



Estimación de Edad a partir de la Superficie Auricular del Hueso Coxal: Evaluación del Método de Buckberry y Chamberlain en una Muestra Colombiana

Jacobo Jiménez Otálvaro

Trabajo de grado presentado para optar al título de Antropólogo

Asesora
Timisay Monsalve Vargas,
PostDoctor (PostDoc) en Antropología

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Sociales y Humanas

Antropología

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	(Jiménez Otálvaro, 2024)
Referencia	Jiménez Otálvaro (2024). <i>Estimación de Edad a partir de la Superficie Auricular del Hueso Coxal: Evaluación del Método de Buckberry y Chamberlain en una Muestra Colombiana</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



CRAI María Teresa Uribe (Facultad de Ciencias Sociales y Humanas)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedicado a mi mamá, su amor, dedicación y entrega siguen siendo la luz que guía cada paso en mi vida. Este trabajo es fruto de su esfuerzo, de las enseñanzas y valores que me transmitió. Gracias, mamá, por ser mi inspiración y mi fuerza en cada logro; aunque no estés físicamente aquí, siento tu presencia en cada paso, cada momento y cada bendición recibida. Este es nuestro logro. Espero puedas perdonar que haya tardado más de la cuenta.

También está dedicado para ti hermanito querido, que te extraño cada día más.

Agradecimientos

A mi madre, quien en cada instante me regaló su amor infinito y me inspiró a romper mis propias barreras. Ella, con su bondad y ternura, sembró en mi corazón todo lo bello que hoy intento reflejar en mis acciones cada día.

Aunque ya no esté, cada logro mío es un eco de su amor y dedicación en esta tierra.

A Eliza, mi esposa, mi estrella, quien ilumina cada uno de mis días y ha sido mi alegría, mi amiga, mi confidente y mi cómplice incondicional. Gracias por ser mi refugio y por creer en mí siempre, cuando más lo necesito. Eres el latido que me anima a seguir adelante.

A mi hermano, cuyo apoyo y amor incondicional me sostienen. Él es mi ejemplo, mi héroe silencioso que con su vida me ha mostrado la nobleza del espíritu y la fuerza de un lazo que ni la distancia ni el tiempo pueden romper.

A mi padre, cuyo apoyo constante ha sido un pilar en mi vida. Con su incesante sentido del humor y su alegría contagiosa, siempre ha sabido arrancarme una sonrisa aun en los momentos difíciles. Su ejemplo de esfuerzo diario, de amor y afecto incondicional, me han enseñado a enfrentar la vida con esperanza y determinación.

A July y Palis, mis queridas hermanitas, a quienes agradezco cada momento compartido, desde mi primer aliento hasta hoy. Su compañía y ejemplo han sido faros en mi vida; espero, con este logro, hacerlas sentir tan orgullosas como yo me siento de tenerlas.

A Timisay, con profundo agradecimiento por su guía, su paciencia infinita y su apoyo. Su influencia ha sido más que una guía profesional; ha sido una inspiración constante, brindándome enseñanzas y oportunidades que marcarán mi vida. A mí y a todos los estudiantes que hemos tenido la fortuna de estar bajo su tutela, nos ha dejado huellas de conocimiento y motivación invaluable.

A Katherine Bustamante y Claudia García, mil gracias por su paciencia, por no rendirse conmigo y por su aliento constante. Sin su dedicación y su fe en mi capacidad, este logro no habría sido posible.

Este trabajo es fruto del amor, la constancia y la inspiración que cada uno de ustedes me ha regalado. Gracias, de todo corazón.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1.1. Justificación	10
1.2. Objetivos.....	10
1.2.1. Objetivo general	10
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Pregunta de investigación.....	11
2. Capítulo Teórico.....	12
2.1. ¿Qué es el hueso coxal?.....	12
2.2. Anatomía del hueso coxal.....	12
2.3. Crecimiento y desarrollo del hueso coxal.....	15
2.4. Desarrollo del Ilion.....	16
2.5. Superficie auricular del coxal	17
2.5.1. Características morfológicas de la superficie auricular del coxal	18
2.6. Maduración.....	20
2.7. Envejecimiento, desgaste y edad	20
2.8. Influencia en el desarrollo óseo de factores intrínsecos y extrínsecos	21
2.8.1. Nutrición.....	23
2.8.2. Actividad física, prácticas culturales y adaptación funcional del hueso	25
2.8.3. Posibles alteraciones morfológicas producidas por el parto	27
2.8.4. Enfermedad y trauma	29
2.9. Estimación de la edad en restos esqueléticos	30
2.10. Estado del arte (Superficie auricular del coxal).....	31
2.10.1. Método de Lovejoy para la Estimación de la Edad Esquelética a través de la Superficie Auricular del Ilion.....	31
2.10.2. Revisión al método de Lovejoy para la estimación de la edad por Buckberry y Chamberlain.....	32
2.10.3. Reevaluación de la Superficie Auricular como Indicador de Edad: Aportes de Osborne et al	33
2.10.4. Desafíos en la Estimación de la Edad en Poblaciones Asiáticas: Comparativa entre Métodos del Pubis y la Superficie Auricular	34

