de conducción del corazón (Araujo, 2018).

Desde la era primitiva hasta inicios del siglo XXI, las estrategias y modelos de enseñanza de anatomía humana han evolucionado a través del tiempo acorde a los paradigmas educativos (Araujo, 2018).

Por lo tanto, la anatomía ha sido, es y será, uno de los conocimientos más antiguos, y cuyo aprendizaje genera cimientos fundamentales en la educación de las ciencias biológicas (Araujo, 2017).

2.4.2. Enseñanza de anatomía y problemática actual

La enseñanza de la anatomía es fundamental para todos los profesionales de la salud humana y animal. La anatomía es una ciencia tridimensional que presenta

componentes verbales y visuales/espaciales (Friedman *et al.*, 1994; Yammine y Violato, 2016; Lima *et al.*, 2018). En anatomía, los estudiantes tienen que rotar y manipular los especímenes biológicos desde varias vistas para identificar las estructuras anatómicas. La habilidad visuo-espacial está definida como la habilidad mental de manipular objetos en tres dimensiones (Azer *et al.*, 2016). Para comprender la importancia de la enseñanza en anatomía, debemos tener en cuenta que la enseñanza constituye un proceso de organización y dirección de la actividad cognoscitiva e incluye la actividad por parte del docente (enseñar) y del estudiante (aprender), obteniendo el proceso enseñanza-aprendizaje; en dicho proceso hay una secuencia de actividades sistemáticas e interrelacionadas del docente con los estudiantes, encaminadas a la asimilación sólida de un sistema esencial de conocimientos y habilidades, así como su formación integral (González y Suárez, 2018).

Los métodos de la enseñanza en anatomía son: descriptiva (indica forma y estructura de las partes del organismo), topográfica (divide al cuerpo para establecer relaciones espaciales de las distintas estructuras) y funcional (busca la correlación entre las formas del organismo y las funciones que realizan) (Ávila, 2016). Los libros de texto y atlas de anatomía proporcionan ilustraciones estáticas en dos dimensiones, ello limita el valor dinámico de las exposiciones en 3D de las estructuras anatómicas, de modo que, los estudiantes necesitan aprender estructuras anatómicas y funciones, pero también relaciones espaciales a través de dichas estructuras (Azer *et al.*, 2016).

En los últimos años la enseñanza de la anatomía se ha visto obstaculizada por la dificultad que representa la obtención de cadáveres (humanos y animales) para disección, debido a las regulaciones actuales, incluyendo la bioética, y altos costos que implica la adquisición y el mantenimiento de los especímenes (Knight, 2007; Kinnison *et al.*, 2009; Inzunza *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017). Desde hace algunas décadas se ha limitado el uso de animales en el ámbito educativo, provocando un impacto negativo en la enseñanza de anatomía (Knight, 2007).

Debido al difícil acceso para la obtención de material cadavérico para propósitos educativos, se ha incrementado la búsqueda de materiales alternativos y se han mejorado los métodos de preservación de los materiales biológicos existentes, con la finalidad de evitar su degradación (García, 2003). Por ello, se ha requerido apelar hacia la diversidad de la didáctica para el desarrollo de competencias en anatomía, al utilizar nuevas herramientas que complementen la enseñanza tradicional, dirigiendo a los estudiantes hacia distintos niveles de aprendizaje y forjando el desarrollo de habilidades (López *et al.*, 2011).

La mejora y disponibilidad de nuevas herramientas para la enseñanza de anatomía, como auxiliares a los métodos tradicionales, progresa respecto a las necesidades e intereses para su aplicación en distintos ámbitos (Kinnison *et al.*, 2009; Cury *et al.*, 2013).

2.4.3. Uso de modelos anatómicos como herramienta de enseñanza

Debido a la problemática planteada derivada del único uso de ilustraciones estáticas en dos dimensiones, se plantea el uso de modelos anatómicos tridimensionales en conjunto con los bidimensionales con la finalidad de desarrollar habilidades espaciales para lograr la concepción tridimensional y la comprensión de las estructuras anatómicas adecuadamente (Núñez *et al.*, 2018).

Los primeros modelos anatómicos tridimensionales se remontan al siglo XVIII, donde se documentan las primeras representaciones de estructuras a través de modelos con cera de abejas, en las cuales los médicos-anatomistas con un estricto rigor artístico y científico, construían esculturas anatómicas totalmente a mano, conocidas inicialmente como Ceras Anatómicas. Estos primeros modelos anatómicos explicaban la evolución y las singularidades de la especie humana para poder transmitirlos a aprendices, siguiendo la tradición del humanismo científico: mejorar la humanidad a través de la transmisión del conocimiento (Ávila, 2016).

Los modelos anatómicos ofrecen distintas dimensiones para el estudio de anatomía debido a que conservan los finos detalles de las piezas, proporcionando al estudiante una herramienta auxiliar para la comprensión de su estudio (Narváez y Murillo, 2014). Un modelo animal es aquel que emplea animales de especies distintas a la humana, seleccionados por sus características específicas, para ser utilizados en investigación o docencia. Gracias al empleo de modelos animales se han comprendido mejor los principios básicos de la anatomía y, de otras ciencias como la genética, fisiología, etología, biología y ecología (Pérez *et al.*, 2009).

2.5. Objetivo

Evaluar el efecto de modelos tridimensionales en el aprendizaje de anatomía del cráneo, en estudiantes de las licenciaturas de Biología y M.V.Z.

2.6. Hipótesis

El uso de cráneos reales, como herramienta auxiliar en la enseñanza de anatomía puede favorecer la adquisición e integración de los conocimientos anatómicos en estudiantes de las licenciaturas de Biología y M.V.Z.

2.7. Material y Métodos

2.7.1. Generación de modelo tridimensional

Se seleccionó el cráneo para este estudio debido a las funciones vitales que realiza, entre ellas son: alojar y proteger al cerebro, sistema nervioso, digestivo y respiratorio, también a los órganos de los sentidos; además, numerosas variaciones anatómicas del cráneo son indicativas de procesos evolutivos, cambios morfológicos en distintas especies (Özkadif y Eken, 2016). Se eligió el conejo común (*Oryctolagus cuniculus*) como modelo tridimensional porque actualmente es uno de los modelos animales más utilizados en las ciencias biomédicas, debido a su accesibilidad (alta tasa de reproducción y crianza). El cráneo de esta especie posee características específicas como: cráneo fenestrado y cuatro dientes incisivos superiores (Bramble, 1989; Ajayi *et al.*,

2012; Louei, 2013; Salih, 2013; Gürbüz *et al.*, 2015; El-Ghazali y El-Behery, 2018).

Los cráneos de conejo común fueron utilizados como modelos tridimensionales para la enseñanza de anatomía. El material biológico fue obtenido a partir de ejemplares utilizados en la UEA (Unidad de Enseñanza-Aprendizaje): Técnicas y Terapéutica Quirúrgicas que pertenece a la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Los conejos de dicha UEA, a su vez, son proporcionados por el UPEAL-Bioterio de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X). Los ejemplares se procesaron en el Laboratorio de Histopatología Veterinaria de UAM-X, y los residuos biológico-infecciosos fueron remitidos al Bioterio de la UAM Xochimilco, para su adecuado desecho de Residuos Peligrosos Biológico-Infecciosos (RPBI) y, posterior incineración.

En el laboratorio de Histopatología Veterinaria de UAM-X se realizó la limpieza manual para la obtención de los cráneos de conejos, se retiró la mayor parte de tejido blando, posteriormente las piezas se introdujeron de 3-4 meses en un dermestario el cual está compuesto por insectos necrófagos del Orden Coleoptera. La variación temporal de limpieza en el dermestario está relacionada con las condiciones climáticas que determinan la reproducción y mortalidad de los insectos necrófagos. Una vez que los dermestidos removieron todo el tejido, se continuó con el desengrasado con Vanish® Reckitt Benckiser, Inc. (peróxido de hidrógeno, ácido alquilbencensulfónico, hidróxido de sodio) en recipientes herméticos (5-7 días), después se blanquearon en hipoclorito de sodio comercial a una dilución 2:1 en agua (6.34% concentración de uso doméstico), durante 20 minutos, todo lo anterior siguiendo las recomendaciones de Post (2013). Una vez obtenido el material osteológico limpio, desengrasado y aclarado, se fijaron con adhesivo comercial de cianocrilato Kola loka® para mantener la integridad de las piezas óseas posterior al proceso de limpieza.

Adicional a los cráneos que mantuvieron su posición anatómica normal (cráneos articulados), se elaboraron dos cráneos explotados (cráneos desarticulados), siguiendo el procedimiento que se describe a continuación: se conservaron los

dos cráneos en hipoclorito de sodio durante treinta minutos, para desarticular cada estructura craneana, posteriormente se unieron con alambre y se montaron cada uno en una base de madera. En el primer ejemplar de cráneo fue de color natural (Figura 2.7.1.1.a), y en el segundo ejemplar se marcó cada uno de los huesos que lo conforman con distinto color (Figura 2.7.1.1.b); en este último caso, además se hizo una guía de colores y nombres de dichas estructuras para facilitar la identificación y memorización de los estudiantes, (Wiles, 1950; Spinner *et al.*, 2011).

De manera general la elaboración de la herramienta de educación implicó la limpieza de cincuenta y cinco cráneos naturales de conejo y la elaboración de dos cráneos explotados (Figura 2.7.1.1.). Se elaboró una presentación digital-PowerPoint (Anexo IV) y una actividad con ilustraciones estáticas en dos dimensiones en papel (Anexo I) para facilitar la identificación y relación de estructuras óseas que conforman el cráneo.

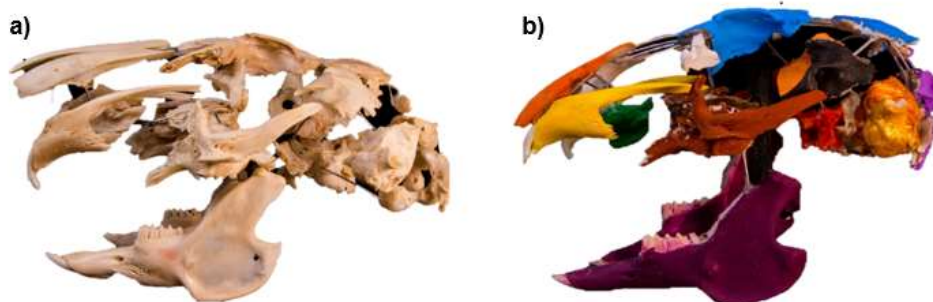


Figura 2.7.1.1. Cráneos explotados a) Color natural, b) Cráneo con colores distintivos para cada hueso. Fotos tomadas por Alejandro Ugalde Ruíz.

2.7.2. Diseño de estudio

La eficiencia de la herramienta educativa se evaluó comparando la enseñanza de anatomía que involucra únicamente el uso de esquemas vs la adición del modelo tridimensional. Se contrastaron grupos control vs experimentales y por licenciatura (Biología vs M.V.Z.), los alumnos evaluados cursaban entre el 4º al 9º trimestre (correspondientes al segundo y tercer año) en ambas licenciaturas.

En total se evaluaron 85 estudiantes para los grupos control y 95 estudiantes para los grupos experimentales.

2.7.3. Herramienta de aprendizaje basada en el modelo tridimensional

La sesión educativa se realizó en un día para cada grupo, control y experimental, en la que se abordó la anatomía sistémica de estructuras craneanas.

En la sesión de los grupos control se realizó una presentación (digital en PowerPoint) para explicar importancia, función y anatomía del cráneo, en la cual se mostró cada estructura en distintas vistas: dorsal, ventral, lateral, craneal y caudal; y se implementó la actividad con ilustraciones estáticas (en dos dimensiones en papel) que constaba de tres vistas: dorsal, ventral y lateral (Anexo I). Para los grupos experimentales se impartió la misma presentación y actividad, más el uso de dos modelos tridimensionales: cráneos articulados y cráneos desarticulados (explotados), correspondientes a la herramienta educativa.

Posteriormente, el segundo día de actividad, se aplicó una evaluación de 8 reactivos equivalentes a 34 aciertos (Anexo III), el examen se dividió en tres secciones e incluyó: sección 1.- anatomía general del cráneo (12 aciertos) que corresponde a la evaluación del presente capítulo (Anexo III a); sección 2.- anatomía morfofuncional e interpretación (12 aciertos; Anexo III b) y, sección 3.- en ésta última los estudiantes tenían que inferir la forma del cráneo a partir de las características morfofuncionales que se otorgaron (10 aciertos; Anexo III c). Las secciones 2 y 3 corresponden con la evaluación del capítulo 2 de esta tesis como se explicará en el capítulo 3.

2.7.4. Evaluación y análisis estadístico

Este estudio tiene un enfoque experimental transversal con variables discretas. Se obtuvieron dos variables: calificaciones del examen en general que involucra las tres secciones del examen (calificación de cero a diez) y, número de aciertos

correspondientes a la sección uno de la evaluación (cero a doce). Los datos se procesaron con el paquete estadístico JMP (Proust, 2009), comprobando los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas para realizar un Análisis de Varianza de un solo factor (ANOVA) para comparar la varianza de las medias de los grupos en donde $p < 0.05$ indica diferencias estadísticamente significativas. Se integró la prueba de medias Tukey para comparar las diferencias entre las medias, creando intervalos de confianza y controlando la tasa de error. Se obtuvieron las medias y errores estándar respecto a las calificaciones y número de aciertos obtenidos de la evaluación. En el presente capítulo se presentan los resultados generales y, de la primera sección de la evaluación.

Los resultados generales son las calificaciones obtenidas de los exámenes (con escala de 0-10) dependiendo del grupo (control vs experimental), licenciatura (Biología vs M.V.Z.) y grupo por tipo de licenciatura (control vs experimental).

2.8. Resultados

2.8.1. Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía sistémica y morfofuncional (evaluación global)

Los resultados generales muestran una diferencia significativa ($p < 0.02$), entre grupos control (6.9 ± 0.14) vs experimental (7.1 ± 0.14) (Figura 2.8.1.1).

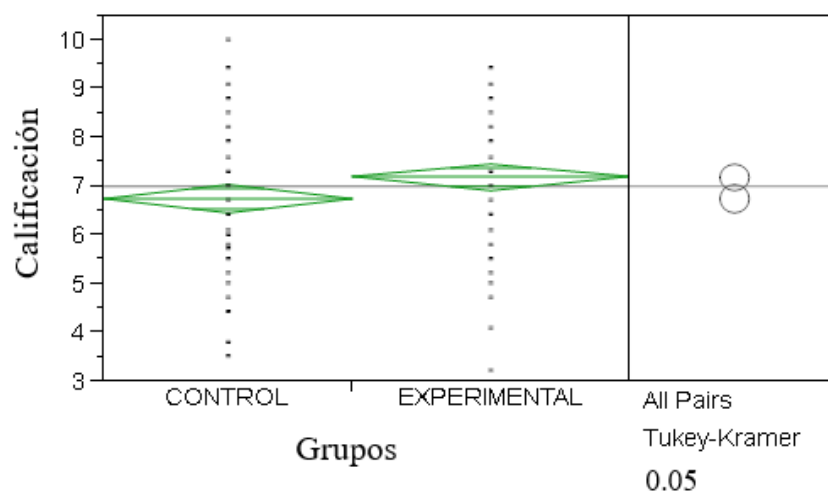


Figura 2.8.1.1 Comparación de las calificaciones correspondientes al aprendizaje de anatomía sistémica y morfofuncional asociado al uso de modelos anatómicos tridimensionales, entre

grupos control (Biología y M.V.Z.) vs experimental (Biología y M.V.Z.). La línea central horizontal indica la media que corresponde a las dos poblaciones: control y experimental (6.9 ± 0.20), el punteado vertical perteneciente a cada grupo muestra la distribución de los datos (frecuencia). Las elipses son proporcionales a la muestra de cada grupo (control y experimental), la altura de cada elipse indica el intervalo de confianza para cada grupo (95%); cada elipse presenta una media (línea media) y dos errores estándar (líneas superiores y por debajo de la media). La intersección de los círculos indica diferencias significativas formando un ángulo menor de 90° o bien, cuando no existe dicha intersección.

Se comparó la calificación obtenida entre licenciaturas, en cada una se integraron a todos los alumnos, incluyendo los grupos control y experimental, correspondientes para el análisis estadístico (Figura 2.8.1.2), indicando que no hubo diferencia significativa ($p > 0.75$) entre licenciaturas: Biología (7.0 ± 0.14) vs M.V.Z. (6.94 ± 0.15).

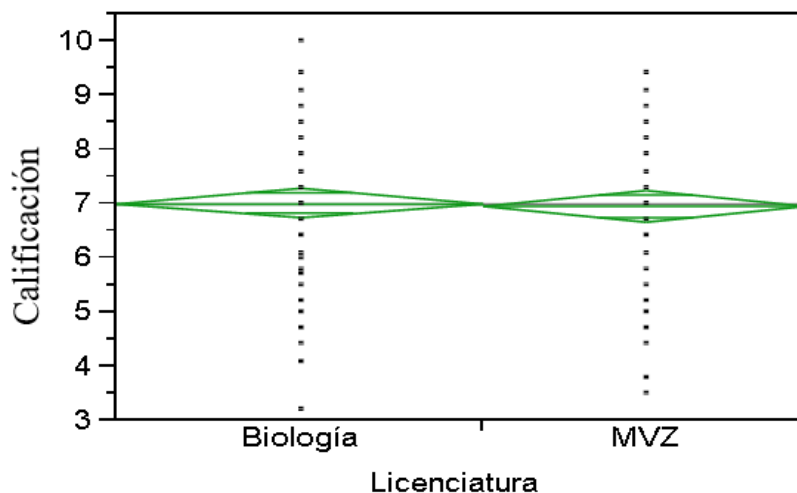


Figura 2.8.1.2 Comparación de las evaluaciones correspondientes al aprendizaje de anatomía sistémica y morfofuncional asociado al uso de modelos anatómicos tridimensionales, entre licenciaturas: Biología (todos los estudiantes) vs M.V.Z. (todos los estudiantes).

Al comparar los grupos control y experimental, únicamente de la licenciatura de Biología no se encontró diferencia significativa ($p > 0.11$) entre grupos control (7.2 ± 0.19) vs experimental (6.7 ± 0.20) (Figura 2.8.1.3).

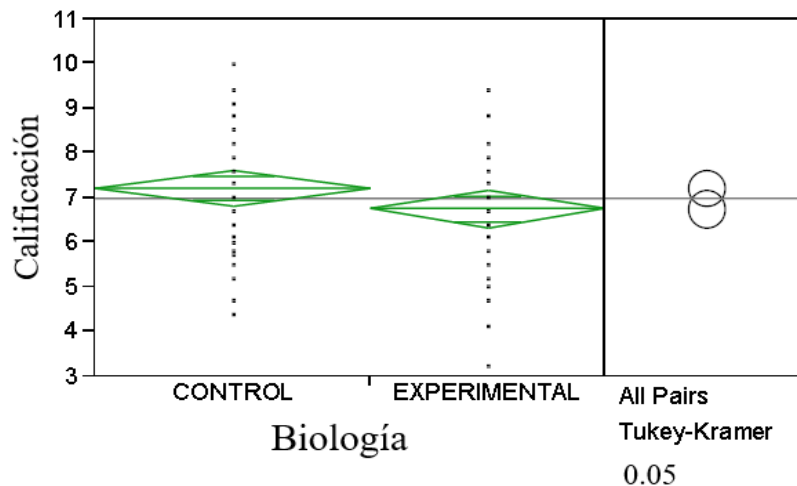


Figura 2.8.1.3 Comparación de las evaluaciones correspondientes al aprendizaje de anatomía sistémica y morfofuncional asociado al uso de modelos anatómicos tridimensionales, entre grupos control vs experimental de Biología.

Las calificaciones obtenidas entre grupos control (5.9 ± 0.19) y experimental (7.5 ± 0.16) correspondientes a la licenciatura de M.V.Z. mostraron diferencia significativa ($p < 0.0001$) (Figura 2.8.1.4).

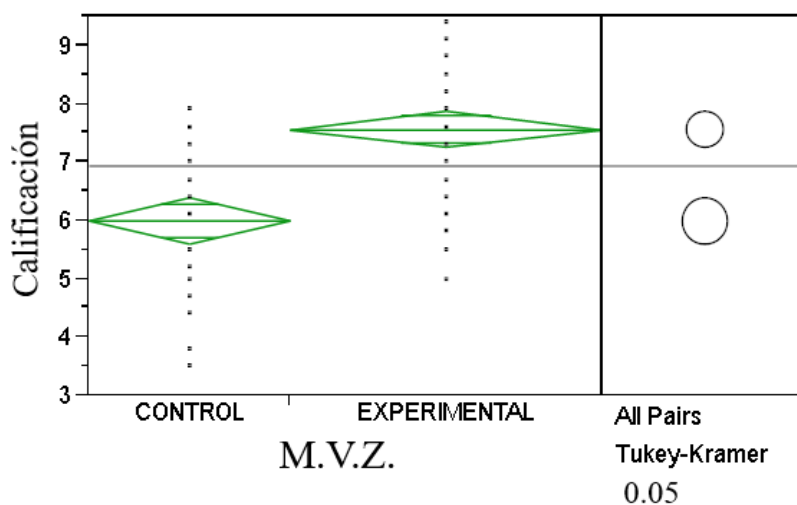


Figura 2.8.1.4 Comparación de las evaluaciones correspondientes al aprendizaje de anatomía sistémica y morfofuncional asociado al uso de modelos anatómicos tridimensionales, entre grupos control vs experimental de M.V.Z.

2.8.2. Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de anatomía sistémica (Sección 1)

Se realizó la comparación entre grupos control (8.2 ± 0.23) vs experimental (9.5 ± 0.22) de forma general de la sección uno de la evaluación (anatomía

diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.0001$) entre los grupos control (6.6 ± 0.29) vs experimental (10.1 ± 0.24) (Figura 2.8.2.3).

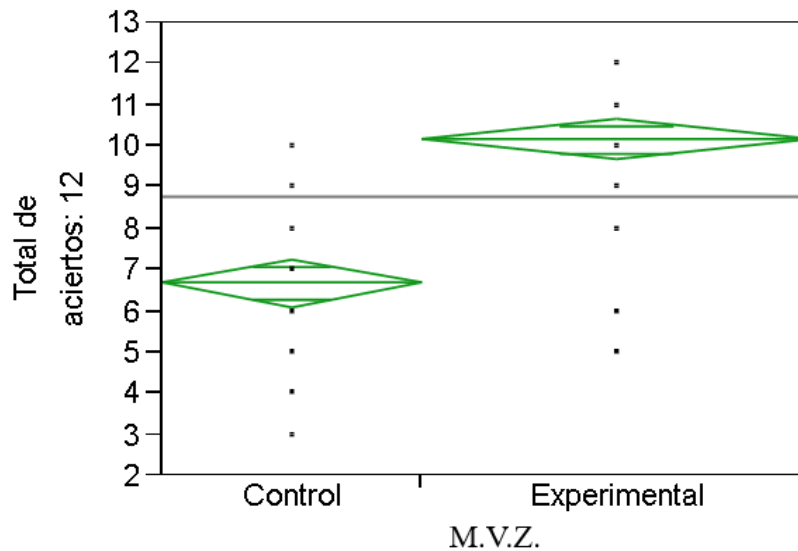


Figura 2.8.2.3 Comparación de las evaluaciones correspondientes al aprendizaje de anatomía sistémica asociado al uso de modelos anatómicos tridimensionales, entre grupos control vs experimental de MV.Z.

2.9. Discusión

La enseñanza de la anatomía se ha dificultado en los últimos años, debido a las problemáticas relacionadas con la adquisición de material visual y táctil en los laboratorios; sin embargo, el desarrollo tecnológico actual ha permitido encontrar diversas herramientas auxiliares al método tradicional de enseñanza (Yamine y Violato, 2016). En el presente estudio se utilizaron modelos tridimensionales para la enseñanza de anatomía del cráneo, para que, a través de estos, los estudiantes identificasen y relacionasen estructuras óseas tridimensionalmente. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, cuando se comparó al grupo cuya enseñanza de la anatomía de cráneo es tradicional contra el grupo que además de la enseñanza tradicional utiliza también modelos tridimensionales, el segundo adquiere mejor los conocimientos debido a que los resultados de su evaluación son significativamente superiores a los del primer grupo. Cuando los resultados se analizaron por subgrupo-licenciatura, los resultados solo fueron significativos para los estudiantes de M.V.Z.

Al igual que en el presente estudio, de manera general otros autores coinciden en el efecto positivo que proporciona el uso de herramientas tridimensionales en comparación con el solo uso de imágenes bidimensionales, impulsando el desarrollo de habilidades, valores y competencias (cognoscitivas, procedimentales y actitudinales) en los estudiantes (García, 2003; López *et al.*, 2011; Mompeó, 2014; Arrondo *et al.*, 2016; De Alcântara *et al.*, 2017; Ávila *et al.*, 2018; Núñez *et al.*, 2018). Otros estudios han demostrado que la combinación del método tradicional para enseñar anatomía más la disección, el uso de tecnologías multimedia y modelos tridimensionales, mejoran los resultados de las evaluaciones (Baillie *et al.*, 2005; Vélez y Ruiz, 2017; Ugidos *et al.*, 2019). Baillie y colaboradores (2005) y Codd y Choudhury (2011), demostraron que, al comparar el método de enseñanza tradicional con la adición de simuladores y herramientas auxiliares, y realidad virtual tridimensional, respectivamente, se obtuvieron mejores resultados en la evaluación de los estudiantes. Sin embargo, en ambos estudios se hace énfasis en que dichas herramientas deben utilizarse como complemento al método tradicional. Lo mencionado concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio al utilizar una herramienta auxiliar tridimensional en la enseñanza de anatomía lo cual se refleja en una mejora en la adquisición de conocimientos en los estudiantes.

Con relación a los resultados obtenidos al compararse la adquisición de conocimientos de anatomía entre los subgrupos: Biología vs M.V.Z. no se identificó diferencia significativa. Este resultado es interesante debido a que algunos autores mencionan que los estudiantes de M.V.Z., a partir del segundo año de carrera, deberían poseer mayores conocimientos y habilidades en los temas anatómicos debido a que sus planes y programas de estudio incluyen esta área de estudio con mayor profundidad a la impartida en la licenciatura en Biología (Estai y Bunt, 2016). Sin embargo, autores como Preece y colaboradores (2013), han indicado que la identificación de piezas óseas requiere únicamente de conocimientos básicos de anatomía y habilidades espaciales.

Cuando se analizaron los resultados en los subgrupos de licenciatura, no se detectaron diferencias en la adquisición de conocimientos entre los grupos control y experimental de los estudiantes de Biología, sin embargo, en los estudiantes de M.V.Z. existieron diferencias significativas cuando se compararon los resultados de la evaluación general y particular (sección 1-anatomía sistémica). Es probable que en los estudiantes de M.V.Z. el uso de la herramienta educativa (modelo tridimensional), provee un mayor efecto positivo para la adquisición de conocimientos. Estos resultados se pueden asociar a distintos factores, entre ellos las diferencias en las habilidades visuo-espaciales. De tal forma que los estudiantes de Biología presentaron suficientes habilidades visuo-espaciales en comparación con M.V.Z., mostrando que hay diferencias de habilidades para la interpretación tridimensional entre licenciaturas, así como sucede en las carreras de arquitectura e ingeniería (Mataix *et al.*,2014). En el caso del presente estudio parece indicar que los alumnos de Biología presentan un mayor desarrollo de habilidades visuoespaciales lo que provocó que no existiera diferencia entre el uso o no del modelo tridimensional, mientras que los estudiantes de M.V.Z. mostraron menores habilidades visuo-espaciales lo que produjo que el uso de modelos tridimensionales tuviese un efecto en su aprendizaje, tal como refieren Kyllonen y colaboradores (1984), que los estudiantes con mayores habilidades espaciales se benefician más de practicar la tarea y recibir retroalimentación, sin embargo, los participantes con escasas habilidades espaciales obtienen mejores resultados con una formación apoyada en herramientas visuales y/o táctiles. Así, los estudiantes de M.V.Z. requirieron adicionar la manipulación mental tridimensional para mejorar la comprensión de representaciones bidimensionales, mejorando a su vez su aprendizaje espacial (Dalgarno y Harper, 2003; Berney *et al.*, 2015).

Al comparar los grupos control vs experimental tomando en cuenta solo los resultados de la sección 1 (anatomía sistémica) se identificó un efecto positivo en los alumnos del grupo experimental al utilizar la herramienta tridimensional, lo que corresponde con lo identificado por Miana y Prieto (2019), quienes obtuvieron resultados positivos al trabajar con diversas herramientas complementarias en grupos del área de las ciencias biológicas. Al igual que los

resultados obtenidos por Ugidos y colaboradores (2019), en donde el uso de modelos tridimensionales tuvo un efecto positivo en alumnos de cinco licenciaturas del área biológica (Fisioterapia, medicina, enfermería, terapia ocupacional y odontología). Además de los mencionados, otros estudios reportan que la adquisición de conocimientos se ve favorecida cuando se reconocen estructuras anatómicas con material tridimensional en comparación con la única utilización del método tradicional (láminas, libros y atlas), por lo que su uso proporciona ventajas significativas y una alternativa para el desarrollo de habilidades visuo-espaciales, así como la comprensión de la compleja arquitectura anatómica (García, 2003; Preece *et al.*, 2013).

La comparación de los resultados obtenidos de la sección uno del examen (anatomía sistémica) en los subgrupos por licenciatura no arrojaron diferencia significativa para la licenciatura en Biología, pero sí se encontró diferencia al comparar los grupos control y experimental de los estudiantes de M.V.Z., dicha diferencia parece señalar que existe un efecto positivo en el aprendizaje de anatomía sistémica al trabajar con los modelos anatómicos tridimensionales; tal como refieren Johannes y colaboradores (2016), quienes encontraron resultados favorables en el aprendizaje de anatomía craneana en los estudiantes que utilizaron modelos tridimensionales, mostrando una retroalimentación formativa, comprensión y relación de estructuras. De hecho, de acuerdo con Gil y Gómez (2018), la enseñanza anatómica promueve el desarrollo de habilidades espaciales en los estudiantes para la comprensión de relaciones estructurales. Por lo tanto, los estudiantes de la licenciatura de M.V.Z. presentaron un desarrollo de habilidades visuo-espaciales a través del uso de modelos tridimensionales, reflejado en la adquisición de conocimientos respecto a la identificación de estructuras anatómicas y relaciones espaciales, accediendo a los sentidos a través de herramientas táctiles e incrementando los canales de aprendizaje (Kinnison *et al.*, 2009; Tefera, 2011; Yammine y Violato, 2016). Al utilizar los modelos tridimensionales, los estudiantes pueden desarrollar habilidades visuo-espaciales fundamentales para mejorar su aprendizaje de anatomía y con un entrenamiento adecuado futuro, el estudiante pueda adoptar un papel activo y lograr un pensamiento multidimensional para su desempeño

académico y profesional (Vázquez y Noriega, 2011; Carapia y Angulo, 2013; Mataix *et al.*, 2015; Villa *et al.*, 2015).

En este estudio se abordó el uso de modelos tridimensionales como herramientas auxiliares en la enseñanza de la anatomía, dichos modelos presentaron un efecto en el proceso enseñanza-aprendizaje; reafirmando con los resultados del presente lo que otros estudios han mencionado, que estas herramientas (modelos tridimensionales, impresiones 3D, realidad virtual) son un complemento al método tradicional (imágenes bidimensionales), que incrementan la retención de conocimientos anatómicos, maximizan el aprendizaje y, son propicios para aplicarse en esta y otras áreas relacionadas con la anatomía, tales como la genética, evolución y la ecología (Codd y Choudhury, 2011; Tefera, 2011; Azer y A., 2016; Estai y Bunt, 2016; Gutiérrez *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2018; De Alcântara *et al.*, 2019). García y colaboradores (2014), proponen sumar nuevas tecnologías al método tradicional de enseñanza de anatomía, con la finalidad de motivar y fomentar la formación en alumnos mejor preparados y con capacidad para resolver problemas en la práctica. De manera similar, Scalese e Issenberg (2005), mencionaron que las herramientas auxiliares facilitan la adquisición de habilidades que a futuro podrán utilizarse en situaciones reales y favorecen el proceso de retroalimentación en las decisiones y acciones, lo que ya se ha comprobado, por ejemplo, bajo ciertas situaciones en la industria de aviación, en donde el entrenamiento proporciona habilidades a los pilotos.

Al evaluar la adquisición de conocimientos durante el método tradicional de enseñanza de la anatomía (con uso de imágenes bidimensionales), las evaluaciones se dirigen hacia la memorización del tema, dejando de lado el análisis del nivel de comprensión, el desarrollo de habilidades y competencias que requiere el estudiante para su futuro ejercicio profesional (Murcia, 2016). Pero al utilizar herramientas auxiliares, como las empleadas en el presente estudio, es posible lograr una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de las ciencias biológicas y de la salud, destacando su efecto positivo

en la licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, en donde mejoró la comprensión anatómica en los estudiantes evaluados y por tanto, favorece el desarrollo de habilidades y competencias que en el futuro profesional de estos estudiantes podrán dirigirse a la identificación, orientación, descripción y relaciones de las diferentes estructuras anatómicas (Baillie *et al.*, 2005; Valliyate *et al.*, 2012; Murcia, 2016; Soler *et al.*, 2016; Xiberta y Boada, 2018). Debido al efecto que mostró cada licenciatura con el uso del modelo tridimensional relacionado principalmente a las diferencias de habilidades visuo-espaciales, se recomienda realizar un estudio para medir dichas habilidades entre licenciaturas.

2.10. Conclusiones

El uso de modelos tridimensionales de cráneo utilizados en el presente estudio mostró un efecto positivo en el aprendizaje de la anatomía sistémica y morfofuncional, permitiendo la adquisición de conocimientos a través de la adición de herramientas táctiles y tridimensionales. Es así que la implementación de modelos tridimensionales para la enseñanza de anatomía se muestra como una opción didáctica y complementaria para mejorar el aprendizaje en los estudiantes, sin embargo, debe considerarse el desarrollo de habilidades visuo-espaciales y las necesidades que requiere cada estudiante para su aprendizaje, lo que permitirá elegir una herramienta adecuada (modelos tridimensionales, realidad virtual, programas informáticos) para cada licenciatura; todo ello con la finalidad de que los estudiantes adquieran competencias a nivel académico y laboral.

2.11. Referencias

- Ajayi I., Shawulu C.J., Zachariya S.T., Ahmed S., Adah B., (2012). Osteomorphometry of the bones of the thigh, cruz and foot in the New Zealand White rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Italian Journal of Anatomy and Embriology*, 117(3): 125-133 pp.
- Allouch G., (2014). Scientific technique for skeletons preservation and preparation of anatomical models to promote veterinary anatomy. *Journal of Veterinary Anatomy*, 7(2):133-139 pp.
- Araujo C.J.C., (2017). Del cadáver a la realidad virtual en el aprendizaje de la anatomía humana en la Escuela de Medicina de la Universidad de Zulia. *Revista Argentina de Anatomía Online*, 8(3):98-101 pp.
- Araujo C.J.C., (2018). Aspectos históricos de la enseñanza de la anatomía humana desde la época primitiva hasta el siglo XXI en el desarrollo de las ciencias morfológicas. *Revista Argentina de Anatomía Online*, 9(3):87-97 pp.
- Arrondo G., Bernacer J., Robredo D.L., (2016). Visualización de modelos digitales tridimensionales en la enseñanza de anatomía: principales recursos y una experiencia docente en neuroanatomía. *Educación Médica*, 94:1-3 pp.
- Ávila F.J.S., (2016). Diseño de material didáctico para la enseñanza de anatomía. Universitat Politècnica de València, Spain. 1015-1030 pp.
- Ávila F.J.S., De Rossi E.M., Martínez T.M., (2018). Modelos anatómicos personalizados impresos en 3D como herramientas para el aprendizaje y la preparación de intervenciones. *Revista Colombiana de Enfermería*, 17(13):31-38 pp.
- Azer S., Azer S., (2016). 3D Anatomy models and impact on learning: a review of the quality of the literature. *Health Professions Education*, 2:80-98 pp.
- Baillie S., Mellor D., Brewster A.S., Reid W.S., (2005). Integrating a bovine rectal palpation simulator into an undergraduate veterinary curriculum. *Journal of Veterinary Medicine*, 32(1): 79-85 pp.
- Berney S., Bétrancourt M., Molinari G., Hoyek N., (2015). How spatial abilities and Dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models. *Anatomical Sciences Education*, 8:452-462 pp.

- Blits K., (1999). Aristotle: Form, function, and comparative anatomy. *The Anatomical Record*, 257:58-63 pp.
- Bramble D., (1989). Cranial specialization and locomotor habit in the Lagomorpha. *American Zoologist*, 29:303-317 pp.
- Cañete B.G., Sánchez P.J.M., Noda C.L., (2014). Ensamblaje artesanal de un esqueleto canino mediante variantes de la osteotecnia. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(09).
- Carapia A.M., Angulo A.C., (2013). Estimulación de la inteligencia espacial como recurso para incrementar la capacidad de representación tridimensional en alumno de diseño gráfico. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. 147 pp.
- Codd A., Choudhury B., (2011). Virtual reality anatomy: is it comparable with traditional methods in the teaching of human forearm musculoskeletal anatomy? *Anatomical Sciences of Anatomists*, 4:119-125 pp.
- Collipal L.E., Silva M.H., (2011). Estudio de la anatomía en cadáver y modelos anatómicos. Impresión de los estudiantes. *International Journal of Morphology*, 29(4):1181-1185 pp.
- Cury S.F., Censoni B.J., Ambrósio C.E., (2013). Técnicas anatómicas no ensino da prática de anatomía animal. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(5):688-696 pp.
- Chen S., Pan Z., Wu Y., Gu Z., Li M., Liang Z., Zhu H., Yao Y., Shui W., Shen Z., Zhao J., Pan H., (2017). The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 7(575): 1-11 pp.
- Dalgarno B., Harper B., (2003). 3D Enviroments for spatial learning: the importance of learning task design. *Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education*, 142-151 pp.
- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Mendonca de A.B., Pereira S.B., Domanski B. E., Santos F.J., Rosa J.J.C., Delys O.F., Ramos S.S., Chaves A.N.A., (2017). Biomodelos ósseos produzidos por intermédio da mpressão 3D: uma alternativa

- metodológica no ensino da Anatomia Veterinária. *Revista de Graduação USP*, 2(3):47-53 pp.
- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Rosa J.J.C., Chaves A.N.A., (2019). Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing. *3D Printing in Medicine*, 5(13).
- El-Ghazali H., El-Behery E., (2018). Comparative macro-anatomical observations of the appendicular skeleton of New Zealand rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) and Domestic Cat (*Felis domestica*) thoracic limb. *International Journal of Veterinary Science*, 7(3):127-133 pp.
- Estai M., Bunt S., (2016). Best teaching practices in anatomy education: a critical review. *Annals of Anatomy*, 208:151-157pp.
- Friedman C., Dev P., Dafoe B., Murphy G., Feliciano R., (1994). Initial validation of a test of spatial knowledge in anatomy. *Informatic Professionals Leading the Way*, 791-795 pp.
- García H.F., (2003). Evaluación del aprendizaje práctico de la anatomía humana para odontología en la universidad de Antoagasta, Chile. *International Journal of Morphology*, 21(1):43-47 pp.
- García T.J.A., Avendaño P.R., Martínez A.J.J., (2014). El uso de la tecnología en la enseñanza de la anatomía en México y su comparación con la enseñanza tradicional. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 57(3).
- Gil A.M.L., Gómez S.E., (2018). Estudio de factibilidad para la impresión 3D de modelos anatómicos con fines académicos en Medellín. Universidad EAFIT, 90 pp.
- González N.O., Suárez S.G., (2018). Los medios de enseñanza en la didáctica especial de la disciplina Anatomía Humana. *Revista Médica Electrónica*, 40(4): 1127-1138 pp.
- Gürbüz I., Demiraslan Y., Aslan K., (2015). Morphometric analysis of the skull of New Zealand Rabbit (*Oryctolagus cuniculus* L.) according to gender. *Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 1(2):27-32 pp.