2.10.5.	Innovación en la Estimación de la Edad Esquelética: El Método Japonés de Igarashi et al. para la Superficie Auricular.....	35
2.10.6.	Estimación de la Edad Esquelética en Poblaciones Portuguesas: Un Enfoque Combinado del Acetábulo y la Superficie Auricular	37
2.10.7.	Validación del Método de Buckberry y Chamberlain en una muestra italiana	38
2.10.8.	Comparativa de Análisis Bayesiano a los métodos propuestos por Lovejoy y Buckberry & Chamberlain.....	39
2.10.9.	Fiabilidad del Método de Osborne para Estimar la Edad Ósea en una Muestra Chilena Contemporánea.....	40
2.10.10.	Comparativa entre los Métodos de Buckberry-Chamberlain y Schmitt para la Estimación de Edad en una Muestra Griega Moderna.....	41
2.10.11.	Evaluación comparativa a Cuatro Métodos para Estimar la Edad Ósea con huesos de la región pélvica en una Muestra Moderna de Medellín, Colombia	42
2.11.	Discusión sobre la eficacia de los métodos de estimación de edad a partir de la superficie auricular del coxal.....	43
3.	Capítulo Metodológico	45
3.1.	Diseño de la investigación.....	45
3.2.	Muestra	46
3.3.	Análisis de datos.....	46
3.4.	Recolección de datos	48
3.4.1.	Características morfológicas de la superficie auricular del coxal	48
4.	Resultados	52
4.1.	Resultados estadísticos	52
4.1.1.	Prueba de correlación de Kendall.....	52
4.1.2.	Prueba de regresión múltiple.....	53
4.1.3.	Prueba de coeficiente de correlación de Spearman.....	55
4.1.4.	Prueba t de Student.....	57
5.	Discusión.....	58
5.1.	Interpretación de resultados en relación con los objetivos de la investigación	58
5.2.	Análisis de resultados	59
	Bibliografía.....	64

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución por sexo y edad	46
Tabla 2. Operacionalización de variables superficie auricular	49
Tabla 3. Operacionalización de variables Actividad Apical	51
Tabla 4. Correlación de kendall individualizada por cada característica evaluada	53
Tabla 5. Coeficientes de correlación parcial entre las características (controlado por edad).....	53
Tabla 6. Análisis de regresión múltiple	54
Tabla 7. Correlación de Spearman.....	56
Tabla 8. Correlación de Spearman (controlado por grupo etario)	57

Lista de Figuras

Figura 1. Hueso coxal izquierdo	13
Figura 2. Superficie auricular de coxal izquierdo	19

Resumen

Este trabajo de grado analiza la superficie auricular del hueso coxal como un indicador para la estimación de edad en individuos esqueletizados de una muestra colombiana. Se evalúa la eficacia del método de Buckberry y Chamberlain frente a la población local, y se discute la importancia de tener en cuenta la variabilidad poblacional. Los resultados destacan la relevancia de desarrollar métodos adaptados a contextos específicos, contribuyendo a la antropología forense y bioarqueológica.

Palabras clave: Estimación de edad, hueso coxal, muestra colombiana, antropología forense, bioarqueología.

Abstract

This degree work analyzes the auricular surface of the coxal bone as an indicator for age estimation in skeletonized individuals from a Colombian sample. The effectiveness of the Buckberry and Chamberlain method is evaluated against the local population, and the importance of taking into account population variability is discussed. The results highlight the relevance of developing methods adapted to specific contexts, contributing to forensic and bioarchaeological anthropology.

Keywords: Age estimation, coxal bone, Colombian sample, forensic anthropology, bioarchaeology.

Introducción

1.1. Justificación

La construcción del perfil biológico en restos humanos desempeña un papel fundamental en la identificación de un individuo, tanto en contexto bio-arqueológicos como forenses, en este sentido la estimación de la edad es un elemento primordial. La precisión y confiabilidad en la valoración de la edad son el centro de la reproductibilidad metodológica científica para una correcta individualización de estos restos. Así, el desarrollo y consolidación de métodos que permitan establecer con precisión la edad en restos esqueletizados es el primer paso metodológico dentro de la antropología biológica.

En la actualidad, existen múltiples métodos para la estimación de la edad. Sin embargo, pocos han sido desarrollados o, como mínimo, ajustados para población colombiana (Medina & Restrepo, 2015). Autores como Buikstra & Ubelaker (1994) sostienen que es poco riguroso aplicar estándares desarrollados en otras poblaciones debido a la alta variación humana y la distancia biológica entre ellas. Por este motivo, la observación y descripción de los cambios morfológicos que posibilitan la estimación de la edad en el hueso coxal se presenta como una justificación fundamental. Los diversos marcadores morfológicos del hueso coxal, como la fusión de epífisis, el desarrollo de crestas y la modificación de superficies articulares, son indicadores relevantes para determinar la edad de un individuo. Sin embargo, es crucial reconocer que estos marcadores pueden variar sustancialmente debido a la variabilidad poblacional. Comprender cómo estos cambios morfológicos se manifiestan específicamente dentro de la población colombiana es esencial debido a la notable diversidad biológica existente. Este análisis pretende sentar las bases para el desarrollo de métodos específicos y contextualizados para población colombiana.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar los marcadores morfológicos en la carilla auricular del hueso coxal en individuos adultos para evaluar indicadores de estimación de la edad en una muestra osteológica seleccionada

de la colección del Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense de la Universidad de Antioquia.

1.2.2. *Objetivos específicos*

1. Establecer los marcadores morfológicos de interés ubicados en la carilla auricular del hueso coxal en la muestra osteológica.
2. Comparar las características morfológicas de la carilla auricular con las edades cronológicas documentadas de los individuos para identificar patrones correlativos entre los marcadores morfológicos y la edad.
3. Identificar las variaciones morfológicas más frecuentes observadas en la carilla auricular del hueso coxal en la muestra estudiada, para la estimación de la edad en la población colombiana.