- Gutiérrez J.C., Gómez J.M., Sudel G., Prater R.M., (2017). Anatomical knowledge in veterinary medical students in Chile. *Investigación en Educación Médica*, 6(22):70-74 pp.
- Horst W.K., Witch H., Snipes R., Timmermans P.J., Paulsen F., Rune G., Vogt-Baumgart E., (2008). The dissection course necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students. *Annals of Anatomy*, 190:16-22 pp.
- Hussain M., Hussain N., Zainab H., Qaiser S., (2007). Skeletal preservation techniques to enhance veterinary anatomy teaching. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 1:21-23 pp.
- Inzunza O., Caro I., Mondragón G., Baeza F., Burdiles A., Salgado G., (2015). Impresiones 3D, nueva tecnología que apoya la docencia anatómica. *International Journal of Morphology*, 33(3):1176-1182 pp.
- Johannes K., Powers J., Couper L., Silberglitt M., Davenport J., (2016). Tangible models and haptic representations aid learning of molecular biology concepts. Meeting Cognitive Science Society in Philadelphia, PA.
- Kinnison T., Forrest D.N., Freat P.S., Baillie S., (2009). Teaching bovine abdominal anatomy: use of a haptic simulator. *Anatomical Sciences Education*, 2:280-285 pp.
- Knight A., (2007). La efectividad de los métodos de enseñanza humanitaria en la educación veterinaria. *ALTEX*, 24(2):91-109 pp.
- Kyllonen P., Woltz D., Lohman D., (1984). Componential modeling of alternative strategies for performing spatial tasks. *Journal of Educational Psychology*, 76(6): 1325-1345 pp.
- Lima M.H.A., Flores S.S.L., Daronco C.A., Miglino M.A., (2018). Tendências do ensino de Anatomia Animal na graduação de Medicina Veterinária. *Revista de Graduação USP*, 3(2): 25-32 pp.
- López F.B., Sandoval M.C., Giménez M.A.M., Rosales V.P., (2011). Valoración de la actividad de modelos anatómicos en el desarrollo de competencias en alumnos universitarios y su relación con estilos de aprendizaje, carrera y sexo. *International Journal of Morphology*, 29(2):568 pp.

- Louei M.A., (2013). Applied anatomy of the rabbit's skull and its clinical application during regional anesthesia. *Global Veterinaria*, 10(6):653-657 pp.
- Mataix S.J., León R.C., Montes T.F., (2014). Las habilidades espaciales de los estudiantes de las nuevas titulaciones técnicas. Estudio en la universidad de Granada. *Expresión Gráfica Arquitectónica*, 19(24):264-271.
- Mataix S.J., León R.C., Reinoso G.J.F., (2015). Métodos de entrenamiento de las habilidades espaciales de los estudiantes de titulaciones técnicas. *Expresión Gráfica Arquitectónica*, 278-287pp.
- Miana V., Prieto G.E., (2019). Estrategias didácticas para promover el aprendizaje de ciencias biológicas y anatomía. *Revista Docencia Universitaria*, 20(1):19-32 pp.
- Mompeó C.B., (2014). Metodologías y materiales para el aprendizaje de la anatomía humana. Percepciones de los estudiantes de medicina "nativos digitales". *Fundación Educación Médica*, 17(2):99-104 pp.
- Murcia H.A., (2016). Diseño de guías didácticas para la enseñanza aprendizaje de la morfología humana a estudiantes de citohistotecnología primer semestre fundación universitaria de ciencias de la salud -FUCS, Bogotá.
- Narváez H.E., Murillo R.E.I., (2014). Herramientas de estudio utilizadas por alumnos de ciencias de la salud en la materia de Anatomía. *Investigación en Educación Médica*, 3(12):204-208 pp.
- Núñez C.S., Gajardo P., Lizana P., Vega F.G., Hormazabal P.A., Binivignat O., (2018). Percepción de los Estudiantes de anatomía humana frente a un método de enseñanza y aprendizaje basado en la construcción de un modelo de pelvis. *International Journal of Morphology*, 36(1):221-225 pp.
- Özkadif S., Eken E., (2016). Craniometric measurements of New Zealand Rabbits skull from three-dimensional reconstruction images. *Journal and Veterinary Sciences*, 2(1):9-14 pp.
- Pérez M., Rojo C., Encinas T., (2009). Modelos Animales en Anfibios. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 3(2):1988-2688 pp.
- Post L., (2013). Bone Builder Notebook, Or More than you Really Wanted to Know about Preparing Animal Skeletons for Articulation. Vol 10. Homer, AK. 146 pp.

- Preece D., Williams S., Lam R., Weller R., (2013). "Let's get physical": Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 6:216-224 pp.
- Proust M., (2009). Using JMP. A Business Unit of SAS.
- Rodríguez P.D., Ramírez Z.J., (2009). Técnica de conservación de huesos en peróxido de hidrógeno. *Medicina Legal de Costa Rica*, 26(2).
- Salih K., (2013). Gross anatomical and morphometrical studies to the skull bones of the local rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Basrah Journal of Veterinary Research*, 12(2).
- Scalese R., Issenberg B., (2005). Effective use of simulations for the teaching and acquisition of veterinary professional and clinical skills. *Journal of Veterinary Medical Education*, 32(4).
- Siang Y.T., (2002). Galen (130-201 A.D.): History's most enduring medic. *Singapore Medical Journal*, 43(3):116-117 pp.
- Soler Y., Ramírez W., Yaguana J., Antúnez G., Flores A., (2016). Modelos alternativos al servicio de la enseñanza y la bioética en Medicina Veterinaria. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(12):1-10 pp.
- Spinner R., Vincent F.J., Wolanskyj A., (2011). Discovering the Elusive Beauchêne: The originator of the disarticulated anatomic technique. *Clinical Anatomy*, 24:797-801 pp.
- Tefera M., (2011). Enhancing cognitive learning in Veterinary Osteology through student participation in skeleton preparation project. *Ethiopian Veterinary Journal*, 15(1):87-102 pp.
- Ugidos L.M.T., Blaya H.F., Ruggiero A., Manzoor S., Juanes M.J.A., (2019). Evaluation of the Applicability of 3D models as perceived by the students of health sciences. *Journal of Medical Systems*, 43:108 pp.
- Valliyate M., Robinson N.G., Goodman J.R., (2012). Current concepts in simulation and other alternatives for veterinary education: a review. *Veterinarni Medicina*. 57(7):325-337 pp.

- Vázquez M.S., Noriega B.M., (2011). Razonamiento espacial y rendimiento académico. *Interdisciplinaria*, 28(1): 145-158 pp.
- Vélez G.J.F., Ruiz L.R., (2017). Reflexión sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje de la anatomía veterinaria. *International Journal of Morphology*, 35(3): 888-892 pp.
- Villa S.A., Alpiste P.F., Torner R.J., (2015). Desarrollo y evaluación de las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería. Actividades y estrategias de resolución de tareas espaciales. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 350pp.
- Wiles I., (1950). Scientific apparatus and laboratory methods. *Science*, 75: 516-17 pp.
- Xiberta P., Boada I., (2018). IVET, an interactive veterinary education tool. *Journal Animal Science*, 97:932-944 pp.
- Yamine K., Violato C., (2016). The effectiveness of physical models in teaching anatomy: a meta-analysis of comparative studies. *Advances in Health Sciences Education*, 21(4):883-895 pp.

Capítulo 3. Uso de modelos anatómicos tridimensionales sintéticos para la enseñanza e interpretación de adaptaciones morfológicas de especies silvestres ante diferentes nichos ecológicos.

3.1. Resumen

El estudio morfológico de los elementos óseos es una herramienta valiosa para la taxonomía, la cual ha permitido la definición de grandes grupos de vertebrados y la descripción e identificación de especies. De modo que, es de particular interés para los biólogos y ecólogos el análisis de la adaptación, es decir, las relaciones existentes entre la diversificación morfológica de individuos, poblaciones, especies o taxones superiores, y la variación del hábitat en que se desarrollan. El estudio de la ecología a diferentes niveles requiere de herramientas que la faciliten y lleven el aprendizaje a niveles más altos que son la adquisición de la información. Desafortunadamente, es común que la enseñanza de dichas áreas del conocimiento ocurra de forma particularizada y con el apoyo únicamente de textos e imágenes, dificultando en el estudiante la asociación de variables que dirijan la adquisición de conocimientos relacionados con la adaptación de los animales a su medio. El objetivo del presente estudio fue evaluar dos estrategias de aprendizaje de anatomía comparativa morfofuncional en el contexto ecológico de especies silvestres, en estudiantes de las licenciaturas de Biología y Medicina Veterinaria y Zootecnia (M.V.Z.), con la finalidad de integrar los conocimientos anatómicos, morfofuncionales y ecológicos para su aplicación en distintas áreas. El material biológico para la realización del presente estudio se obtuvo de vertebrados silvestres atropellados en el sureste mexicano. La selección de los ejemplares se basó en los hábitos antagonistas entre cuatro especies, dos correspondientes a la misma familia Procyonidae y dos del mismo orden Xenarthra. A partir de los cuatro cráneos de las especies mencionadas se generaron replicas sintéticas mediante escaneo e impresión tridimensional. Los modelos tridimensionales se utilizaron como herramienta educativa para favorecer la adquisición de conocimientos, la eficiencia de la herramienta se evaluó al realizar comparaciones entre estudiantes que la utilizaron, en conjunto con la enseñanza anatómica tradicional basada en el uso de esquemas bidimensionales (grupo experimental), contra estudiantes que solo recibieron la enseñanza tradicional (grupo control).

Además, se realizaron comparaciones utilizando los subgrupos de licenciatura en Biología y licenciatura en M.V.Z., los alumnos evaluados cursaban entre el 2º y 3er año en ambas licenciaturas. Los resultados de las evaluaciones se procesaron con el paquete estadístico JMP mediante un Análisis de Varianza de un solo factor (ANOVA), integrando la prueba de medias Tukey. El uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de anatomía morfofuncional mostró diferencia significativa ($P < 0.0017$) respecto a la inferencia sobre la morfología craneana en relación con la función ecológica de las especies silvestres.

Palabras clave: Aprendizaje, ecología, elementos óseos, anatomía comparada, morfología.

3.2. Abstract

The morphological study of bone elements is a valuable tool for taxonomy that has allowed the definition of large groups of vertebrates and, the description and identification of species. Thus, the analysis of adaptation is of interest for biologists and ecologists, that is, the relationships between the morphological diversification of individuals, populations, species or higher taxa, and the variation of the habitat in which they develop. The study of ecology at different levels requires tools that facilitate the acquisition of information. Unfortunately, it is common that the teaching of these areas occur in a particularized way and with the only support of texts and images, producing difficulties for the student to associate variables that improve the acquisition of knowledge related to the adaptation of animals to their environment. The objective of this study was to evaluate two learning strategies of comparative morpho functional anatomy in the ecological context of wild species, in students of the degrees of Biology and Veterinary Medicine (M.V.Z.), in order to integrate anatomical, morpho functional and ecological knowledge, for its application on different areas. The biological material for this study was obtained from wild vertebrates' road-killed in the Mexican southeast. The selection of the specimens was based on the antagonistic habits between four species, two species of Procyonidae family and two species of Xenarthra order. Skull synthetic replicas were generated from the four natural skulls of the mentioned species by scanning and three-dimensional printing. The three-dimensional models were used as an educational tool to favor

the acquisition of knowledge, the efficiency of the tool was evaluated by making comparisons between students who used it in conjunction with traditional anatomical teaching based on the use of two-dimensional schemes (experimental group) against students who only received traditional education (control group). In addition, comparisons were made using the subgroups of undergraduate in Biology and undergraduate in M.V.Z., the evaluated students were studying between the 2nd and 3rd year in both degrees. The results of the evaluations were processed with the JMP statistical package using a one-factor Analysis of Variance (ANOVA), integrating the Tukey test. The use of three-dimensional models in the teaching of morpho functional anatomy showed a significant difference ($P < 0.0017$) with respect to the inference on cranial morphology in relation to the ecological function of wild species.

Key words: Learning, ecology, bone elements, comparative anatomy, morphology.

3.3. Introducción

La anatomía es una de las ciencias más antiguas, es eminentemente descriptiva, y estudia la forma y estructura de los organismos; además, es uno de los tópicos fundamentales de la enseñanza de las ciencias médico-biológicas (Horst *et al.*, 2008; Tefera, 2011; Cañete *et al.*, 2014). La anatomía es indispensable para la comprensión de la función de los organismos vivos (Narváez y Murillo, 2014). Dentro de las ramas de la anatomía se encuentra la osteología, ciencia que estudia los huesos, por lo tanto, el estudio del esqueleto cobra gran importancia en la educación médico-biológica (Tefera, 2011). Los esqueletos proporcionan a los estudiantes del área médico-biológica un método práctico para el aprendizaje de la anatomía comparada, ya que su empleo proporciona una herramienta visual y táctil para relacionar estructuras. Los esqueletos forman parte de los modelos animales y para su obtención se emplean animales de distintas especies incluidos los humanos. Los esqueletos son utilizados en investigación y docencia, son piezas importantes en las salas de anatomía y museos, las cuales tienen como finalidad promover la comprensión de las estructuras óseas (Hussain *et al.*, 2007; Allouch, 2014).

El estudio morfológico de los elementos óseos son una herramienta valiosa para la taxonomía, el cual ha permitido la definición de grandes grupos de vertebrados y la descripción e identificación de especies. La utilización de material osteológico resulta de suma utilidad para el análisis morfológico y sistemático en vertebrados, siendo necesarios para conocer en detalle las distintas estructuras óseas, ya que la adaptación deriva en cambios morfológicos, fisiológicos y de comportamiento (Wainwright y Reilly, 1995; Deli *et al.*, 2008). Debido a la estructura compleja que representa el cráneo y la diversidad de funciones que realiza, los cambios estructurales que presenta a nivel de especie se asocian a comportamientos agonistas e intraespecíficos (Bramble, 1989; Taylor, 2018; Shi *et al.*, 2020). La morfología craneana es considerada fundamental para la identificación taxonómica y el análisis sistemático, por ello los datos obtenidos de la identificación de fósiles y piezas óseas tienen diversas aplicaciones paleontológicas, en la biología de la conservación y en estudios a gran escala de paleo-biogeografía (Bell y Mead, 2014). Por lo anterior, es de particular interés para los biólogos y ecólogos el estudio de las adaptaciones, es decir, el estudio

de las relaciones existentes entre la diversificación morfológica de individuos, poblaciones, especies o taxones superiores, y la variación del hábitat en que se desarrollan (Costa *et al.*, 2007).

El aprendizaje de ecología a diferentes niveles requiere de herramientas que la faciliten y lleven el aprendizaje a niveles más altos para la mejor adquisición de la información. Desafortunadamente, es común que la enseñanza de dichas áreas del conocimiento ocurra de forma particularizada y con el apoyo únicamente de textos e imágenes (Gross *et al.*, 2017), dificultando en el estudiante la asociación de variables que dirijan la adquisición de conocimientos relacionados con la adaptación de los animales a su medio. Por lo que, la falta de herramientas educativas se muestra como un problema para la formación de profesionistas en el área biológica.

3.4. Revisión Bibliográfica

3.4.1. Morfología y Ecología: un conocimiento integral y aplicado

La morfología ósea de las especies está relacionada con sus interacciones en el ecosistema y se liga íntimamente con la morfología funcional, la cual se define como el estudio de la forma de las estructuras de los organismos en relación con sus funciones, y muestra como los diseños anatómicos particulares se favorecen por la selección natural. Por su parte, la morfología ecológica se define como el estudio de la forma en relación con el papel de la especie dentro de su comunidad y los factores ambientales (bióticos y abióticos) que le rodean y por lo tanto abarca a la morfología funcional, reflejando las diferencias morfológicas a partir de la estructura y tamaño del hueso. Así, los estudios eco-morfológicos pretenden establecer relaciones entre la forma de las estructuras y su función dentro de un contexto ecológico para un grupo de organismos (Aerts *et al.*, 2000; De Esteban, 2011; Maestri *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2020).

Otra aplicación de los estudios eco-morfológicos es la paleontología, los resultados obtenidos a partir de especies actuales se utilizan para inferir funciones sobre las especies extintas. Por ello, la utilización de material osteológico resulta de suma utilidad para el análisis morfológico y sistemático en

vertebrados, siendo necesarios para conocer en detalle las distintas estructuras óseas, de tal forma que, la adaptación deriva en cambios morfológicos, fisiológicos y de comportamiento (Wainwright y Reilly, 1995; Deli *et al.*, 2008).

Las diferencias morfológicas optimizan el uso de recursos y evitan el traslape en varias especies facilitando su coexistencia (Shi *et al.*, 2020). De modo que, es de particular interés para los ecólogos el estudio de la adaptación, es decir, el estudio de las relaciones existentes entre la diversificación morfológica de individuos, poblaciones, especies o taxones superiores, y la variación del hábitat en que se desarrolla (Costa *et al.*, 2007). Así, la enseñanza de los mecanismos de adaptación implica la comprensión y asociación de diversas variables, por ejemplo: 1) el comportamiento de un animal, el cual involucra la locomoción y algunas medidas de rendimiento, p. ej. velocidad y resistencia, y 2) sus bases morfológicas, p. ej. longitud de las extremidades y tamaño del corazón (Wainwright y Reilly, 1995). De esta manera la morfología resulta en una herramienta indispensable para la enseñanza de ecología (Hussain *et al.*, 2007; Tefera, 2011; Allouch, 2014).

3.4.2. Importancia morfofuncional del cráneo

Para una mejor comprensión del valor adaptativo de los rasgos morfológicos, es necesario investigar como un organismo presenta dichas funciones ecológicamente relevantes, como se relaciona la estructura con la función, si la variación tiene bases genéticas y presenta impactos en el proceso reproductivo (Kraatz *et al.*, 2016). Los elementos craneales son considerados los más importantes para la identificación taxonómica y el análisis sistemático (Bell y Mead, 2014).

Los mamíferos han evolucionado destacando una diversidad de estrategias de alimentación, asociadas a las adaptaciones morfológicas y de comportamiento, sin embargo, las variaciones morfológicas están relacionadas principalmente al tipo de alimentación (Timm *et al.*, 2015; Santana y Cheung, 2016). Un claro ejemplo, es el de carnívoros, que presentan adaptaciones morfológicas que les permiten resistir el estrés mecánico, algunas adaptaciones son las mandíbulas

con fosa masetérica profunda, desarrollo de músculos que intervienen en la masticación, incisivos y caninos alargados, y molares con bordes cortantes; así, desde el punto de vista de la anatomía funcional, este grupo presenta adaptaciones similares en términos de morfología cráneo-dental (Muñoz y Fuentes, 2012; Tseng y Flynn, 2018). Lo mismo ocurre en la morfología craneana de los murciélagos, la cual es compatible con la función de sus hábitos alimenticios, mostrando un número de rasgos adaptativos que permiten inferir el tipo de dieta; por ejemplo: la fuerza de masticación entre murciélagos insectívoros es mayor en comparación con los nectarívoros, dichas diferencias se pueden apreciar en ciertos huesos del cráneo (cresta sagital, huesos supraoccipitales, arco cigomático) y mandíbula (dentición, proceso coronoides, proceso angular, cóndilos), reflejando propiedades biomecánicas (Nogueira *et al.*, 2009; Santana y Cheung, 2016; Shi *et al.*, 2020).

La forma convergente del cráneo es energética entre vertebrados, por tanto, es frecuente inferir funciones ecológicas de las especies simplemente observando la morfología craneana (Tseng y Flynn, 2018). La convergencia entre conejos y rumiantes se puede inferir a partir de la oclusión y movimientos masticatorios en función del tipo de alimentación (Herring, 2003). De manera similar los lagomorfos representan la evolución convergente de los roedores sobre la base de sus dientes (Kraatz *et al.*, 2016). El orden Carnivora es uno de los más diversos ecológicamente con evidencias fósiles, la variación morfológica craneana se asocia en función de distintos rasgos ecológicos como hábitos alimenticios, madurez sexual, hábitat, entre otros (Timm *et al.*, 2015; Tseng y Flynn, 2018). Tseng y Flynn (2018), reportan ciertas correlaciones respecto a la forma craneal, tal es el caso de la morfología del cráneo y la madurez sexual en carnívoros, los cambios que se observan son una bóveda craneal amplia y elevada dorsalmente, la región post orbital es estrecha, expansión de las crestas occipitales en especies con madurez sexual tardía; así como las especies que viven en regiones con mayor precipitación muestran una bóveda craneal alargada y estrecha, la región post orbital y arco cigomático son estrechos. La variable de la precipitación está relacionada con la fuerza de masticación (que ejercen especies que viven en regiones con mayor o menor precipitación) y con

la búsqueda del alimento, mostrando diferencias en el desarrollo de músculos temporales que ocupan el espacio entre cresta sagital y arcos cigomáticos.

Algunas estructuras fundamentales del cráneo son las piezas dentales porque a través de esto se pueden inferir las funciones ecológicas de especies actuales y fósiles, para analizar su afiliación taxonómica y reconstruir sus relaciones filogenéticas (Galbany *et al.*, 2014). La morfología dental permite estimar la importancia de la adaptación respecto a los hábitos alimenticios a partir del patrón de distribución de cúspides, tal es el caso de los primates Cercopitecoideos que se alimentan principalmente de hojas y presentan una reducción en el número de cúspides (4) de los molares inferiores (morfología bilofodonta), en comparación con los Hominoideos (entre los que se encuentran los humanos) que presentan una dentición más generalizada manteniendo la morfología ancestral con cúspides bajas y redondeadas (morfología bunodonta), adecuada para la trituración de frutos y semillas, como se observa en la Figura 3.4.2.1. (Pérez *et al.*, 2010; Galbany *et al.*, 2014).



Figura 3.4.2.1 Morfología bilofodonta de los primates Cercopitecoideos principalmente folívoros (izquierda) y bunodonta de los Hominoideos principalmente omnívoros (derecha). Imagen tomada de Pérez y colaboradores (2010).

La importancia de la morfología del cráneo en función de la ecología de las especies radica en observar y analizar las diferencias entre estructuras del cráneo, identificar parámetros diferenciales entre especies de la misma familia, género u orden, e inferir hábitos, historias de vida y variables ambientales de especies cuya ecología es relativamente poco conocida (Medellin, 1991; Tseng y Flynn, 2018). Tal es el caso de la historia de vida evolutiva en lepóridos, marcada por la morfología del cráneo, que representa adaptaciones a lo largo del tiempo, algunos indicios son la inclinación de la región facial, maxilares,

piezas dentarias, la forma del hueso supraoccipital, el tamaño de las bullas timpánicas y las regiones fenestradas que éstos poseen impulsados por factores ecológicos, principalmente en función del tipo de locomoción (cursorial o generalista). La inclinación de la región facial permite la expansión del hueso supraoccipital, causando un acortamiento de los huesos preesfenoides y basiesfenoides permitiendo el movimiento intracraneal; la fenestración del cráneo indica una reducción en cuanto al peso del cráneo proporcionando agilidad al animal durante el movimiento (Bramble, 1989; Kraatz, 2015; Kraatz, 2016).

Un caso similar, que representa la morfología en función ecológica de la especie, es el de *Tremarctos ornatus* (oso andino), el cual presenta las siguientes características cráneo-mandibulares respecto a sus hábitos alimenticios (principalmente herbívoro): cráneo corto con una bóveda alta, áreas grandes en las hemimandíbulas para la inserción de músculos temporal y masetero; y órbitas grandes con arcos cigomáticos rectos y bien desarrollados (Figura 3.4.2.2) asociados al patrón de actividad y a mayor visión nocturna (aunque presenta actividad tanto diurna como nocturna) (Stucchi y Figueroa, 2013).

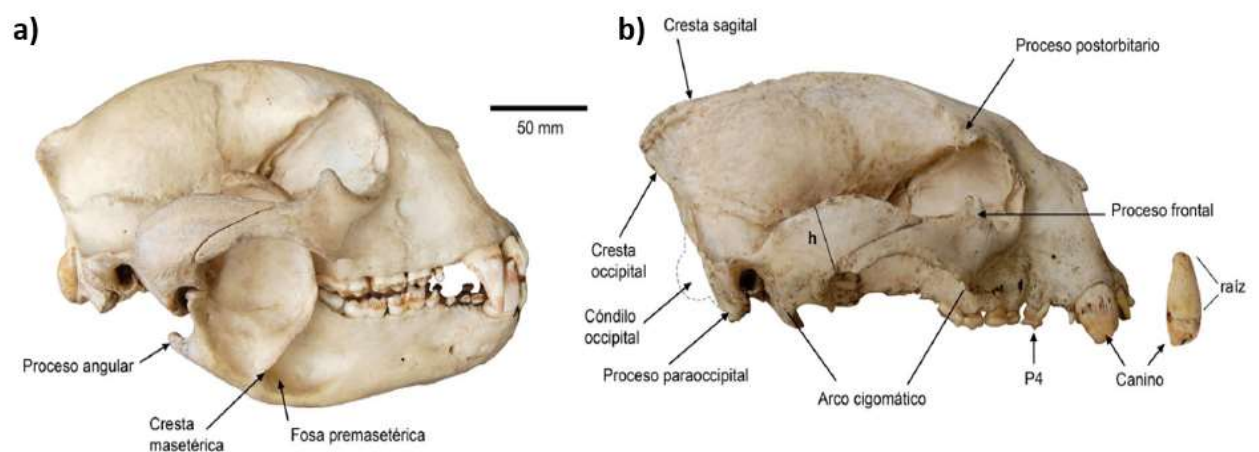


Figura 3.4.2.2 Características cráneo-mandibulares de *Tremarctos ornatus*, a) Macho adulto joven con mandíbula (MUSM To1), b) Macho adulto senil (ND To1). Imagen modificada a partir de Stucchi y Figueroa (2010).

La investigación aplicada del conocimiento y estudio del cráneo en diferentes especies animales continúa creciendo y resaltando la importancia en las áreas osteo-arqueológicas y morfológicas (Salih, 2013). A su vez, la emergencia de nuevas tecnologías en décadas recientes introduce la renovación vital en la investigación morfológica, contribuyendo a las perspectivas holísticas en la evolución de los organismos respecto a distintos sistemas anatómicos, abordando patrones de macroevolución (Bell y Mead, 2014).

3.4.3. Modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía morfofuncional

La preservación de especímenes anatómicos ha sido de vital importancia desde la antigüedad, porque proporciona un método práctico en la enseñanza de anatomía, mejorando la asimilación y comprensión de esta disciplina, preparando a los estudiantes para una situación real y de carácter científico. Las prácticas en laboratorios tienen un papel fundamental en los ámbitos científicos y educativos, impulsando avances en la ciencia y en la adquisición de conocimientos de los estudiantes, facilitando un aprendizaje significativo (Cury *et al.*, 2013). Un aspecto importante entre las técnicas de preservación de piezas óseas es la escasa información y altos costos que conlleva en ciertos grupos de vertebrados (Scanferla, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2017).

Los recursos tecnológicos pueden contribuir con la enseñanza de anatomía para la formación de estudiantes. Con el avance tecnológico, es posible la creación y aplicación de diversas herramientas en las aulas, favoreciendo el proceso enseñanza-aprendizaje, puesto que, la tecnología se encuentra bastante presente en las actividades cotidianas de los estudiantes (Paalman, 2000; López *et al.*, 2011; Preece *et al.*, 2013; De Alcántara *et al.*, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2017; Hackmann *et al.*, 2019).

Durante las dos últimas décadas, ha incrementado el desarrollo y la disponibilidad de métodos de enseñanza, tales como programas informáticos,

preparadores de tareas ópticas, demostraciones de video, sistemas de realidad virtual, modelos plásticos; y con ello se ha orientado a los estudiantes hacia el desarrollo de habilidades y competencias para su formación profesional (Knight, 2007; Guerrero *et al.*, 2010; De Alcântara *et al.*, 2019).

Actualmente en varias instituciones alrededor del mundo, utilizan el método tradicional de enseñanza de anatomía con herramientas complementarias como: programas informáticos, preparadores de tareas ópticas, demostraciones de video, sistemas de realidad virtual, modelos plásticos y muestras plastinadas (material cadavérico procesado para eliminar agua y grasa, y reemplazarlo con un polímero sintético permanente), con el objetivo de disminuir el uso de animales durante las prácticas. Impulsado por una combinación de factores pedagógicos, éticos y económicos, el uso de tecnología y otras alternativas a los métodos tradicionales de capacitación confieren capacidades de comunicación y desarrollo de habilidades espaciales, dirigidas hacia un camino de aprendizaje interactivo (Valliyate *et al.*, 2012; Preece *et al.*, 2013; Bravo, 2019; Ugidos *et al.*, 2019).

Las impresiones 3D se agrupan en la categoría de modelos anatómicos, los cuales pueden emplearse con propósitos educativos, asumiendo un papel muy importante (Juárez *et al.*, 2008). Un ejemplo de ello son las recreaciones tridimensionales de huesos, que se imprimen con los detalles anatómicos casi idénticos al original y proporcionan a los estudiantes detalles necesarios para la comprensión de las estructuras (Ugidos *et al.*, 2019). De modo que, los modelos anatómicos ofrecen distintas dimensiones para el estudio de anatomía debido a que conservan los finos detalles de las piezas, proporcionando al estudiante una herramienta auxiliar para la comprensión de su estudio (Cury *et al.*, 2013; Narváez y Murillo, 2014). Las impresiones 3D tienen un papel significativo en la enseñanza de patología, anatomía veterinaria, reproducción de especímenes de zoológicos, reproducción de especímenes de museos, por nombrar algunas aplicaciones con potencial (McMenamin *et al.*, 2014).

El uso de escáner e impresión 3D representan una opción favorable como herramientas auxiliares en la enseñanza debido a las dificultades para utilizar material real debido a su escasez y altos costos para su obtención y mantenimiento. Así, el uso de modelos tridimensionales se muestra como una herramienta funcional para la identificación y relación espacial de estructuras, facilitando la comprensión de conceptos, formas y funciones (Miana y Prieto, 2019). Los modelos físicos tridimensionales son una herramienta práctica, accesible, específica y altamente detallada, incrementando cada vez más su uso (Valliyate *et al.*, 2012; Narváez y Murillo, 2014; Núñez *et al.*, 2018). El uso de modelos anatómicos tridimensionales en la enseñanza tiene múltiples ventajas, entre ellas: 1) elevar el nivel de conocimientos forjando el desarrollo de habilidades espaciales para relacionar estructuras, 2) preservación de los ejemplares originales y crear mayor número de replicas para propósitos educativos, 3) bajos costos, 4) evita conflictos de bioseguridad, culturales, éticos; por lo tanto, representan una alternativa viable y didáctica (Inzunza *et al.*, 2015; Quinn y Khan, 2016; Yammine y Violato, 2016; Núñez *et al.*, 2018; Hackmann *et al.*, 2019).

La anatomía se puede enseñar con modelos realistas de un animal completo, sin embargo, los modelos existentes son de especies domésticas como gatos, perros, caballos y vacas; sin embargo, al utilizar las impresiones 3D es posible obtener una gran cantidad de otros modelos animales que van desde un pez hasta un caballo y de especies poco comunes (Valliyate *et al.*, 2012). Los modelos impresos 3D pueden funcionar como un complemento a los métodos tradicionales de enseñanza de anatomía, morfología, fisiología, ecología, entre otras disciplinas (Chen *et al.*, 2017).

El conocimiento en anatomía y otras disciplinas se beneficia con el uso de modelos por impresión 3D y archivos digitales, promoviendo el entusiasmo en el alumno debido a la utilización de nuevas y atractivas tecnologías, así como por la reducción en el uso de piezas cadavéricas, sobre todo de aquellas piezas provenientes de ejemplares de especies raras, cuya rareza puede ser debido a su escasa y remota distribución y/o por encontrarse bajo alguna categoría de

riesgo. Esto último deriva en que su utilización disminuye el impacto ambiental y poblacional que la colecta puede producir sobre dicha especie y su hábitat, y adicionalmente la utilización de estos modelos disminuye el uso y manipulación de los ejemplares originales, lo que redundaría en disminución de daño por manipulación y degradación (De Alcântara *et al.*, 2017).

3.5. Objetivo

Evaluar dos estrategias de aprendizaje de anatomía comparativa morfofuncional en el contexto ecológico de especies silvestres, en estudiantes de las licenciaturas de Biología y M.V.Z.

3.6. Hipótesis

El uso de cráneos sintéticos de diversas especies silvestres, como herramienta auxiliar, en la enseñanza anatómica y de los mecanismos de adaptación al medio de los animales puede favorecer la adquisición e integración de dichos conocimientos en estudiantes de las licenciaturas de M.V.Z. y Biología.

3.7. Material y Métodos

3.7.1. Obtención y limpieza de material óseo

El material biológico para la realización del presente estudio se obtuvo de vertebrados silvestres atropellados en el sureste mexicano, estos pertenecen al estudio denominado “Análisis de enfermedades parasitarias de la fauna silvestre del Sureste de México”, autorizado por la Dirección General de Vida Silvestre de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales con número de oficio SGPA/DGVS/03663/11. La colecta, manejo y almacenamiento hasta su llegada a la Ciudad de México se realizó por personal de la UAM-X (Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco) capacitado en el manejo de RPBI (Residuos Peligrosos Biológico-Infeciosos). Todos los ejemplares se colectaron únicamente por personal que utilizó equipo protector, y los ejemplares fueron colocados en bolsas plásticas selladas y congelados a -20°C posterior a su colecta y hasta su procesamiento en el laboratorio. Los ejemplares colectados

fueron trasladados a la Ciudad de México, permaneciendo siempre en bolsas selladas dentro de hieleras herméticas. Una vez en la Ciudad de México los animales fueron entregados y almacenados en los congeladores del laboratorio de Histopatología Veterinaria de la UAM Xochimilco, ya que posee instalaciones adecuadas y equipo necesario para el manejo adecuado de los ejemplares silvestres. El manejo de desecho de RPBI se realizó de la misma forma que se menciona en el capítulo uno.

3.7.2. Selección de especies para el desarrollo de los modelos tridimensionales

La selección de los ejemplares para la enseñanza de anatomía morfofuncional se estableció respecto a los hábitos antagonistas, en relación a uso de hábitat, tipo de alimentación, y patrones de actividad entre cuatro especies, dos correspondientes a la misma familia: Procyonidae y dos del mismo orden: Xenarthra. Los ejemplares del orden Xenarthra fueron: oso hormiguero norteño (*Tamandua mexicana*) y armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), y los de la familia Procyonidae fueron: martucha (*Potos flavus*) y coatí de nariz blanca (*Nasua narica*).

A continuación, de manera general se mencionan los hábitos contrastantes entre las especies seleccionadas para este estudio: el oso hormiguero es un mirmecófago estricto, arbóreo-terrestre, y con un patrón de actividad diurno-nocturno (Redford, 1986; Navarrete y Ortega, 2011; Sandoval *et al.*, 2012). En comparación con los hábitos del armadillo que es un mirmecófago oportunista, el cual también incluye en su dieta otros invertebrados, pequeños vertebrados y materia vegetal; además presenta un patrón de actividad nocturno con picos crepusculares y es estrictamente terrestre (excavan para crear sus madrigueras) (McBee y Baker, 1982; Redford, 1986; Vargas, *et al.*, 2014; Olson *et al.*, 2015). La martucha es un prociónido de tamaño medio, estrictamente nocturno y arbóreo, su alimentación se basa principalmente en frutos, hojas y flores (Ford y Hoffmann, 1988; Kays, 1999; Laferrière, 1999; Ríos y Arispe, 2010; Monterrubio *et al.*, 2013; Hernández, 2015). En contraste con los hábitos que presenta el coatí

que es un prociónido diurno, terrestre, con incursiones a los árboles y, omnívoro basando su alimentación en vertebrados, invertebrados y frutos (Gompper, 1995; Valenzuela y Ceballos, 2000; Beisiegel, 2001; Alves *et al.*, 2004; Hirsh, 2009; Ferreira *et al.*, 2013; Espinoza *et al.*, 2014).

En los siguientes enunciados se detallan algunas particularidades relacionadas con la limpieza, desengrasado y aclarado de las piezas óseas. Todo el proceso se llevó a cabo en el laboratorio de Histopatología Veterinaria de la UAM-X, en donde se seleccionaron los ejemplares con menor daño osteológico y se procedió a su limpieza manual, en la cual se retiró la mayor parte de tejido blando, posteriormente las piezas se introdujeron en un dermestario el cual está compuesto por insectos necrófagos del Orden Coleoptera. Una vez que los dermestidos removieron todo el tejido, se continuó con el desengrasado de los cráneos del oso hormiguero, armadillo y coatí en hidróxido de amonio (NH_4OH) al 50% y, la martucha en un compuesto de peróxido de hidrógeno, ácido alquilbencensulfónico e hidróxido de sodio (Vanish® Reckitt Benckiser, Inc.) al 50% colocados en recipientes herméticos, después se blanquearon en hipoclorito de sodio (cloro comercial) los cráneos del armadillo y martucha a una dilución 2:1 en agua (6.34 % respecto a la concentración de uso doméstico), y el aclarado de los cráneos del oso hormiguero y coatí fue en peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 3%, todo lo anterior siguiendo las recomendaciones de Post (2013).

De acuerdo con las especies del presente estudio, la limpieza en dermestario del oso hormiguero fue de 3 a 7 meses, el armadillo de 3-5 meses, la martucha 4-7 meses y el coatí 4-6 meses. El tiempo para los procesos de desengrasado fue en número de días y dependió del contenido graso de cada una de las especies seleccionadas (7-20 días), sin embargo, el tiempo para el proceso de aclarado constó de minutos dependiendo de la especie (5-40 minutos).

3.7.3. Generación de modelo tridimensional

Para la elaboración de las réplicas sintéticas se utilizó inicialmente un escáner 3D Modelo Einscan-SP (Shinning 3D®, Zhejiang, China) para la captura de imágenes tridimensionales, las imágenes capturadas se almacenaron en formato. stl, posteriormente se editaron en el programa Meshmixer®, versión 3.2. (Autodesk Inc.®, California). Finalmente, cuatro réplicas de cráneos de cada especie fueron impresas en Ácido Poliláctico (PLA) (para obtener un total de 16 modelos) en escala real. Los modelos de cráneos que se observan en la Figura 3.7.3.1. presentan características de resistencia, rigidez, ligereza y alta fidelidad de los detalles anatómicos de las piezas originales.

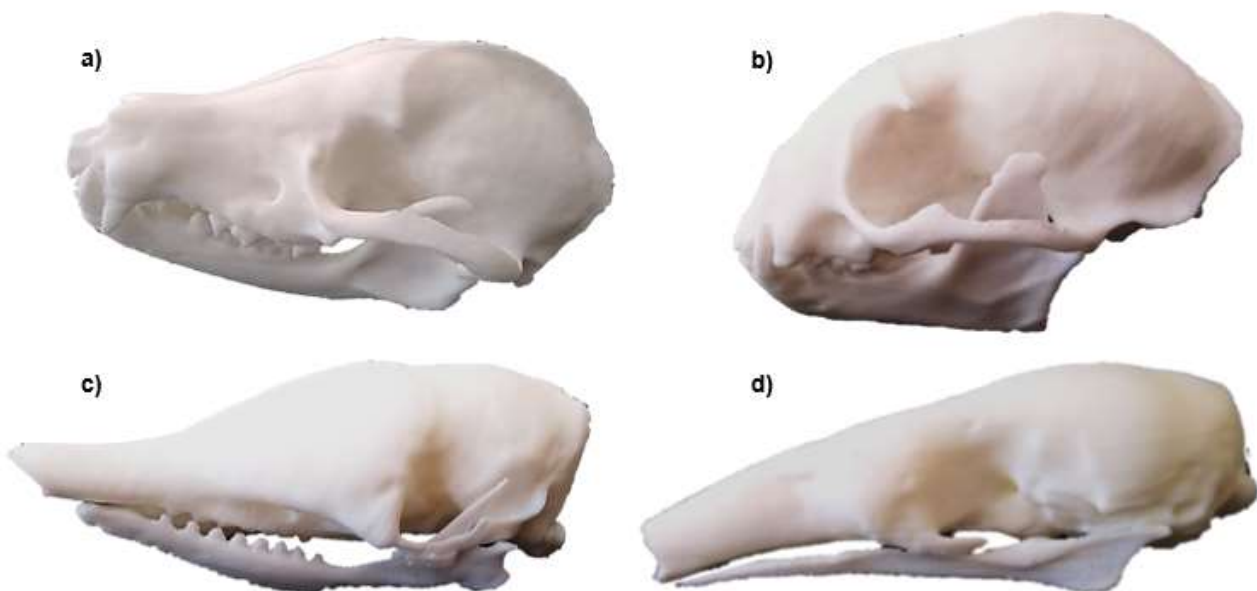


Figura 3.7.3.1 Cráneos impresos 3D. a) coatí b) martucha c) armadillo d) oso hormiguero.