1.3. Pregunta de investigación

¿Cómo se manifiestan los marcadores morfológicos de la carilla auricular del hueso coxal y como se relacionan con las edades cronológicas documentadas en una muestra de individuos esqueletizados de la colección osteológica de referencia del Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense de la Universidad de Antioquia?

2. Capítulo Teórico

2.1. ¿Qué es el hueso coxal?

El hueso coxal es una estructura ósea clave que forma parte integral de la pelvis en el esqueleto humano. Cada hueso coxal es simétrico y se ubica en los laterales y la parte anterior del cuerpo, uniendo la columna vertebral a los miembros inferiores a través de la articulación sacroilíaca y la articulación de la cadera. Es un hueso plano y grande que forma la parte principal de la cadera y juega un papel esencial en la estructura del esqueleto humano, proporcionando soporte para el tronco y actuando como una estructura clave en la distribución del peso durante la locomoción y en posiciones estáticas.

2.2. Anatomía del hueso coxal

El hueso coxal está compuesto por la fusión de tres huesos más pequeños: el ilion, el isquion y el pubis, estos elementos se unen en la cavidad acetabular, sitio donde se articula la cabeza del fémur. Esta articulación, conocida como la articulación de la cadera, es fundamental para permitir un rango de movimiento considerable y soportar las fuerzas transmitidas a través del miembro inferior durante actividades como caminar, correr o saltar. El pubis contribuye a la porción anterior del hueso coxal y se une al isquion a través de la sínfisis púbica, una articulación fibrocartilaginosa. Estos tres elementos óseos que se encuentran separados en la infancia se fusionan durante la adolescencia, creando una estructura sólida que brinda estabilidad a la pelvis y facilita la transmisión de peso desde la columna vertebral hacia las extremidades inferiores durante el movimiento.

Figura 1. *Hueso coxal izquierdo*



Nota. *Fuente:* Fotografía tomada por el autor, 2024. Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense Universidad de Antioquia.

Morfológicamente, el hueso coxal se caracteriza por su forma irregular y su capacidad para soportar cargas pesadas y distribuir fuerzas desde la columna vertebral hacia los miembros inferiores. El acetábulo, como se mencionó anteriormente, es un componente clave de la articulación de la cadera y es crucial para la locomoción, ya que permite un rango de movimiento considerable mientras soporta el peso del cuerpo. A continuación, se describen las partes que conforman el hueso coxal:

- **Pubis:** La parte más anterior del hueso coxal, el pubis se encuentra en la parte frontal y se une al pubis del lado opuesto a través de la sínfisis púbica, un cartílago que conecta ambas partes. Esta estructura es crucial para proporcionar soporte estructural y facilitar la movilidad.
- **Isquion:** Situado en la porción inferior y posterior exhibe una forma más ancha y robusta. El isquion soporta el peso corporal cuando una persona está sentada y ofrece inserciones para los músculos de la pierna y ligamentos de la pelvis.
- **Ilión:** La parte superior y la más grande del hueso coxal, caracterizada por una amplia ala que proporciona una superficie extensa para la inserción de múltiples músculos del abdomen y la pierna. El ilión presenta una cresta ilíaca prominente, una espina ilíaca anterosuperior y anteroinferior, y una cavidad cóncava llamada fosa ilíaca en su superficie interna. Además, forma la parte superior del acetábulo, una cavidad en forma de copa en la porción lateral del hueso coxal que se articula con la cabeza del fémur, permitiendo la formación de la articulación de la cadera, en esta porción anatómica del coxal encontramos también la superficie auricular del coxal, la cual, junto a la superficie auricular del sacro forman la articulación sacroilíaca.

2.3. Crecimiento y desarrollo del hueso coxal

El ciclo de crecimiento y desarrollo del hueso coxal comienza en la etapa embrionaria, marcado por la condensación mesenquimal de las células esqueléticas precursoras, conocidas como condrocitos, que forman el modelo cartilaginoso inicial del hueso coxal. Esta fase es esencial para determinar la estructura ósea futura, iniciando un proceso donde eventos significativos como la osificación endocondral y la osificación intramembranosa juegan papeles cruciales. La osificación endocondral transforma el cartílago en tejido óseo a través de la mineralización y muerte de condrocitos, dejando un andamio de tejido óseo primario que eventualmente forma los tres centros de osificación primarios del hueso coxal: ilion, isquion, y pubis.

De manera simultánea, la osificación intramembranosa participa en el desarrollo de áreas específicas del hueso coxal. Por ejemplo, la cresta ilíaca se desarrolla a partir de centros de osificación intramembranosa en el ilion, mientras que la tuberosidad isquiática se forma de manera similar en el isquion. El desarrollo de la superficie auricular del ilion ocurre cuando las células mesenquimatosas en esta región diferencian en osteoblastos, que se agrupan y secretan matriz ósea directamente sobre el tejido mesenquimatoso circundante, formando una estructura rudimentaria que se convierte en hueso. Este proceso de depósito de matriz ósea forma gradualmente la superficie auricular, que se moldea adquiriendo características específicas (Scheuer & Black, 2000).

Posterior al nacimiento, durante la infancia, el crecimiento y desarrollo del hueso coxal experimenta diversos procesos que lo llevan a su forma final en la adultez. Los centros de osificación secundarios aparecen en varias partes del hueso, contribuyendo al aumento de tamaño y a la formación de estructuras distintivas. Estos centros de osificación se expanden y fusionan gradualmente con el hueso principal, desarrollando una estructura más sólida y estable.

Durante la adolescencia, el crecimiento y desarrollo del hueso coxal continúan a un ritmo más lento. Los centros de osificación secundarios presentes en varias partes del hueso coxal se fusionan con el hueso principal. La cresta ilíaca como ejemplo, experimenta cambios que la hacen más prominente y le permiten adquirir una forma más definida. Este desarrollo está influenciado por factores genéticos, hormonales, ambientales, así como por la actividad física durante la adolescencia (C. Cunningham et al., 2016).