3.7.4. Herramienta de aprendizaje basada en los modelos tridimensionales

Cuando el material osteológico estuvo disponible, así como la selección de particularidades anatómicas contrastantes entre especies relacionadas con su nicho ecológico, se diseñó la herramienta educativa (réplicas sintéticas de cráneos de especies silvestres) dirigida a estudiantes de licenciatura de M.V.Z. y Biología de la UAM-Xochimilco.

De manera general la elaboración de las herramientas de educación implicó 1) la generación de réplicas sintéticas de cráneos de las cuatro especies mencionadas (como se describió previamente), 2) elaboración de una presentación digital-PowerPoint para la explicación morfofuncional de las especies seleccionadas asociadas a sus hábitos (Anexo V), 3) una actividad impresa bidimensional para identificar las estructuras que difieren respecto a la función ecológica (Anexo II). Finalmente, para valorar la adquisición de conocimientos de los estudiantes se elaboró una evaluación previamente descrita en el capítulo 2, de la cual las secciones 2 y 3 corresponden a este capítulo (Anexo III). La sección 2 de la evaluación valoró los conocimientos relacionados con la anatomía morfofuncional e interpretación (Anexo III b) y la sección 3 evalúa la integración de conocimientos morfofuncionales a través de inferir la morfología craneana a partir de una breve descripción textual sobre la funcionalidad (Anexo III c).

Las principales estructuras anatómicas del cráneo que se consideraron en este estudio para la elaboración de la actividad y de la evaluación fueron arco cigomático, proceso cigomático del hueso frontal, huesos nasales, molares y premolares, bulla timpánica, cóndilos occipitales, cresta sagital externa (Figura 3.7.4.1).

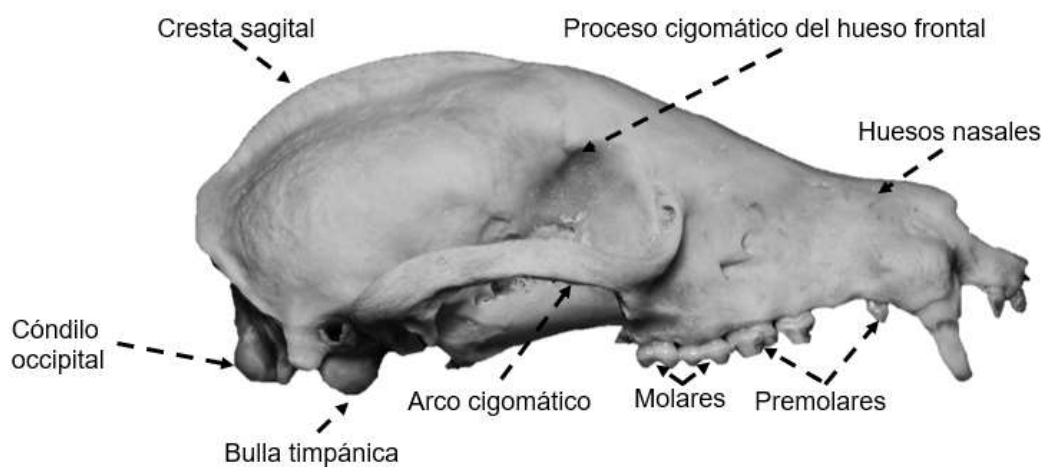


Figura 3.7.4.1 Estructuras anatómicas del cráneo que difieren entre especies, respecto a distinto nicho ecológico. Foto de cráneo de Coatí tomada por Alejandro Ugalde Ruíz.

El arco cigomático junto con los procesos cigomáticos del hueso frontal y temporal participan en la formación de la órbita, en función principalmente del patrón de actividad del animal, las órbitas de mayor diámetro están relacionadas a una visión nocturna. Los huesos nasales se desarrollan en función del aumento o disminución del sentido del olfato, de forma similar, la bulla timpánica aloja parte de la cavidad del oído medio relacionado con el sentido del oído que posee cada animal. Los molares y premolares están asociados principalmente el tipo de alimentación, mostrando adaptaciones en sus superficies dependiendo si el animal es herbívoro, carnívoro, folívoro, omnívoro o frugívoro. La cresta sagital externa también es un elemento del cráneo asociado al tipo de alimentación, se extiende hacia rostral desde la protuberancia occipital, es el sitio en donde se insertan los músculos temporales los cuales intervienen en el proceso de masticación, es muy prominente en animales carnívoros estrictos. Los cóndilos occipitales constituyen las superficies articulares para las foveas de la primera vértebra cervical (articulación atlanto-occipital), permitiendo el paso de médula espinal al encéfalo, estos están asociados al movimiento respecto al hábitat del animal (König y Liebich, 2005; Dyce *et al.*, 2012; Stucchi y Figueroa, 2013).

3.7.5. Diseño de estudio

La implementación de la herramienta educativa se evaluó al comparar el grupo control, en el que la enseñanza de anatomía morfofuncional implicó únicamente el uso de esquemas, contra el grupo experimental, en el que además de lo mencionado se utilizó el modelo tridimensional. Además, se realizaron comparaciones entre los subgrupos por licenciatura (Biología vs M.V.Z.). Los alumnos evaluados cursaban entre el 4º al 9º trimestre (correspondientes al segundo y tercer año) en ambas licenciaturas. En total se evaluaron 85 estudiantes para el grupo control y 95 estudiantes para el grupo experimental.

Los grupos participaron en dos sesiones, la primera corresponde con el capítulo dos de la presente tesis y la sesión del segundo día pertenece al presente capítulo. En la segunda sesión se abordó la enseñanza de anatomía morfofuncional, en ambos grupos, control y experimental.

Para el grupo control se realizó una presentación (con una duración aproximada de 90 minutos) en la cual se explicó el comportamiento y variaciones morfológicas entre especies, además se abordó la identificación en distintas vistas del cráneo: dorsal, ventral, lateral, craneal y caudal, estructuras que indicaban la variación respecto a los hábitos antagonistas (arco cigomático, proceso cigomático del hueso frontal, huesos nasales, molares y premolares, bulla timpánica, cóndilos occipitales, cresta sagital) y, se llevó a cabo la actividad impresa que constaba de distintas vistas del cráneo para cada especie, en donde debían colocar la estructura anatómica correcta respecto a la función ecológica (Anexo II). La misma presentación y actividad fue realizada en el grupo experimental, y en este grupo los estudiantes además tuvieron acceso, al manejo de los cráneos impresos 3D para la identificación de variaciones morfológicas entre especies durante la realización de su actividad. Posterior a la sesión educativa se aplicó la evaluación en ambos grupos.

3.7.6. Evaluación y análisis estadístico

Este estudio tiene un enfoque experimental transversal con variables continuas. Se obtuvo una variable: número de aciertos por sección del examen (secciones dos y tres), dichos datos se procesaron con el paquete estadístico JMP (Proust, 2009), comprobando los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas para realizar un Análisis de Varianza de un solo factor (ANOVA), para comparar la varianza de las medias de los grupos en donde $p < 0.05$ indica diferencias estadísticamente significativas. Se integró la prueba de medias Tukey para comparar las diferencias entre las medias, creando intervalos de confianza y controlando la tasa de error. Se obtuvieron las medias y errores estándar respecto al número de aciertos obtenidos de la evaluación.

Los resultados del presente capítulo corresponden a la sección dos del examen que aborda la anatomía morfofuncional (0-12 aciertos) y la sección tres, referente a la inferencia de variaciones morfofuncionales (0-10 aciertos).

3.8. Resultados

3.8.1. Uso de modelos tridimensionales en la enseñanza de Anatomía Morfofuncional (Sección 2)

Los resultados obtenidos de la comparación entre grupos control (8.5 ± 0.21) vs experimental (7.4 ± 0.21) para la adquisición de conocimientos morfofuncionales, valorados en la sección dos de la evaluación, mostraron diferencia significativa ($P < 0.0002$) (Figura 3.8.1.1).

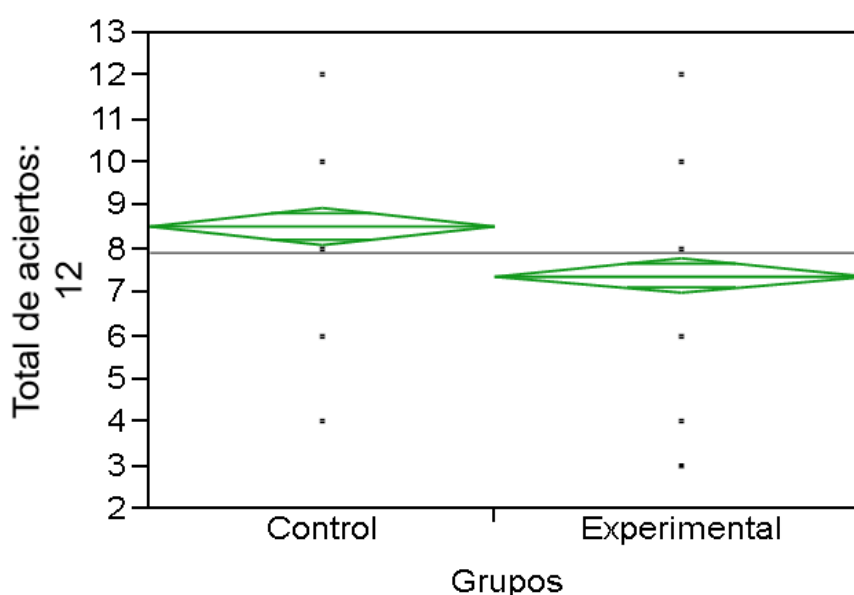


Figura 3.8.1.1 Comparación de forma general entre grupos control vs grupos experimental incluyendo alumnos de ambas licenciaturas, correspondientes a la segunda sección de la evaluación. La línea horizontal ubicada en el centro de las dos elipses indica la media que corresponde a las dos poblaciones (6.9 ± 0.20), el punteado vertical perteneciente a cada grupo muestra la distribución de los datos (frecuencia). Las elipses son proporcionales a la muestra de cada grupo (control y experimental), la altura de cada elipse indica el intervalo de confianza para cada grupo (95%); cada elipse presenta una media (línea media) y dos errores estándar (líneas superiores y por debajo de la media).

Cuando se compararon los grupos control (8.6 ± 0.28) y experimental (7.0 ± 0.31) por tipo de licenciatura de Biología para la adquisición de conocimientos morfofuncionales valorados en la sección dos de la evaluación, también se encontró diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.0003$) (Figura 3.8.1.2).

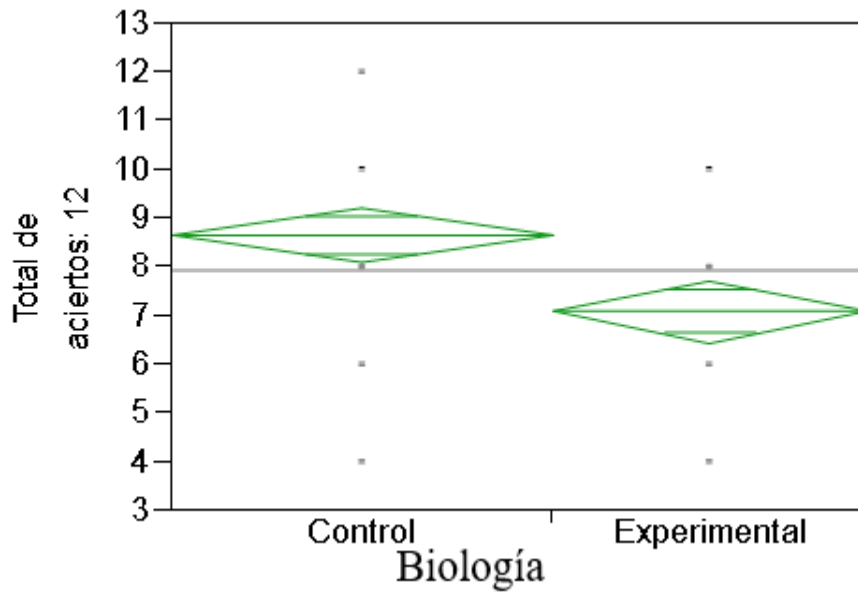


Figura 3.8.1.2 Comparación del total de aciertos correspondientes a la enseñanza de anatomía morfofuncional entre grupos control y experimental de la licenciatura en Biología.

La comparación entre los grupos control (8.3 ± 0.34) y experimental (7.6 ± 0.28) de la licenciatura de M.V.Z. para la adquisición de conocimientos morfofuncionales valorados en la sección dos de la evaluación no presentaron diferencia significativa ($P > 0.12$) (Figura 3.8.1.3).

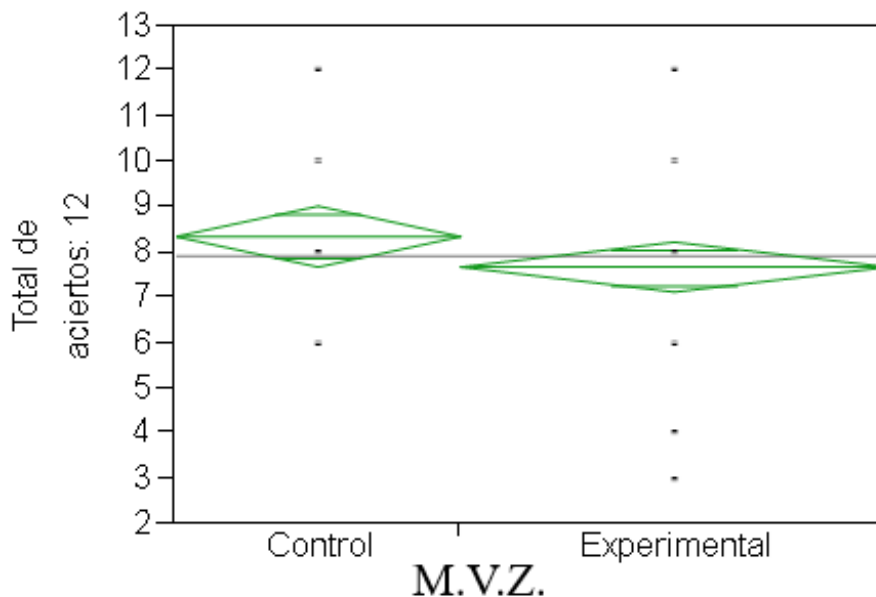


Figura 3.8.1.3 Comparación del total de aciertos correspondientes a la enseñanza de anatomía morfofuncional entre grupos control y experimental de la licenciatura en M.V.Z.

3.8.2. Uso de modelos tridimensionales para la inferencia de variaciones morfofuncionales (Sección 3)

Los resultados obtenidos al comparar los grupos control (6.5 ± 0.24) y experimental (7.6 ± 0.23) para la adquisición de conocimientos morfofuncionales valorados en la sección tres de la evaluación, mostró diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.0017$) (Figura 3.8.2.1).

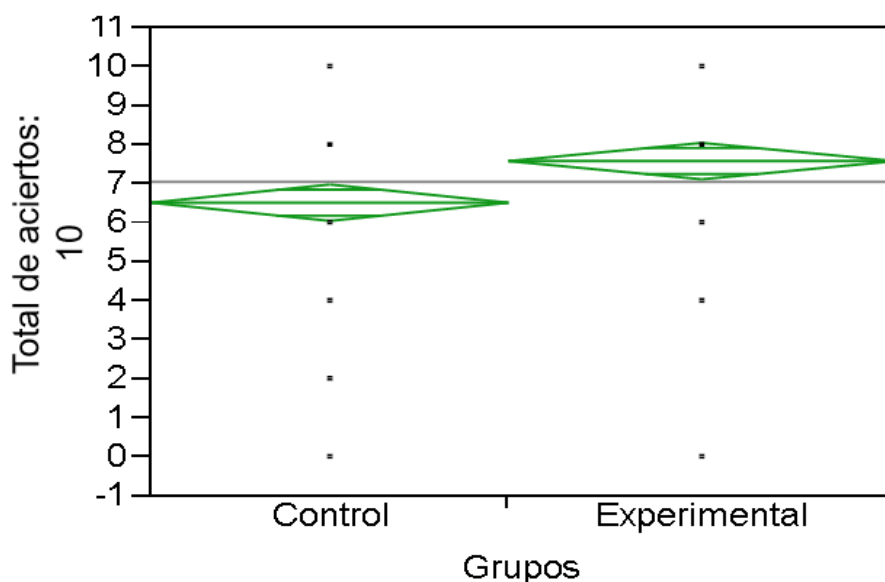


Figura 3.8.2.1 Comparación respecto al número de aciertos obtenidos correspondientes a la sección tres de la evaluación, entre grupos control y experimental, incluyendo alumnos de ambas licenciaturas.

La comparación entre los grupos control (7.01 ± 0.34) vs experimental (7.09 ± 0.37) de la licenciatura de Biología para la adquisición de conocimientos morfofuncionales valorados en la sección tres de la evaluación, no mostró diferencia significativa ($P > 0.88$).

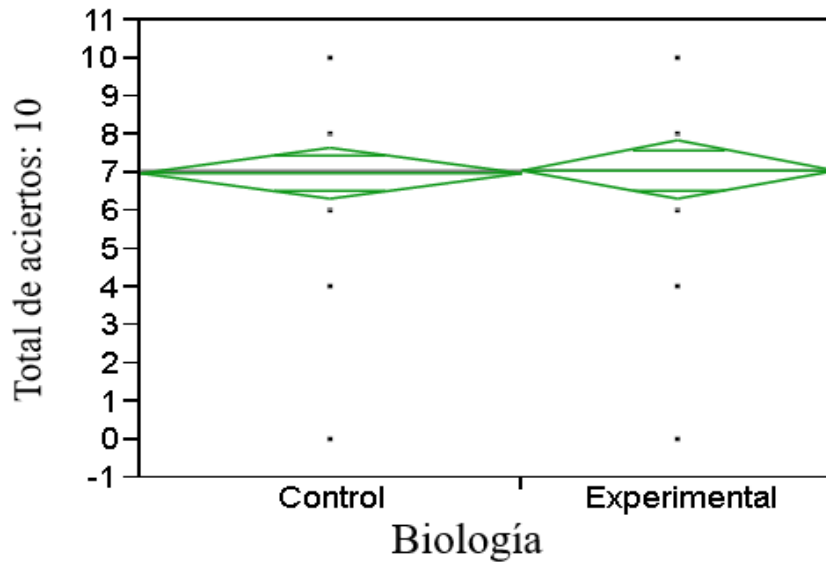


Figura 3.8.2.2 Comparación del total de aciertos correspondientes a la inferencia morfofuncional entre grupos control y experimental de la licenciatura en Biología.

La comparación entre los grupos control (5.7 ± 0.32) vs experimental (8.0 ± 0.26) de la licenciatura en M.V.Z. para la adquisición de conocimientos morfofuncionales valorados en la sección tres de la evaluación mostró diferencia significativa ($P < 0.0001$) (Figura 3.8.2.3).

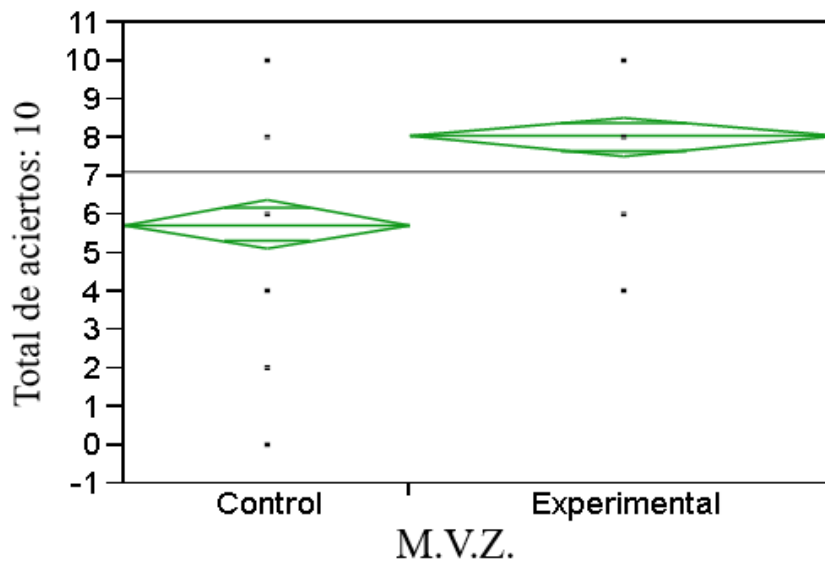


Figura 3.8.2.3 Comparación del total de aciertos correspondientes a la inferencia morfofuncional entre grupos control vs experimental de la licenciatura en M.V.Z.