En la adultez, el hueso coxal alcanza su tamaño y forma definitiva, pero continúa sujeto a cambios relacionados con la actividad física y el envejecimiento. La remodelación ósea permite la adaptación del hueso a las demandas biomecánicas. Con el envejecimiento, pueden surgir cambios degenerativos, como la pérdida de densidad ósea y el desarrollo de osteoartritis en las articulaciones, afectando la morfología y función del hueso coxal.

2.4.Desarrollo del Ilión

Desde su formación, el ilión muestra gran parte de las características que lo definen en la edad adulta. Las espinas ilíacas anteriores y supero posteriores se presentan prominentemente desarrolladas desde el inicio, aunque la zona correspondiente a la espina ilíaca anteroinferior no alcanza una definición clara en estas fases tempranas. Cunningham, Scheuer & Black (2016) identificaron que estructuras como el contrafuerte acetábulo-cristal y la prominencia ósea que se extiende desde la superficie auricular hasta el acetábulo están ya presentes desde el nacimiento. El desarrollo del ilión inicia durante las primeras etapas de la gestación, con la condensación de células mesenquimatosas que eventualmente forman la base para la osificación del ilión. Este proceso de osificación comienza alrededor del final del segundo mes y comienzo del tercer mes de desarrollo intrauterino, manifestándose inicialmente en la región del acetábulo, cerca de la muesca ciática mayor. La formación de cartílago precede a la osificación, comenzando alrededor de las semanas 6 a 7 de desarrollo intrauterino, con los centros de condricación para el pubis y el isquion desarrollándose bien por las semanas 7 a 8 (C. Cunningham et al., 2016). Para el final del segundo mes, los centros de condricación se encuentran y fusionan, formando un acetábulo poco profundo, con la fusión del isquion y el ilión precediendo la unión con la masa del pubis. Hacia la octava semana, estructuras como la espina y la tuberosidad isquiáticas están bien definidas, lo que indica que el esqueleto cartilaginoso de la pelvis está casi completo al inicio del tercer mes intrauterino.

La osificación del ilión sigue un patrón similar, comenzando en el pericondrio del techo del acetábulo hacia el final del segundo mes y comienzo del tercer mes de gestación. Este proceso se extiende en dirección craneal, cubriendo las superficies internas y externas de la hoja ilíaca, sin invadir el cartílago subyacente. La osificación avanza de manera radiante, formando tanto una capa interna como externa de hueso, un proceso que es influenciado significativamente por la distribución vascular y la posición de las placas de crecimiento (C. Cunningham et al., 2016).

Después del nacimiento, el ilion experimenta cambios significativos que continúan a lo largo de la infancia, la adolescencia, y hasta la madurez. Inicialmente, se reporta un rápido aumento en el área superficial del ilion durante el primer año después del nacimiento, el cual continúa a una tasa más lenta hasta aproximadamente los 4 años, momento en el cual la tasa de crecimiento se reduce aún más. Aunque el ilion sigue creciendo entre los 5 años y la pubertad, tiempo durante el cual la tasa de crecimiento disminuye. Se ha observado que los órganos pélvicos descienden completamente en la cavidad pélvica para los 6 años de edad, lo que probablemente refleja el tiempo en que el complejo ha crecido lo suficiente en todos los diámetros para permitir un descenso completo (C. Cunningham et al., 2016).

Estos cambios postnatales en el ilion, desde el aumento en el área superficial hasta el desarrollo de estructuras específicas como la línea iliopectínea y la fosa acetabular ilíaca, demuestran la complejidad del crecimiento y desarrollo óseo. Estos procesos están influenciados por una variedad de factores, incluyendo cambios biomecánicos asociados con el inicio de la marcha y la postura erguida, así como por el crecimiento general del esqueleto en respuesta a estímulos endocrinos y mecánicos durante la niñez y la adolescencia.

2.5. Superficie auricular del coxal

Lovejoy define la superficie auricular como “el área del hueso subcondral que forma la porción ilíaca de la articulación sacroilíaca” (Lovejoy et al., 1985, p. 17). La superficie auricular del coxal se compone de dos partes principales: la porción craneal y la porción caudal, además, la tuberosidad ilíaca, situada de manera posterosuperior a la superficie auricular, es el sitio de unión para los ligamentos sacroilíacos (White et al., 2012). La ubicación de la superficie auricular en el ilion es posterior y se orienta medialmente, con su ápice apuntando hacia el frente, la superficie rugosa para la inserción de los ligamentos sacroilíacos se encuentra posterosuperior a esta misma (White et al., 2012). La articulación sacroilíaca en la que se encuentra presente esta superficie auricular presenta una forma de “L”, con una sección superior más corta en comparación con la sección inferior, que es más extensa y se orienta hacia abajo y hacia atrás (Weisl, 1955). La parte alta de la “L” interactúa con la primera vértebra sacra a través de una superficie articular que se encuentra de manera lateral. La porción inferior de esta superficie articular se conecta con la pequeña área articular lateral de la segunda vértebra sacra. Esta estructura se clasifica como una

articulación sinovial; sin embargo, bajo condiciones normales y debido a la influencia de sus ligamentos, esta articulación presenta un movimiento bastante restringido (Cho & Kwak, 2021).

La superficie auricular se puede encontrar bien preservada normalmente (Lovejoy et al., 1985), Por tanto, el desarrollo de métodos que permitan estimar la edad en individuos esqueletizados mediante este hueso representa un recurso de gran valor.