3.9. Discusión

Los resultados para la adquisición de conocimientos morfofuncionales evaluados en la sección dos (control vs experimental incluyendo ambas licenciaturas) presentaron diferencias significativas, sin embargo, el mayor número de aciertos fue obtenido por el grupo control, lo cual parece indicar que el uso de modelos tridimensionales no tuvo un efecto positivo sobre el aprendizaje de anatomía morfofuncional en el grupo experimental. Estos resultados pueden explicarse debido a factores como el desarrollo de capacidades espaciales, porque algunos estudiantes pueden poseer mayores habilidades visuo-espaciales y por tanto no existe un efecto significativo en la adquisición de conocimientos al usar un modelo tridimensional, lo que ya ha sido reportado por algunos autores que identificaron variables propias de los individuos y relacionadas a su experiencia, las cuales condicionan sus habilidades espaciales, tal como haber cursado estudios en ciencias asociadas a la imaginación espacial y eficiencia del aprendizaje (Villa *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2017). Lo anterior puede verse afectado también por la complejidad que conlleva la interpretación de la anatomía morfofuncional, la cual requiere e involucra complejas transformaciones mentales espaciales de estructuras y movimientos, por lo que requiere del uso de visualizaciones dinámicas y desarrollo de habilidades espaciales individuales (Berney *et al.*, 2015). Por lo tanto, es posible que un modelo tridimensional no es suficiente para mejorar el aprendizaje, pero es importante destacar que al analizar por subgrupos de licenciatura este efecto también se identificó en estudiantes de la licenciatura en Biología, pero no en los de M.V.Z.

Cuando se compararon los resultados por subgrupo de licenciatura de la sección dos del examen, la licenciatura en Biología fue la única que mostró diferencia significativa entre los grupos control y experimental, contrario a lo esperado, el grupo control de Biología tuvo mayores aciertos que el grupo experimental. Este resultado sugiere que en los alumnos de la licenciatura en Biología probablemente no existió un efecto positivo sobre su aprendizaje relacionado con conocimientos anatómicos asociados a las funciones ecológicas. Tal como se explicó en el párrafo anterior, es probable que este resultado pueda explicarse

debido a la existencia de habilidades espaciales y experiencia en los estudiantes evaluados, que generaron previamente, porque diversos estudios indican la relación de la experiencia con el desarrollo e incremento de visualización espacial, lo cual requiere un entrenamiento y un papel activo de los estudiantes, logrando un pensamiento multidimensional (Blade y Watson, 1955; Lord, 1985; Chen *et al.*, 2017). Además, en el caso de los estudiantes de Biología es posible que su experiencia respecto al uso de especímenes conservados y las visitas a campo hayan favorecido su comprensión y perspectiva completa de las bases estructurales y biológicas de un organismo silvestre correspondientes a las implicaciones ecológicas, ya que en los estudiantes de Biología dichas actividades se realizan de manera cotidiana y se muestra como algo común en su vida universitaria (Bennett, 1989). Sin embargo, el por qué los alumnos del grupo experimental tuvieron un menor desempeño que el grupo control es algo que debe reevaluarse a profundidad, quizá las diferencias inherentes a los propios grupos evaluados (mayor desempeño unos sobre otros) podrían explicar esta diferencia. Para futuras evaluaciones, se debe considerar controles que valoren y ponderen el desempeño particular de cada grupo.

Los resultados del grupo de M.V.Z. de la segunda sección del examen no mostraron diferencias entre grupos, de modo que, el uso de modelos 3D y la enseñanza de anatomía morfofuncional no presentaron un efecto en el aprendizaje, teniendo en cuenta algunos factores como la manipulación, rotación, interpretación del objeto tridimensional y la relación de estructuras, se vuelve complejo a la hora de la interpretación por parte de los estudiantes debido a la falta de desarrollo de habilidades, por tanto, se complica la comprensión de la relación de estructuras con la función ecológica en especies silvestres (Villa *et al.*, 2015).

Cuando se compararon los grupos control y experimental de la sección tres del examen si se identificó un efecto en el uso del modelo tridimensional respecto a la inferencia de una especie a partir de los datos ecológicos otorgados. Este resultado es comparable con los resultados encontrados en estudios

paleontológicos y/o paleobiológicos en donde es posible inferir características morfológicas a partir del conocimiento de funciones ecológicas, lo anterior debido a la estrecha relación existente entre la forma y la función de especies actuales con especies extintas íntimamente relacionadas con las primeras (Henderson, 1998; Soibelzon *et al.*, 2010; Gaudin y Croft, 2015; Vizcaíno *et al.*, 2017; Chinzorig *et al.*, 2018).

Al analizar los resultados por los subgrupos de licenciatura se encontró que no existieron diferencias en la adquisición de conocimiento entre los estudiantes control y experimental de la licenciatura en Biología, pero si existieron en los estudiantes de M.V.Z. Es decir, parece que el uso de modelos tridimensionales solo mejoró en los estudiantes de M.V.Z. la capacidad de inferir estructuras anatómicas basados en información textual sobre la funcionalidad de la especie.

3.10. Conclusiones

El uso de modelos tridimensionales de cráneo de especies silvestres utilizados en el presente estudio, mostraron selectivamente un efecto en el aprendizaje de anatomía morfofuncional y permitió inferir la forma de ciertas estructuras craneanas a partir de características ecológicas de una especie, principalmente para la licenciatura de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Con ello, las sesiones modulares se mostraron dinámicas en donde el proceso de enseñanza-aprendizaje fue táctil y visual, permitiendo la adquisición de conocimientos y el desarrollo de habilidades para los estudiantes de veterinaria, sin embargo, dicho efecto no pudo ser identificado en los estudiantes de biología para quienes el método tradicional de enseñanza (esquemas bidimensionales, libros) parece ser suficiente. La implementación de modelos tridimensionales para la enseñanza de anatomía se muestra como una opción para mejorar el aprendizaje en los estudiantes, sin embargo, debe considerarse el desarrollo de habilidades visuo-espaciales y las necesidades que requiere cada estudiante para su aprendizaje, lo cual permitirá elegir una herramienta adecuada (modelos tridimensionales, realidad virtual, programas informáticos) para cada licenciatura; todo ello con la finalidad de que los estudiantes adquieran competencias a nivel académico y profesional a futuro.

3.11. Referencias

- Aerts P., Van D. R., Vanhooydonck B., Zaaf A., Herrel A., (2000). Lizard locomotion: How morphology meets ecology. *Netherlands Journal of Zoology*, 50(2):261-277 pp.
- Allouch G., (2014). Scientific Technique for skeletons preservation and preparation of anatomical models to promote veterinary anatomy. *Journal of Veterinary Anatomy*, 7(2):133-139 pp.
- Alves C.C., Da Fonseca G., Christófaro C., (2004). Variation in the diet of the Brown-nosed Coati (*Nasua nasua*) in southeastern Brazil. *Journal of Mammalogy*, 85(3): 478-482 pp.
- Beisiegel B., (2001). Notes on the Coatí, *Nasua nasua* (Carnivora: Procyonidae) in an Atlantic forest area. *Brazilian Journal of Biology*, 61(4): 689-692 pp.
- Bell C., Mead J., (2014). Not enough skeletons in the closet: collections-based anatomical research in an age of conservation conscience. *The Anatomical Record* 297:344-348 pp.
- Bennett A.F., (1989). Integrated studies of locomotor performance. D.B. Wake and G. Roth. Complex Organismal Functions: Integration and Evolution in Vertebrates, Dahlem Konferenzen. Wiley, Chichester, U.K.,191-202 pp.
- Berney S., Bétrancourt M., Molinari G., Hoyek N., (2015). How spatial abilities and Dynamic visualizations interplay when learning functional anatomy with 3D anatomical models. *Anatomical Sciences Education*, 8:452-462 pp.
- Blade M., Watson W., (1955). Increase in spatial visualization test scores during engineering study. *Psychological monographs: General and Applied*,69(12).
- Bramble D., (1989). Cranial specialization and locomotor habit in the Lagomorpha. *American Zoologist*, 29:303-317 pp.
- Bravo S.A., (2019). La anatomía ha evolucionado: enseñar y aprender anatomía en el siglo XXI ¿Qué ha cambiado? *Morfología*, 11(1).
- Cañete B.G., Sánchez P.J.M., Noda C.L., (2014). Ensamblaje artesanal de un esqueleto canino mediante variantes de la osteotecnia. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 15(09).

- Chen S., Pan Z., Wu Y., Gu Z., Li M., Liang Z., Zhu H., Yao Y., Shui W., Shen Z., Zhao J., Pan H., (2017). The role of three-dimensional printed models of skull in anatomy education: a randomized controlled trial. *Scientific Reports*, 7(575): 1-11 pp.
- Chinzorig T., Kobayashi Y., Tsogbaatar K., Currie P., Takasaki R., Tanaka T., Iijima M., Barsbold R., (2018). Ornithomimosaur from the Nemegt formation of Mongolia: manus morphological variation and diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 494: 91-100.
- Costa C., Cataudella S., (2007). Relationship between shape and trophic ecology of selected species of Sparids of the Caprolace coastal lagoon (Central Tyrrhenian sea). *Environmental Biology of Fishes*, 78(2):115-123 pp.
- Cury S.F., Censoni B.J., Ambrósio C.E., (2013). Técnicas anatómicas no ensino da prática de anatomia animal. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(5):688-696 pp.
- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Mendonça de A.B., Pereira S.B., Domanski B. E., Santos F.J., Rosa J.J.C., Delys O.F., Ramos S.S., Chaves A.N.A., (2017). Biomodelos ósseos produzidos por intermédio da impressão 3D: uma alternativa metodológica no ensino da Anatomia Veterinária. *Revista de Graduação USP*, 2(3):47-53 pp.
- De Alcântara L.R.D., Rojas G.L.B., Rosa J.J.C., Chaves A.N.A., (2019). Comparative assessment of anatomical details of thoracic limb bones of a horse to that of models produced via scanning and 3D printing. *3D Printing in Medicine*, 5(13).
- De Esteban T.S., (2011). Ecomorfología de Xenarthros extintos: análisis de la mandíbula con métodos de morfometría geométrica. *Ameghiniana*, 48(3):381-398 pp.
- Deli A.M., González C.M., Díaz A.J., (2008). Análisis de la morfología ósea de peces de la laguna costera Mar Chiquita, Argentina. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43(2): 355-380 pp.
- Dyce K.M., Sack W.O., Wensing C.J.G., (2012). Anatomía veterinaria. Cuarta edición. Editorial Manual Moderno México, 833 pp.

- Espinoza G.C., Martínez C.J., Palacio N.J., Hernández S.A., (2014). Distribución potencial del Coatí (*Nasua narica*) en el noreste de México: implicaciones para su conservación. *THERYA*, 5(1): 331-345 pp.
- Ferreira G., Nakano O.E., Gelson G., Lacerda C.A., (2013). Diet of the coati *Nasua nasua* (Carnivora: Procyonidae) in an area of Woodland inserted in an urban environment in Brazil. *Revista Chilena de Historia Natural*, 86:95-102 pp.
- Ford L., Hoffmann R., (1988). *Potos flavus*. *Mammalian Species*, 321:1-9.
- Galbany J., Gamarra B., Estebaranz F., Martínez L., Romero A., Nova D.M., Mayo A.M., Górká K., Pérez P.A., (2014). Morfología y ecología dental en primates y homínidos. *Estudis d'evolució etologia i cognició en primats*. Barcelona. Pp 11.26.
- Gaudin T., Croft D., (2015). Paleogene Xenarthra and the evolution of South American mammals. *Journal of Mammalogy*, 96(4): 622-634.
- Gompper M., (1995). *Nasua narica*. *Mammalian Species*, 487:1-10.
- Gross M., Wright M., Anderson O., (2017). Effects of image-based and text-based active learning exercises on student examination performance in a musculoskeletal anatomy course. *Anatomical Sciences Education*, 1-12 pp.
- Guerrero A.R., Torres C.M., Reyes V.H., Cáceres C.C., Daccarett H.J., Orduz A.F., Padilla G.M., Parra M.D., Pedraza C., Ruiz G.I., Sarmiento F.R., (2010). Modelo anatómico inanimado para entrenamiento de técnica quirúrgica básica en Medicina Veterinaria. *Revista SPEI DOMUS*, 6(12):33-39 pp.
- Gutiérrez J.C., Gómez J.M., Sudel G., Prater R.M., (2017). Anatomical knowledge in veterinary medical students in Chile. *Investigación en Educación Médica*, 6(22):70-74 pp.
- Hackmann H.C., Leite R.A.D., Neto A.C., (2019). Digital revolution in veterinary anatomy: confection of anatomical models of canine stomach by scanning and three-dimensional printing (3D). *International Journal of Morphology*, 37(2):486-490 pp.
- Henderson D., (1998). Skull and tooth morphology as indicators of niche partitioning in Sympatric Morrison formation theropods. *GAIA*, 15:219-226.

- Hernández H. J., (2015). Factores de coexistencia entre mamíferos carnívoros: ¿segregarse o competir? *Elementos 100*: 47-52.
- Herring S., (2003). TMJ anatomy and animal models. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 3(4):391-394 pp.
- Hirsh B., (2009). Seasonal variation in the diet of ring-tailed Coatis (*Nasua nasua*) in Iguazu, Argentina. *Journal of Mammalogy*, 90(1):136-143 pp.
- Horst W.K., Witch H., Snipes R., Timmermans P.J., Paulsen F., Rune G., Vogt B.E., (2008). The dissection course - necessary and indispensable for teaching anatomy to medical students. *Annals of Anatomy*, 190:16-22 pp.
- Hussain M., Hussain N., Zainab H., Qaiser S., (2007). Skeletal preservation techniques to enhance veterinary anatomy teaching. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 1:21-23 pp.
- Inzunza O., Caro I., Mondragón G., Baeza F., Burdiles A., Salgado G., (2015). Impresiones 3D, nueva tecnología que apoya la docencia anatómica. *International Journal of Morphology*, 33(3):1176-1182 pp.
- Juárez C.A., Meza O.A., Solís L.C., Soria C.V., Bermúdez S.P., Ahedo S.C., Olivos D.B., Ponce L.I., (2008). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 61(6):43-51 pp.
- Kays R., (1999). Food preferences of Kinkajous (*Potos flavus*): a frugivorous carnivore. *Journal of Mammalogy*, 80(2): 589-599.
- Knight A., (2007). La efectividad de los métodos de enseñanza humanitaria en la educación veterinaria. *ALTEX*, 24(2):91-109 pp.
- König H.E., Liebich H. G., (2005). Anatomía de los animales domésticos. Aparato Locomotor. Tomo I, Segunda edición. Editorial Panamericana, 278 pp.
- Kraatz B., Sherratt E., Bumacod N., Wedel M., (2015). Ecological correlates to cranial morphology in Leporids (Mammalia, Lagomorpha). *PeerJ*, 1-20 pp.
- Kraatz B., Sherratt E., (2016). Evolutionary morphology of the rabbit skull. *PeerJ*, 1-23 pp.

- Laferrière J., (1999). Foraging strategies and food partitioning in the neotropical frugivorous mammals *Caluromys philander* and *Potos flavus*. *Journal of Zoology London*, 247:71-80 pp.
- López F.B., Sandoval M.C., Giménez M.A.M., Rosales V.P., (2011). Valoración de la actividad de modelos anatómicos en el desarrollo de competencias en alumnos universitarios y su relación con estilos de aprendizaje, carrera y sexo. *International Journal of Morphology*, 29(2):568 pp.
- Lord T., (1985). Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*. 22(5): 395-405 pp.
- Maestri R., Patterson B., Fornel R., Monteiro L., De Freitas O.R., (2016). Diet, bite force and skull morphology in the generalist rodent morphotype. *Journal of Evolutionary Biology*, 29: 2191-2204 pp.
- McBee K., Baker R., (1982). *Dasypus novemcinctus*. *Mammalian Species*, 162:1-9 pp.
- McMenamin P., Quayle M., McHenry C., Adams J., (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Science Education*, 7:479-486 pp.
- Medellin R., (1991). Ecomorfología del cráneo de cinco Didélfidos: tendencias, divergencias e implicaciones. *Anales Instituto de Biología*, 62(2):269-286 pp.
- Miana V., Prieto G.E., (2019). Estrategias didácticas para promover el aprendizaje de ciencias biológicas y anatomía. *Revista Docencia Universitaria*, 20(1):19-32 pp.
- Monterrubio R.T., Charre M.J., Villanueva H.A., León P.L., (2013). Nuevos registros de la martucha (*Potos flavus*) para Michoacán, México, que establecen su límite de distribución al norte por el Pacífico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84: 1002-1006 pp.
- Muñoz D.J., Fuentes A.J., (2012). Evolución de la socialidad, estrategias alimentarias y anatomía craneodental en la subfamilia caninae. *Acta Biológica Colombiana*, 17(1): 173-200 pp.
- Narváz H.E., Murillo R.E., (2014). Herramientas de estudio utilizadas por alumnos de ciencias de la salud en la materia de Anatomía. *Investigación en Educación Médica*, 3(12):204-208 pp.

- Navarrete D., Ortega J., (2011). *Tamandua mexicana* (Pilosa: Myrmecophagidae). *Mammalian Species*, 43(874):56-63 pp.
- Nogueira M., Peracchi A., Monteiro L., (2009). Morphological correlates of bite force and diet in the skull and mandible of Phyllostomid bats. *Functional Ecology*, 23:715-723 pp.
- Núñez C.S., Gajardo P., Lizana P., Vega F.G., Hormazabal P.A., Binivignat O., (2018). Percepción de los Estudiantes de anatomía humana frente a un método de enseñanza y aprendizaje basado en la construcción de un modelo de pelvis. *International Journal of Morphology*, 36(1):221-225 pp.
- Olson R., Womble M., Thomas D., Glenn Z., Butcher M., (2015). Functional morphology of the forelimb of the nine-banded Armadillo (*Dasypus novemcinctus*): comparative perspectives on the myology of Dasypodidae. *Journal Mammalian Evolution*.
- Paalman M., (2000). Why teach anatomy? Anatomists respond. *The Anatomical Record*, 261:1-2.
- Pérez P.A., Galbany J., Romero A., Martínez L., Estebaranz F., Pinilla B., Gamarra B., (2010). Origen y evolución de los dientes: de los cordados primitivos a los humanos modernos. *Revista Española de Antropología Física*, 31:167-192.
- Post L., (2013). Bone Builder Notebook, Or More than you Really Wanted to Know about Preparing Animal Skeletons for Articulation. Vol 10. Homer, AK. 146 pp.
- Preece D., Williams S., Lam R., Weller R., (2013). "Let's get physical": Advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 6:216-224 pp.
- Proust M., (2009). Using JMP. A Business Unit of SAS.
- Quinn G.D., Khan J., (2016). Thinking outside of the box: the potential of 3D printing in Veterinary Medicine. *Journal of Veterinary, Science and Technology*, 7(5).
- Redford K., (1986). Dietary specialization and variation in two mammalian Myrmecophages (variation in mammalian Myrmecophagy). *Revista Chilena de Historia Natural*, 59:201-208 pp.