En términos de morfología, la superficie auricular presenta variaciones que pueden ser cruciales para la determinación de la edad, estos cambios morfológicos son el resultado de procesos fisiológicos y biomecánicos que ocurren a lo largo de la vida del individuo. Cunningham y Black (2016) indican que los cambios relacionados con la edad en la superficie auricular del ilion pueden ser consecuencia del aumento proporcional de fibrocartílago asociado a la superficie auricular a medida que el individuo envejece, sin embargo, agregan que “el proceso biológico específico por el cual se producen cambios en esta articulación sigue sin ser comprendido completamente” (C. A. Cunningham & Black, 2016, p. 82).

2.5.1. Características morfológicas de la superficie auricular del coxal

Organización transversa: La organización transversal se refiere a las ondulaciones y estrías que, orientadas horizontalmente, van desde el borde medial al borde lateral de la superficie auricular, a medida que avanza el envejecimiento, las ondulaciones disminuyen considerablemente y son reemplazadas por estrías. Posteriormente, esta organización se reduce y la superficie se vuelve más amorfa, sin una estructura direccional definida (Lovejoy et al., 1985).

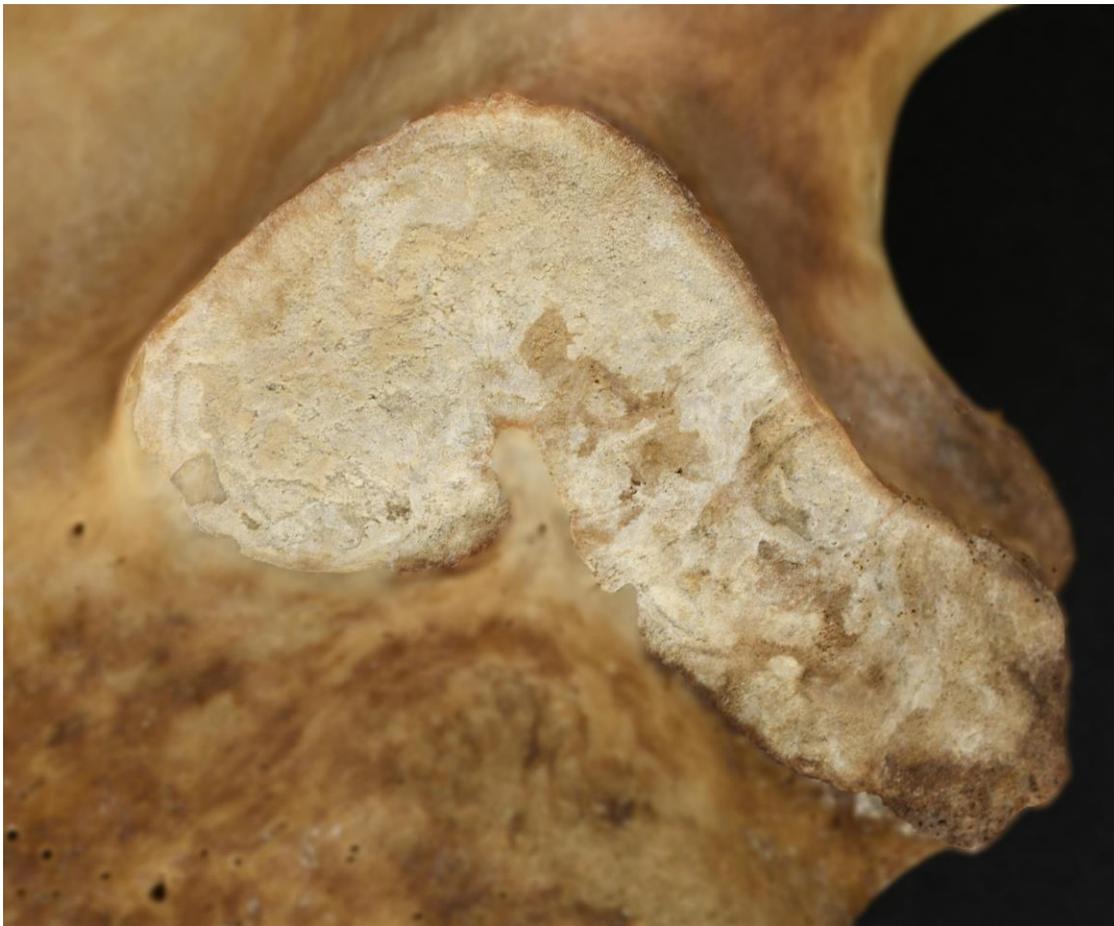
Textura de la superficie: Este concepto se corresponde a “la apariencia general de la superficie con respecto a su estructura fina” (Lovejoy et al., 1985, p. 19). La textura de la superficie auricular es finamente granulada en la juventud y se vuelve más gruesamente granular y densificada en individuos mayores, Buckberry & Chamberlain (2002) evalúan esta característica en términos de qué proporción de la superficie está cubierta por un tipo particular de textura.

Microporosidad: La microporosidad está definida por Buckberry y Chamberlain (2002) como la porosidad presente en la superficie (o perforaciones en el hueso subcondral) con poros de menos de 1 milímetro de diámetro. Langley et. al. (2016) en su manual definen la microporosidad de la misma manera, pero modifican la unidad de medida por porosidades de tamaño menor a 0.5 milímetros.

Macroporosidad: La macroporosidad está definida por Buckberry y Chamberlain (2002) como la porosidad presente en la superficie (o perforaciones en el hueso subcondral) con poros de más de 1 milímetro de diámetro.