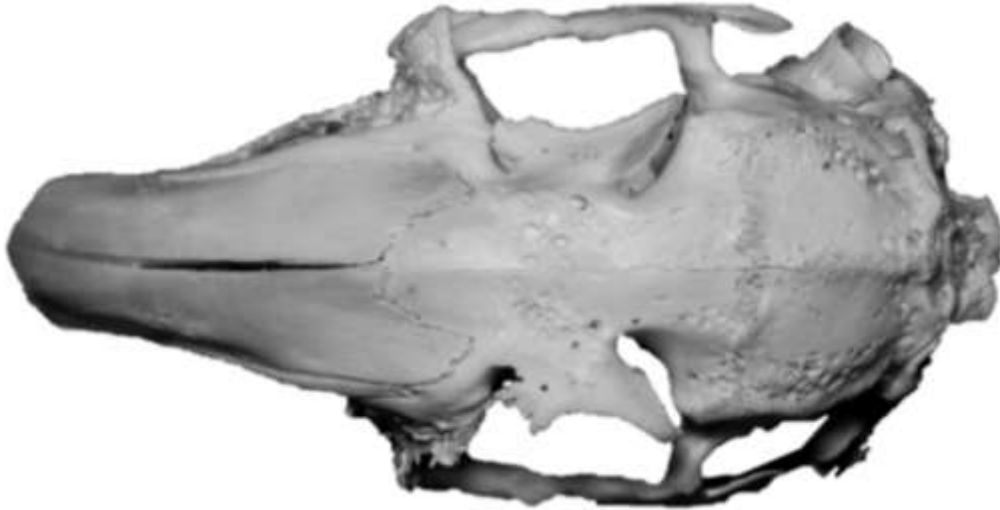
- Scanferla C.A., (2010). Técnicas para la preparación de esqueletos secos de lepidosaurios. *Revista del Museo de La Plata*, 49:1-6 pp.
- Salih K., (2013). Gross anatomical and morphometrical studies to the skull bones of the local rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Basrah Journal of Veterinary Research*, 12(2).
- Sandoval G.V., Ramírez C.H., Marín D., (2012). Registros de hormigas y termitas presentes en la dieta de osos hormigueros (Mammalia: Myrmecophagidae) en tres localidades de Colombia. *Edentata*, 13:1-9 pp.
- Santana S., Cheung E., (2016). Go big or go fish: morphological specializations in carnivorous bats. *Proceedings of Royal Society Biological*, 283:1-9.
- Shi B., Wang Y., Gong L., Chang Y., Liu T., Zhao X., Lin A., Feng J., Tinglei J., (2020). Correlation of skull morphology and bite force in a bird-eating bat (family Vespertilionidae). *Frontiers in Zoology*, 17(8): 1-14 pp.
- Soibelzon E., Miño B.R., Zurita A.E., Krmpotic C.M., (2010). Los Xernathra (Mammalia) del Ensenadense (Pleistoceno inferior a medio) de la Región Pampeana (Argentina). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 27(3): 449-469 pp.
- Stucchi M., Figueroa J., (2013). Morfología cráneo-mandibular del oso andino *Tremarctos ornatus* (Carnivora: Ursidae). *THERYA*, 4(3): 485-509 pp.
- Taylor A., (2018). Skull morphology (primate). In Trevathan Wenda (Ed.). *The International Encyclopedia of Biological Anthropology*. Touro University, USA. John Wiley & Sons.
- Tefera M., (2011). Enhancing cognitive learning in Veterinary Osteology through student participation in skeleton preparation project. *Ethiopian Veterinary Journal*, 15(1):87-102 pp.
- Timm D.L., DeWitt T., Marshall C., (2015). Divergent skull morphology supports two trophic specializations in Otters (*Lutrinae*). *PLOS ONE*, 10(2).
- Tseng J., Flynn J., (2018). Structure-function covariation with nonfeeding ecological variables influences evolution of feeding specialization in Carnivora. *Sciences Advances*, 4(2):1-13 pp.

- Ugidos L.M.T., Blaya H.F., Ruggiero A., Manzoor S., Juanes M.J.A., (2019). Evaluation of the Applicability of 3D models as perceived by the students of health sciences. *Journal of Medical Systems*, 43:108 pp.
- Valenzuela D., Ceballos G., (2000). Habitat selection, home range, and activity of the White-nosed Coati (*Nasua narica*) in a mexican tropical dry forest. *Journal of Mammalogy*, 81(3)-810-819 pp.
- Valliyate M., Robinson N., Goodman J., (2012). Current concepts in simulation and other alternatives for veterinary education: a review. *Veterinarni Medicina*. 57(7):325-337 pp.
- Vargas M.A.O., Ramírez B.P.J., Roldán T.M.F., Ortiz G.L., Soledispa B.Y., (2014). Patrones de actividad de tres especies de mamíferos cinegéticos en remanentes de bosque, Manabí, Ecuador. *Hippocampus*, 4:3-7 pp.
- Villa S.A., Alpiste P.F., Torner R.J., (2015). Desarrollo y evaluación de las habilidades espaciales de los estudiantes de ingeniería. Actividades y estrategias de resolución de tareas espaciales. Tesis de doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona.
- Vizcaíno S., Bargo S., Toledo N., Cassini G., (2017). Herramientas conceptuales y metodológicas para el estudio de la morfología y paleobiología de vertebrados. En Vizcaíno S., Bargo S., Toledo N., Cassini G. (Eds). *Morfología de vertebrados: hacia una integración de conceptos, metodologías y grupos de investigación del país*, (13-33 pp.). Argentina, Editorial de la Universidad Nacional de Mar del Plata (EUDEM).
- Wainwright, P., Reilly S., (1995). Ecological morphology: integrative, organismal biology. *Journal of Mammalogy*, 76(4):1288-1290.
- Yamine K., Violato C., (2016). The effectiveness of physical models in teaching anatomy: a meta-analysis of comparative studies. *Advances in Health Sciences Education*, 21(4):883-895 pp.

4. Anexos

I. Actividad de la sesión uno.

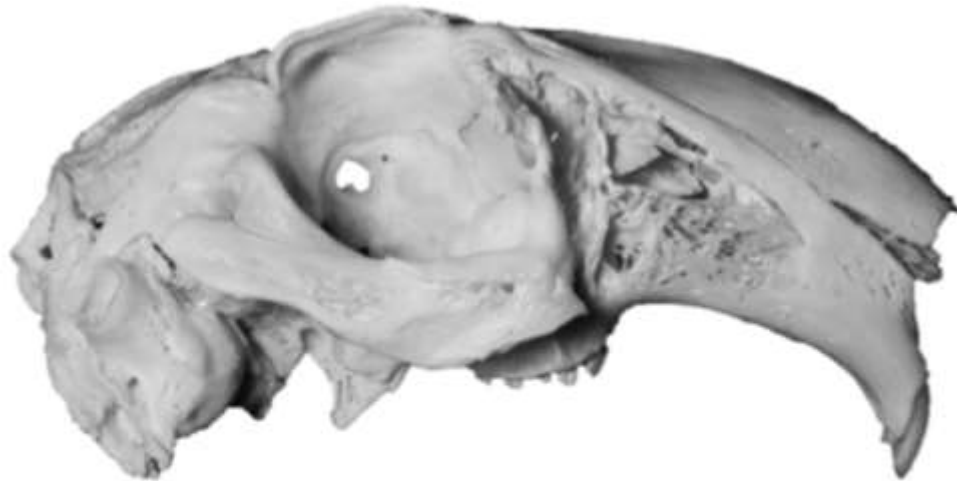
Los alumnos deben colocar el nombre de las estructuras en el cráneo.



Temporal	Parietal
Frontal	Occipital
Nasal	Arco Cigomático
Cresta sagital	



Molares	Premolares	Cóndilo occipital
Aliesfenoides	Basioccipital	Bulla timpánica
Foramen magno	Basiesfenoides	Vómer
Pterigoides	Palatino	Preesfenoides
Placa palatina del maxilar	Dientes incisivos	Arco cigomático



Bulla timpánica	Maxilar	Temporal
Incisivo	Diente incisivo	Orbitoesfenoides
Cresta sagital	Arco cigomático	Parietal
Nasal	Lagrimal	Preesfenoides
Meato auditivo externo		

II. Actividad de la segunda sesión.

Los alumnos deben colocar las estructuras que difieren morfológicamente entre especies silvestres respecto a la función ecológica de cada una. En la presente actividad se utilizó de base el cráneo de coatí y de oso hormiguero.

Instrucciones

Recorta los huesos y completa los esquemas de Prociónidos y Xenarthras. Coloca las estructuras correspondientes a cada especie y de acuerdo con su comportamiento.

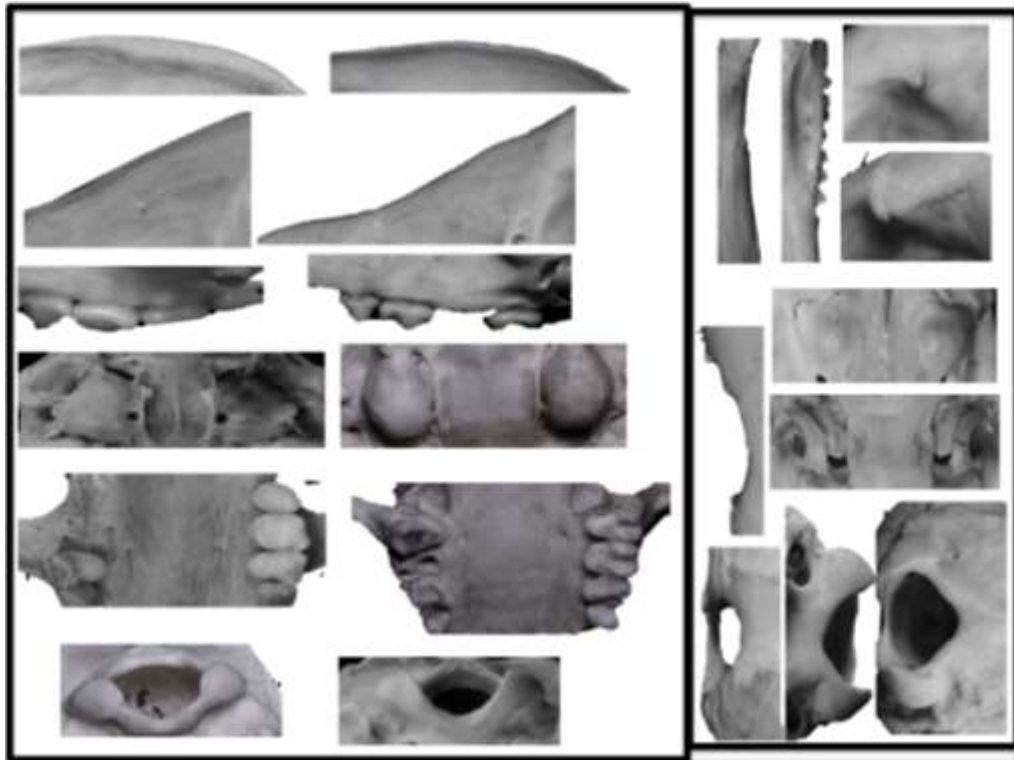
Recuerda que:

*El coatí tiene hábitos diurnos y usa el olfato para buscar alimento, dieta omnívora que incluye invertebrados y vertebrados, es arborícola y terrestre.

*La martucha tiene hábitos nocturnos, uno de sus principales sentidos es la vista, dieta omnívora que incluye principalmente frutas, es arborícola.

*El armadillo tiene hábitos crepusculares, dieta insectívora pero incluye otros elementos, estrictamente terrestre.

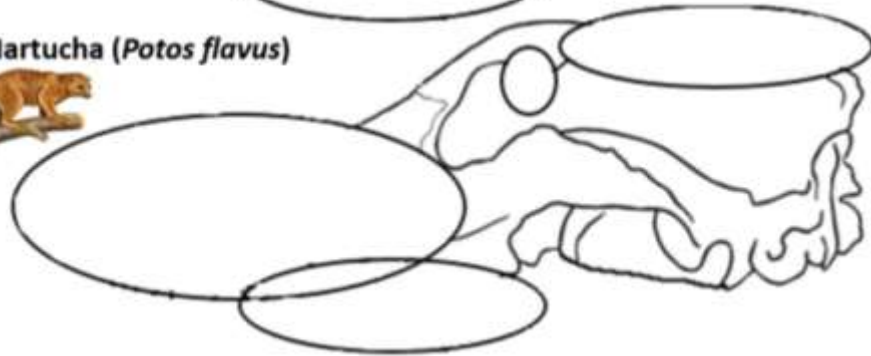
*El oso hormiguero tiene hábitos nocturnos, dieta insectívora limitada a hormigas y termitas, arborícola y terrestre.

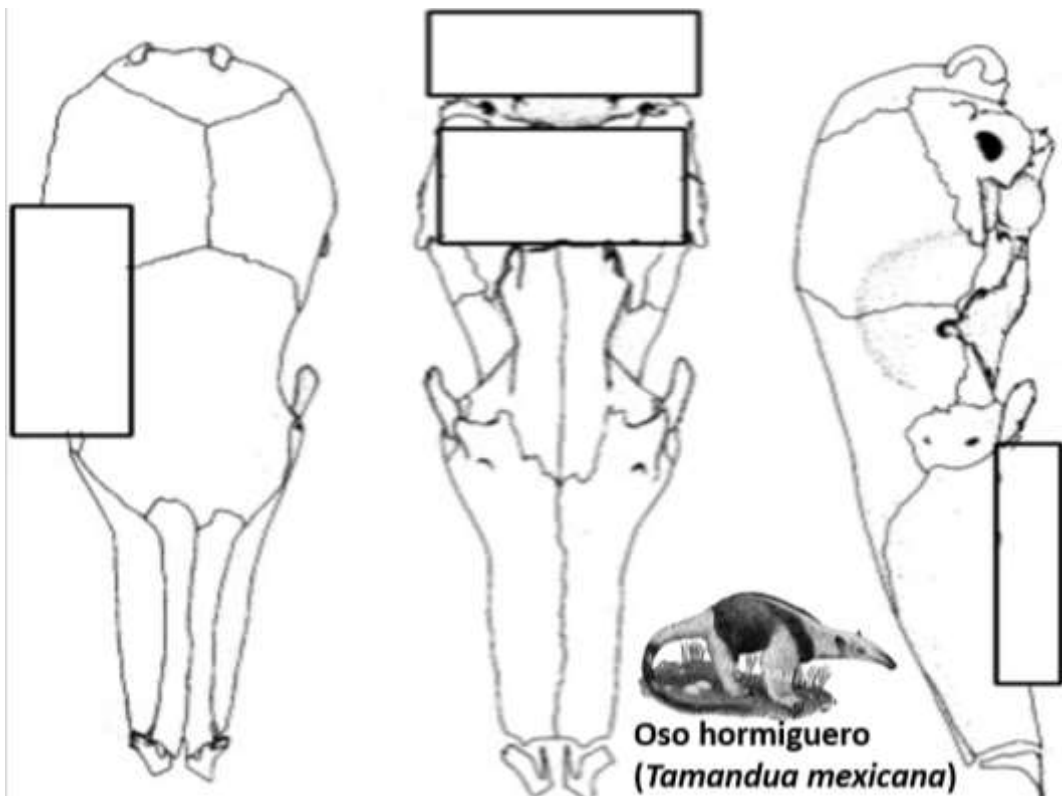
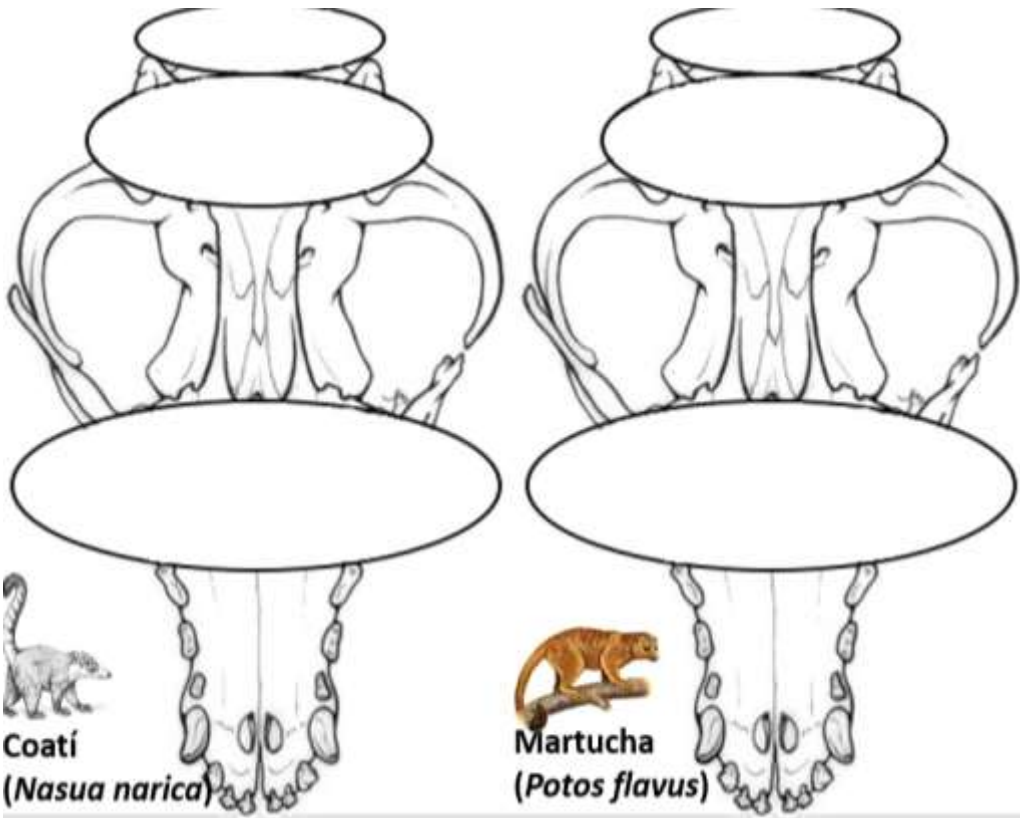


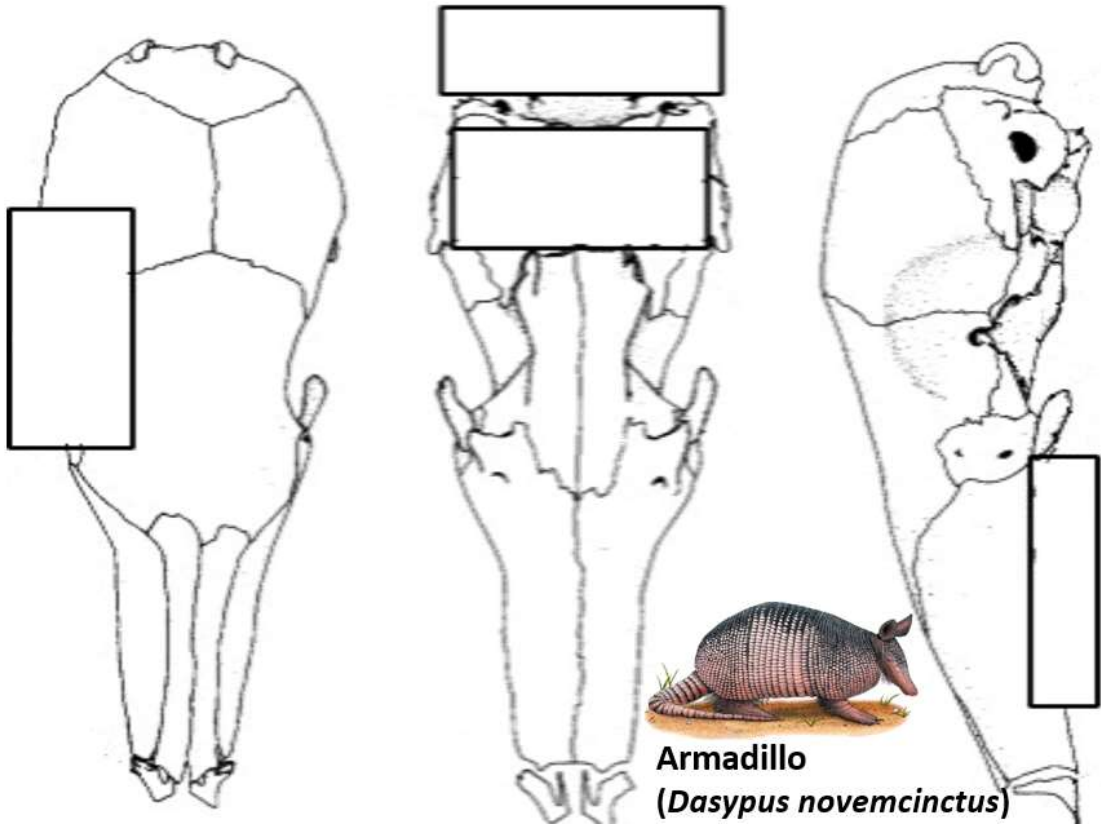
Coati (*Nasua narica*)



Martucha (*Potos flavus*)







III. La evaluación constó de tres secciones, correspondientes a anatomía sistémica y anatomía morfofuncional.

a. Sección uno del examen correspondiente a anatomía sistémica, en donde los estudiantes deben colocar correctamente las principales estructuras del cráneo.