Ápice (AC): Se refiere al área específica donde la superficie articular del hueso coxal entra en contacto con la terminación posterior de la línea arqueada. El ápice de la superficie auricular puede desarrollar pequeños crecimientos osteofíticos, o formaciones de labio, que cuando son más severos pueden alterar el contorno de la superficie (Rougé-Maillart et al., 2009).

Figura 2. *Superficie auricular de coxal izquierdo*



Nota. Fuente: Fotografía tomada por el autor, 2024. Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense Universidad de Antioquia.

2.6. Maduración

El tejido óseo que se desarrolla inicialmente en el esqueleto de un feto es conocido como hueso inmaduro. Este tipo de hueso se diferencia del hueso maduro en varios aspectos fundamentales:

- a) El hueso inmaduro no presenta una organización laminillar definida, sino un patrón no laminillar, a menudo referido como hueso entretejido o fasciculado, debido a la disposición entrelazada de sus fibras colágenas.
- b) El hueso inmaduro posee una mayor densidad celular por unidad de volumen en comparación con el hueso maduro.
- c) En el hueso inmaduro, las células tienden a estar distribuidas de forma aleatoria, a diferencia del hueso maduro donde las células se orientan paralelamente a las laminillas en su eje mayor.
- d) La matriz ósea del hueso inmaduro también contiene más sustancia fundamental que la del hueso maduro.

En cuanto a la mineralización, el hueso inmaduro no se mineraliza completamente desde el principio, a diferencia del hueso maduro, que sufre una mineralización secundaria más prolongada. Esta diferencia es evidente en técnicas de imagen avanzadas, donde se puede observar que los sistemas de Havers más jóvenes en el hueso maduro están menos mineralizados que las osteonas más viejas. Además, el hueso inmaduro se forma más rápidamente que el maduro. Aunque el hueso maduro es la forma predominante en adultos y el hueso inmaduro es típico de los fetos en desarrollo, es común encontrar regiones de tejido óseo inmaduro en adultos, especialmente en áreas donde el hueso está siendo remodelado.

2.7. Envejecimiento, desgaste y edad

En el análisis del envejecimiento óseo y cómo este ocurre posterior a la maduración, en la adultez, es imperativo reconocer la compleja interacción de factores genéticos, culturales, y ambientales que contribuyen a la senescencia individual (Schmitt et al., 2002), lo cual introduce

una variabilidad significativa en los indicadores esqueléticos de la edad. Esta variabilidad destaca la heterogeneidad en los procesos de envejecimiento entre individuos y poblaciones, lo que plantea complicaciones significativas a las metodologías tradicionales de estimación de la edad post mortem basadas en indicadores óseos. La relación entre la edad cronológica y los cambios esqueléticos observados no es lineal ni constante, pues depende de un espectro de factores extrínsecos e intrínsecos [Ver capítulo 2.7: Influencia en el desarrollo óseo de factores intrínsecos y extrínsecos] (Crews & Stewart, 2010; Schmitt et al., 2002).

Es importante detallar además que los mecanismos biosociales que intervienen en el proceso de senectud están yuxtapuestos a la comprensión cultural de la madurez del cuerpo en cada individuo. Cox (2000) critica en contextos arqueológicos como la obsesión por determinar la edad al morir precisa en poblaciones pasadas refleja las preocupaciones actuales más que las históricas, ya que para gran parte de nuestros ancestros, probablemente la edad cronológica era desconocida o irrelevante, siendo el estatus biológico y la condición física lo que realmente importaba. Es posible indexar el núcleo de esta crítica en la comprensión de la complejidad de la determinación de la edad en restos óseos, ya que los factores culturales, sociales y económicos, determinan entre otras cosas como la biología se ve afectada por el entorno, así, vemos como la expectativa de vida fue en aumento a lo largo del siglo XX entre todas las clases socioeconómicas (Cox, 2000), lo que nos hace entender la importancia de reevaluar los métodos ya establecidos, pues las diferencias en el hueso provienen de todas las direcciones.

La variabilidad individual en el envejecimiento óseo requiere métodos de estimación que puedan adaptarse a la diversidad biológica, superando las limitaciones de un enfoque basado únicamente en marcas temporales. Por tanto, la estimación de la edad en restos óseos destaca la necesidad de un enfoque integrador que considere tanto el tiempo como la biología, promoviendo métodos que reconozcan y acomoden la complejidad inherente al estudio del envejecimiento humano.

2.8. Influencia en el desarrollo óseo de factores intrínsecos y extrínsecos

En definitiva, la distinción entre edad biológica y edad cronológica revela profundas implicaciones tanto en términos socioculturales como biológicos, evidenciando cómo nuestras percepciones y realidades físicas del envejecimiento se entrelazan y divergen. La edad cronológica,

medida en años transcurridos desde el nacimiento, es un marcador temporal universalmente reconocido, que determina legalidades, derechos y expectativas sociales en diversas culturas. Esta medida es rígida, inalterable y uniforme, independientemente de las circunstancias individuales o contextos culturales. En contraste, la edad biológica refleja el estado fisiológico de un organismo, su 'desgaste' acumulado, que puede ser acelerado por factores genéticos, ambientales y de estilo de vida (Cox, 2000; Crews & Stewart, 2010), o ralentizado mediante hábitos saludables y condiciones favorables (Henry et al., 2024). Esta discrepancia entre cómo medimos el tiempo de vida y cómo lo vivimos físicamente resalta las limitaciones de una visión puramente cronológica del envejecimiento.

Desde una perspectiva sociocultural, la edad cronológica estructura la organización de la vida social, marcando hitos de transición y roles esperados en la sociedad. Sin embargo, esta estructuración puede entrar en conflicto con la realidad biológica de individuos que envejecen de manera diferente, lo que lleva a cuestionamientos sobre la idoneidad de estas normas universales. Por ejemplo, la edad legal para comenzar la educación, jubilarse, o casarse no necesariamente coincide con la madurez biológica o las capacidades individuales (Fung, 2013).

Biológicamente, la variabilidad en el envejecimiento resalta la relevancia de tomar en cuenta la edad biológica para comprender la salud y la capacidad funcional de una persona. Dos individuos que tienen la misma edad cronológica pueden presentar estados de salud y capacidades físicas considerablemente distintos. Esto implica que la edad cronológica, que simplemente mide el tiempo transcurrido desde el nacimiento, no siempre es un indicador preciso del estado de salud o de la funcionalidad física de una persona.

La edad biológica, que se refiere al estado real de las células, tejidos y órganos del cuerpo, puede variar significativamente entre diferentes personas de la misma edad cronológica. Esta diferencia en la edad biológica puede ser influenciada por factores como la genética, el estilo de vida, la alimentación, la actividad física, la exposición a factores externos e internos y también a prácticas culturales aprendidas (como pueden ser el consumo de tabaco, alucinógenos o alcohol). Esto significa que los factores intrínsecos y extrínsecos que experimenta un individuo pueden tener efectos profundos en la longevidad, la calidad de vida y el envejecimiento, por lo que en términos de salud pública y medicina personalizada, reconocer y medir la edad biológica puede mejorar las estrategias de prevención, diagnóstico y tratamiento, adaptándolas más estrechamente a las necesidades reales de los individuos (Henry et al., 2024).

Mientras que la edad cronológica ofrece una medida clara y conveniente para organizar la sociedad y sus rituales, la edad biológica proporciona una comprensión más profunda y matizada de la condición humana, subrayando la necesidad de un enfoque más flexible y personalizado. En el ámbito de la estimación de edad en restos óseos, la distinción entre edad biológica y edad cronológica adquiere una relevancia particular, pues plantea los retos y posibilidades inherentes a la interpretación de la evidencia osteológica, pues como planteamos, mientras que la edad cronológica representa un marco temporal definido desde el nacimiento hasta la muerte, la edad biológica refleja el estado de desarrollo o degeneración del esqueleto, que es influenciado por una multitud de factores genéticos, ambientales y nutricionales. Esta divergencia entre el registro temporal y el estado físico real de los restos óseos plantea desafíos significativos para la aplicación de métodos y técnicas que buscan determinar la edad al morir de individuos pasados a partir de su evidencia esquelética.

El hueso presenta, entonces, a lo largo de su vida variaciones patológicas derivadas de las acciones humanas cotidianas como la actividad física, la dieta y las prácticas culturales. (Plomp et al., 2023) Según DeMars y sus colegas “aproximadamente el 20% y el 40% de la masa ósea máxima en adultos resulta de factores extrínsecos (no genéticos) como el comportamiento y factores ambientales, incluidos la dieta, el clima, la carga de patógenos y el nivel de actividad” (DeMars et al., 2023, p. 11), esto nos otorga una idea de la importancia de tener en consideración la variabilidad determinada por factores ambientales al realizar estudios de estimación de edad. Gosman agrega que las insuficiencias nutricionales también tienen alta influencia en como los procesos de crecimiento y desarrollo ocurren (2012).

2.8.1. Nutrición

La influencia no genética en la salud ósea se debe principalmente a la nutrición y el estilo de vida, siendo el calcio y la vitamina D los nutrientes esenciales relacionados con la salud ósea en varias fases de la vida. Se ha observado que un suministro adecuado de calcio está vinculado con incrementos notables en la Masa Ósea Máxima durante el crecimiento, una reducción en la pérdida de masa ósea asociada con el envejecimiento y una menor incidencia de fracturas ocasionadas por fragilidad. La efectividad de estos nutrientes se optimiza cuando actúan de manera simultánea y complementaria, equilibrando la pérdida de calcio y moderando la actividad de remodelación ósea.

La nutrición afecta directamente el crecimiento y desarrollo del hueso, esto significa que un aporte nutricional adecuado es suficiente para un desarrollo óseo saludable. Según Bass (2005) y colaboradores, no existe evidencia que respalde que un excedente de nutrientes contribuya a un desarrollo óseo superior, más allá de un posible impacto indirecto relacionado con el incremento del peso corporal. El impacto más destacado de la nutrición en el desarrollo óseo ya sea trabecular o cortical, se presenta ante un estado nutricional deficiente. La adecuación nutricional se define como el balance entre la ingestión de nutrientes y la incorporación de estos junto con la energía. La malnutrición tiene como consecuencia inmediata en los niños, un crecimiento longitudinal atenuado, mientras que, a largo plazo, el efecto se traduce en la pérdida ósea debido a un aumento de la resorción del endostio y el adelgazamiento trabecular.

Las insuficiencias en suministro, biodisponibilidad y aprovechamiento nutricional que han sido documentadas como causantes de trastornos en el crecimiento esquelético para las que se reconocen los requerimientos específicos, incluyen energía, proteínas, calcio, hierro, zinc, vitamina D y vitamina A, como indican Berti et al. (1998).