EXAMEN



1.-Delimita con color los siguientes huesos (12 puntos):

- | | | |
|-------------|--------------------|---------------------------|
| a) Frontal | e) Incisivo | i) Meato auditivo externo |
| b) Parietal | f) Maxilar | j) Orbitoesfenoides |
| c) Temporal | g) Arco cigomático | k) Cresta Sagital |
| d) Nasal | h) Bulla timpánica | l) Molares |





b. Segunda sección del examen correspondiente a anatomía morfofuncional. Los estudiantes deben relacionar las estructuras que presentan variaciones morfológicas respecto a la función ecológica que se indica.

2.-Basado en la morfología del arco cigomático, el maxilar y estructuras anexas, coloca la letra correcta en el paréntesis de acuerdo a su función (2 puntos):

- a)  () insectívoro estricto con poca fuerza de masticación
- b)  () insectívoro no estricto con mayor fuerza de masticación.

3.-Basado en la morfología y tamaño proporcional del hueso nasal, coloca el número correcto en el paréntesis de acuerdo con su función (2 puntos):

- I.-  () carnívoro cuya principal estrategia de búsqueda de alimento es la olfacción
- II.-  () carnívoro cuya principal estrategia de búsqueda de alimento no es la olfacción

4.-Basado en la morfología de molares y premolares, relaciona las columnas de acuerdo con su función (2 puntos):

- a)  () carnívoro que tritura su alimento
- b)  () carnívoro que muele su alimento.

5.-Basado en la morfología de la bulla timpánica, relaciona las columnas de acuerdo con su función (2 puntos):



() carnívoro con buena capacidad auditiva



() carnívoro con regular capacidad auditiva

6.-Basado en la morfología de cigomático y el proceso cigomático del temporal, menciona que cráneo pertenece a (2 puntos):



() carnívoro con buena capacidad visual.



() carnívoro con regular capacidad visual

7.- Basado en la morfología de la cresta sagital, coloca la letra correcta en el paréntesis de acuerdo a su función (2 puntos):



() Carnívoro que ejerce mayor fuerza de masticación



() Carnívoro que ejerce poca fuerza de masticación

- c. Sección tres del examen, correspondiente a anatomía morfofuncional. Los estudiantes deben generar inferencias de la morfología del cráneo respecto a las características ecológicas que se indican.**

8.- Realiza una hipótesis de un animal que sea nocturno, omnívoro que se alimente de pequeños vertebrados, insectos y vegetales, con buena capacidad de olfacción y mucho poder a la masticación. Dibuja dicho animal haciendo énfasis en los huesos nasal, cigomático, cresta sagital, molares, proceso cigomático del frontal (10 puntos).

IV. Presentación correspondiente a la sesión 1 (Anatomía sistémica).

 **Universidad Autónoma Metropolitana**
Unidad Xochimilco

Maestría En Ecología Aplicada

Anatomía del cráneo





M.V.Z. Nadia Rocha Martínez

Importancia para MVZ

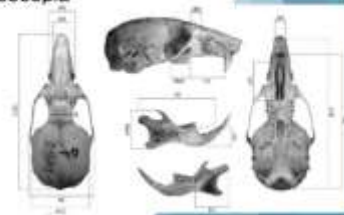
Aplicación:

- Clínica
- Quirúrgica
- Zootécnica
- TAC, resonancia magnética, ecografía, endoscopia



Importancia para Biología

- Identificación taxonómica



Cráneo

Formado por huesos, membranas y cartilagos.



Funciones

- Revestimiento
- Protección
- Aloja algunas partes óseas y/o cartilagosas de los Sistemas respiratorio, digestivo y, órganos de los sentidos.



Conejo común

Familia: Leporidae

Género: *Oryctolagus*

Especie: *cuniculus*

Nombre científico: *Oryctolagus cuniculus*

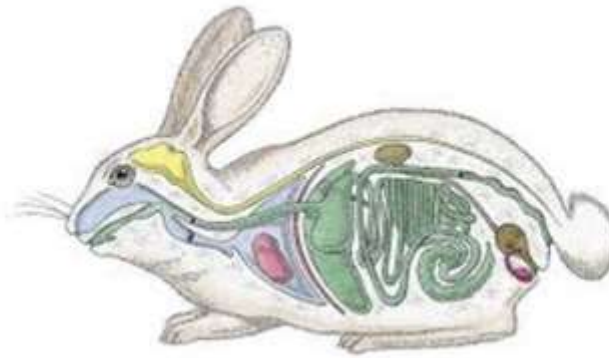
Nombre común: Conejo común



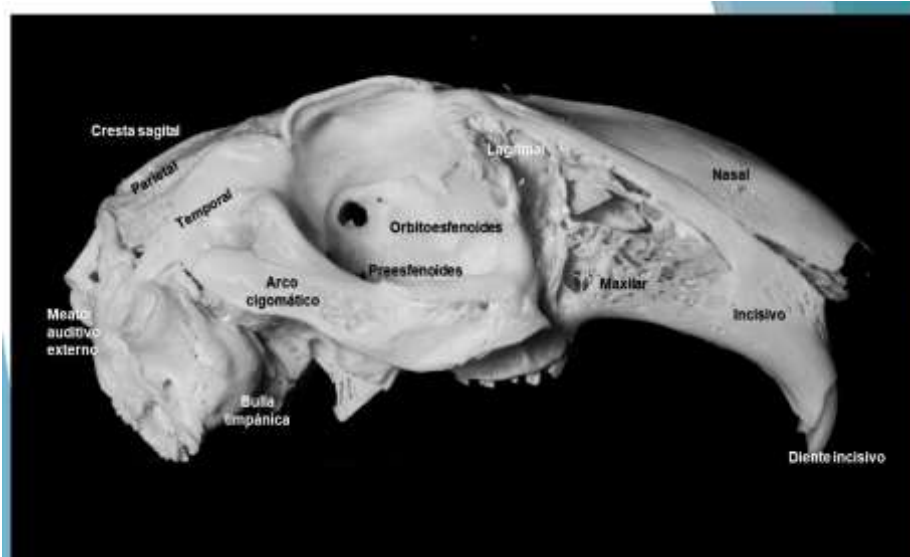
Bioterio UAM-X
60 conejos para cirugla c/trim
15-20 c/15 días para COFEPRIS
20 c/mes para SILANES



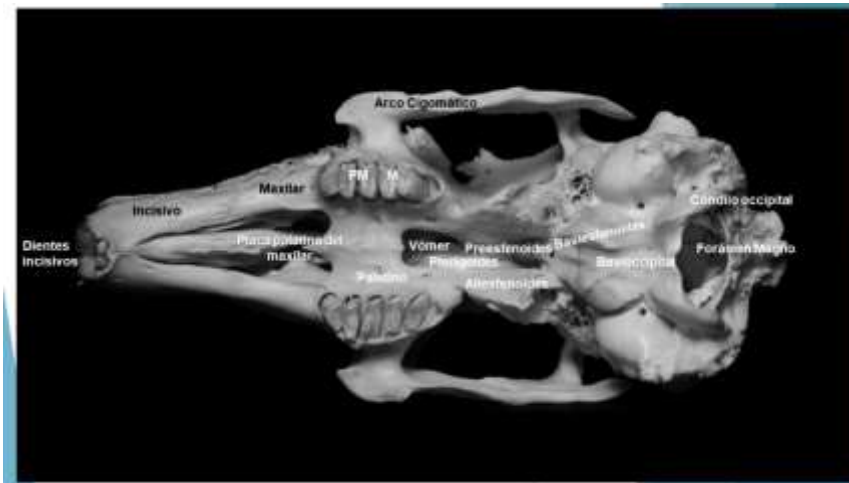
Direcciones anatómicas



a) Vista lateral derecha del cráneo de conejo.



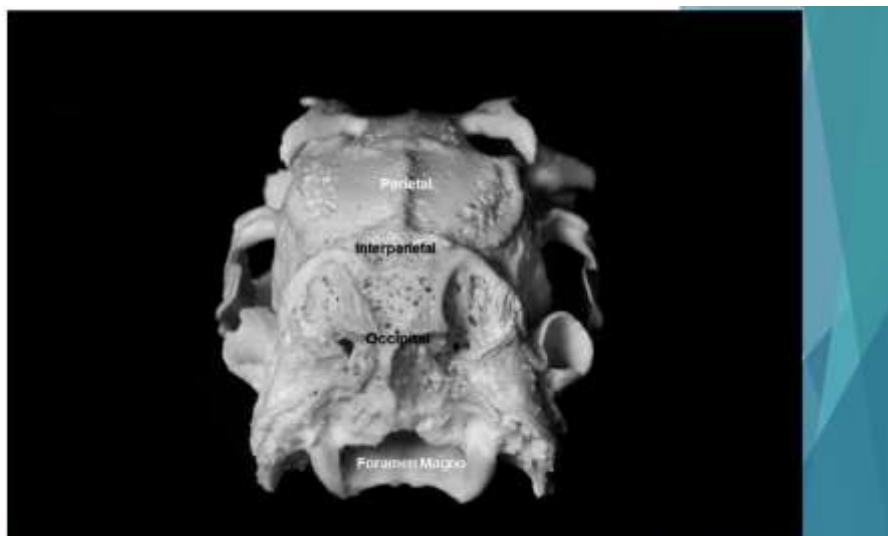
b) Vista ventral del cráneo de conejo.



c) Vista dorsal del cráneo de conejo.



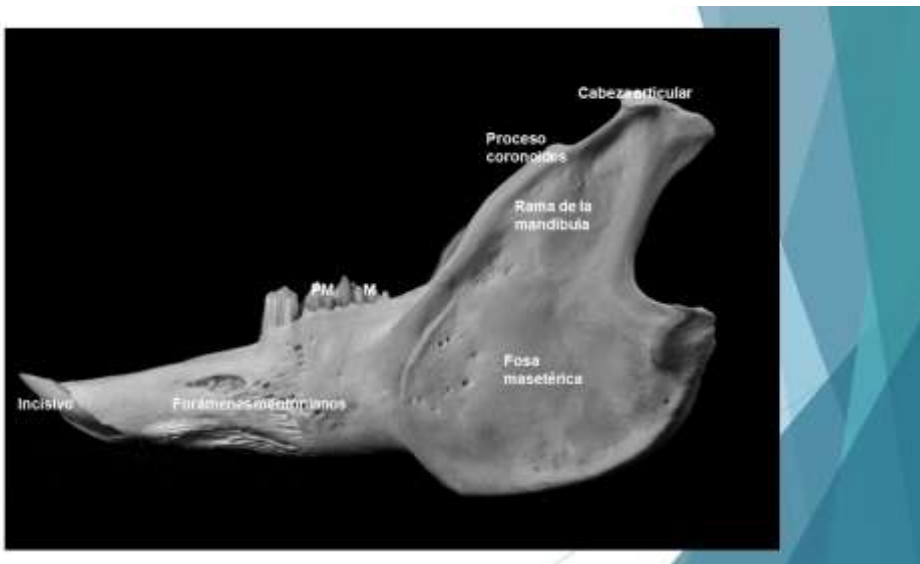
d) Vista caudal del cráneo de conejo.



e) Vista rostral del cráneo de conejo.



f) Vista lateral izquierda de la mandíbula del conejo.



V. Presentación correspondiente a la sesión 2 (Anatomía morfofuncional).



Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Xochimilco

Maestría En Ecología Aplicada

Comparación morfofuncional de estructuras craneanas en especies silvestres

M.V.Z. Nadia Rocha Martínez



Importancia para MVZ

Aplicación:

- Clínica
- Quirúrgica
- Zootécnica
- TAC, resonancia magnética, ecografía, endoscopia




Importancia para Biología

- Identificación taxonómica




Características de Prociónidos

Mamíferos que pertenecen al orden Carnívora









Coatí

Orden: Carnivora
Familia: Procyonidae
Nombre científico: *Nasua narica*
Nombre común: Coatí de nariz blanca
Coatí norteño, Tejón, Pizote

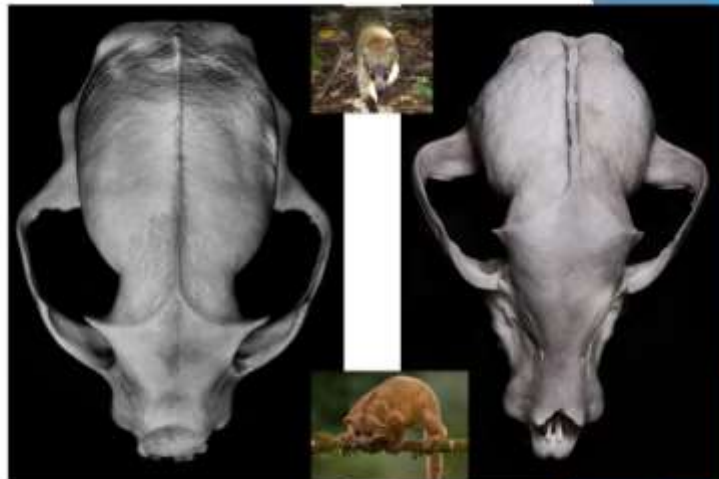


Martucha

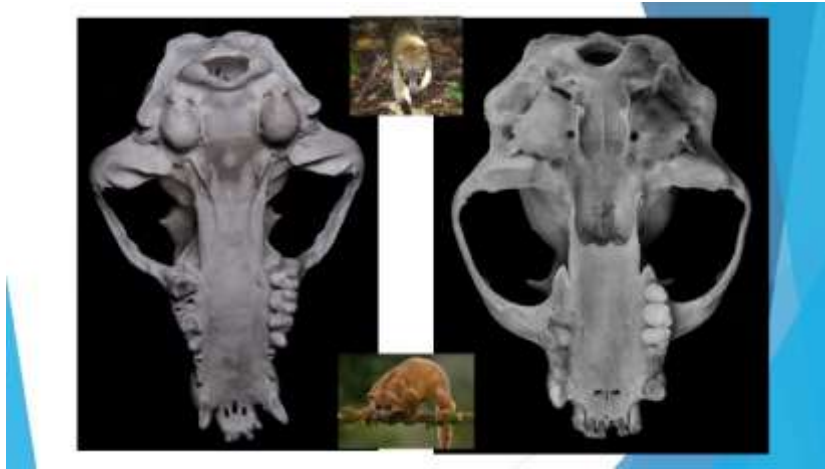
Orden: Carnivora
Familia: Procyonidae
Nombre científico: *Potos flavus*
Nombre común: Martucha
Mico de noche



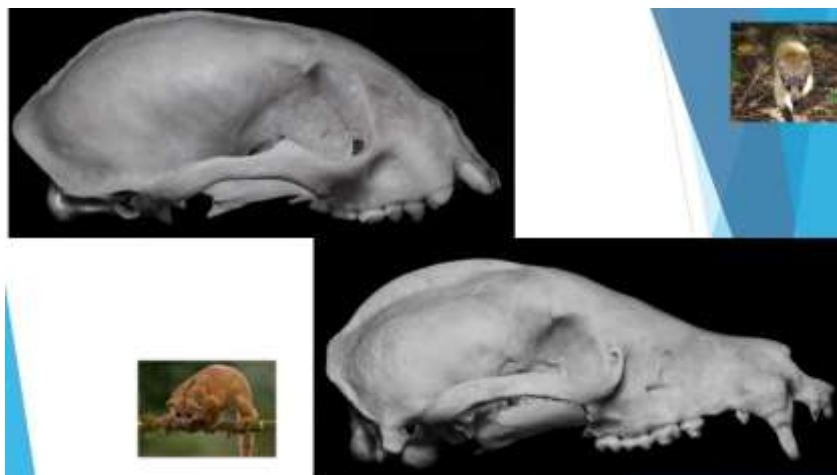
a) Vista dorsal de los cráneos de martucha (izquierdo) y coatí (derecho).



b) Vista ventral de los cráneos de martucha (derecho) y coatí (izquierdo).



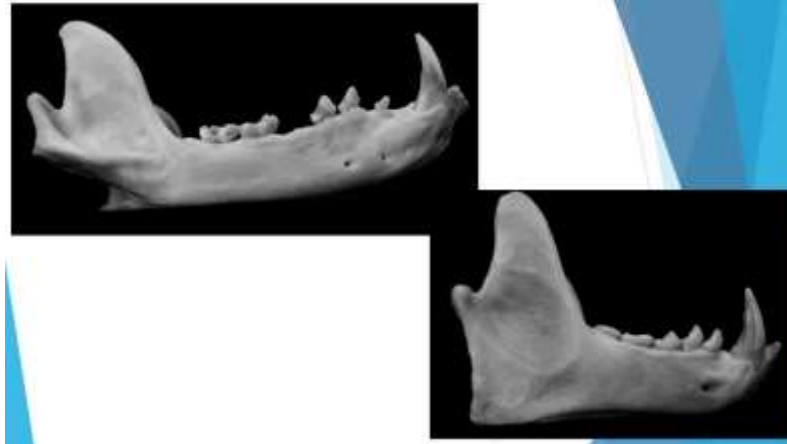
c) Vista lateral derecha de los cráneos de martucha (superior izquierdo) y coatí (inferior derecho).



d) Vista rostral de los cráneos de martucha (derecho) y coatí (izquierdo).



e) Vista lateral derecha de las mandíbulas de martucha (inferior derecha) y de coaí (superior izquierda)



Generalidades de Xenarthras

Las especies pertenecientes a este grupo son muy características en cuanto a aspecto y comportamiento:



Armadillo nueve bandas *Dasypus novemcinctus*

Orden: Xenarthra

Familia: Dasypodidae

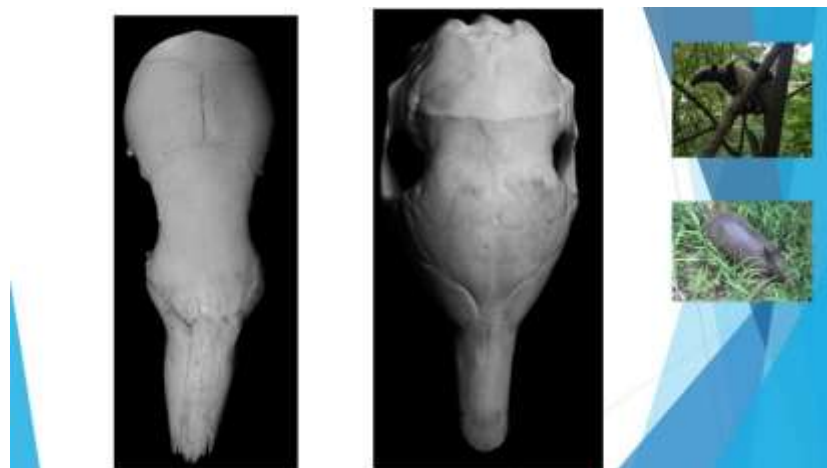
Nombre científico: *Dasypus novemcinctus*

Nombre común: Armadillo nueve bandas

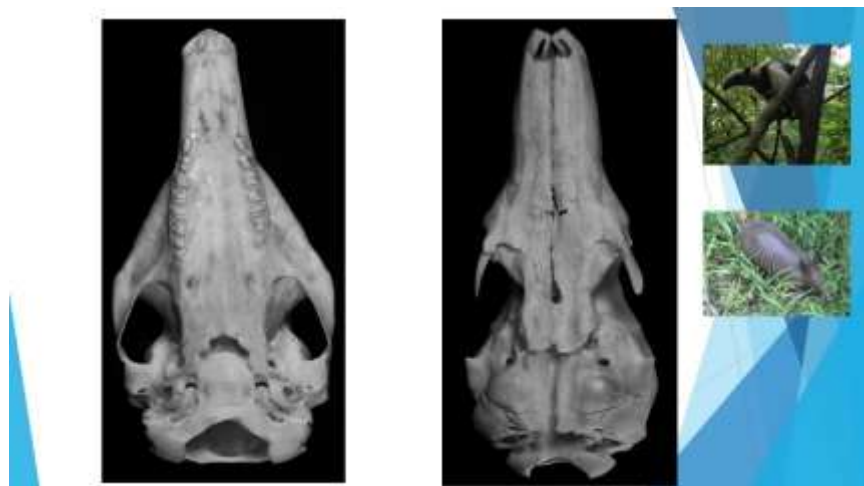




f) Vista dorsal de los cráneos de oso hormiguero (izquierdo) y armadillo (derecho).



g) Vista ventral de los cráneos de oso hormiguero (derecho) y armadillo (izquierdo).



h) Vista lateral derecha de los cráneos de oso hormiguero (superior izquierdo) y armadillo (inferior derecho).



i) Vista lateral derecha de las mandíbulas de oso hormiguero (superior izquierda) y armadillo (inferior derecha).



Gracias