En este sentido, la malnutrición causada por la ingesta calórica excesiva respecto a las necesidades calóricas de un individuo también es un factor nutricional para tener en cuenta. Tanto Houghton (1974) como Ubelaker & De La Paz (2012) identifican que la obesidad (acumulación anormal o excesiva de grasa) puede ser un factor con influencia en los cambios morfológicos que experimentan los huesos en la región pélvica a lo largo de la vida. La obesidad impone un estrés adicional sobre las articulaciones de esta zona, excediendo las demandas asociadas con la actividad locomotora habitual. Este incremento en la carga mecánica, junto con las alteraciones en la alineación y la dinámica articular, podría influir en la evolución morfológica de la pelvis a lo largo del tiempo (Ackerman & Osborne, 2012; Recnik et al., 2009). En el estudio *Effect of obesity on the reliability of age-at-death indicators of the pelvis* (2015) Wescott & Drew abordan cómo la obesidad impacta la fiabilidad de los indicadores de edad al momento de la muerte basados en la pelvis. Este estudio investigó los efectos de la obesidad en la validez de las estimaciones de edad al momento de la muerte utilizando los métodos de Buckberry-Chamberlin y Suchey-Brooks, comparando adultos estadounidenses con índices de masa corporal (IMC) normales y obesos. Los resultados indican que el grupo obeso mostró un mayor sesgo (sobreestimación de la edad), menor precisión y correlaciones más bajas entre la edad estimada y la conocida en comparación con el grupo de IMC normal, aunque las diferencias en la sínfisis púbica no fueron estadísticamente

significativas (Wescott & Drew, 2015). En el caso de la superficie auricular, el estudio destaca que la obesidad afecta la tasa de cambio esquelético relacionado con la edad de la pelvis humana, sugiriendo que la sínfisis púbica puede ser un indicador de edad más confiable en individuos obesos y que se necesitan mayores desviaciones estándar para estos individuos al estimar la edad al momento de la muerte (Wescott & Drew, 2015).

2.8.2. Actividad física, prácticas culturales y adaptación funcional del hueso

La tensión mecánica que experimenta la estructura ósea durante la etapa de desarrollo y, en menor medida, a lo largo de la vida de los individuos, ejerce efecto en la formación y desarrollo del hueso; la relación entre la estructura ósea y la función se conoce como adaptación funcional del hueso. La adaptación funcional del hueso se basa en varios principios teóricos fundamentales, incluyendo la Ley de Wolff, el Paradigma de Utah, la teoría trayectorial, la Teoría del Mecanostato óseo. Estos principios sugieren que el hueso se adapta estructuralmente en respuesta a la carga mecánica que experimenta, lo que resulta en una modificación de su forma y estructura para optimizar la resistencia mientras mantiene una eficiencia de peso adecuada (DeMars et al., 2023).

- **Ley de Wolff:** Explica que la carga impuesta en un hueso inducirá una adaptación estructural, adaptando su forma y orientación de la masa ósea en respuesta a las fuerzas ejercidas sobre él.
- **Teoría Trayectorial:** Se refiere a la orientación de las trabéculas dentro de los huesos según la distribución del estrés, asegurando que el hueso pueda soportar la tensión siendo ligero y rígido al mismo tiempo.
- **Teoría del Mecanostato óseo:** Establece que existe un umbral en la fisiología ósea que determina cuándo y si se evocará una respuesta adaptativa al cargar dentro de un hueso, regido por el concepto de un esfuerzo efectivo mínimo que debe superarse para inducir la transferencia y la interpretación de señales mecánicas dentro del hueso.
- **Paradigma de Utah:** Clarifica la adaptación ósea a eventos de sobrecarga o insuficiencia de carga, sugiriendo que tanto la desuso como el sobreuso del hueso pueden cambiar su estructura y forma.

En definitiva, la estructura funcional del hueso, influenciada por la carga mecánica, refleja una compleja interacción entre factores biológicos, ambientales y conductuales, que a su vez se ven afectados por las dinámicas sociales, económicas y culturales en las cuales se inserta el cuerpo. Desde esta perspectiva, la relación entre nutrición y adaptación funcional del hueso subraya la complejidad de los factores que influyen en la salud y el desarrollo esquelético. La adaptación funcional del hueso, entendida como la respuesta del esqueleto a las cargas mecánicas y al estrés, no solo depende de las fuerzas físicas externas sino también del soporte interno proporcionado por una nutrición adecuada.

La actividad física y las prácticas culturales particulares pueden modificar la morfología ósea de esta zona. Específicamente en la cintura pélvica una de estas prácticas culturales es el uso del corsé, una tendencia de moda prevaeciente en Europa entre los siglos XVI y XIX, involucraba el uso de prendas ajustadas para moldear el cuerpo a formas y tamaños idealizados. Aunque se asocia principalmente con las mujeres, los hombres y los niños también usaron corsés para ajustarse a los ideales estéticos de la época. Los corsés ejercían una presión radial sobre la caja torácica, lo que podía distorsionar la forma habitual del torso y potencialmente afectar la parte superior de la pelvis (Decrausaz & Laudicina, 2023). Gibson (2020) sugiere que el uso prolongado de corsé podría resultar en una modificación de la forma de la caja torácica, haciéndola más circular en comparación con la forma ovalada más ancha (más ancha que profunda) que es típica en ausencia de compresión externa. En su estudio, Gibson identificó perfiles torácicos que corresponden a esta descripción, lo que indica un uso prolongado de corsé por parte de algunos individuos y propone que el uso de corsé podría haber resultado en una alteración de los ángulos de los procesos espinosos torácicos. Normalmente, estos procesos tienen un ángulo de aproximadamente 45 grados medidos desde el cuerpo de las vértebras. Sin embargo, en individuos que usaron corsé, estos ángulos podrían reducirse a entre 10 y 30 grados debido a la presión aplicada por el mismo (Gibson, 2020).

Es importante señalar que, mientras Gibson proporciona un análisis detallado del impacto de los corsés en la caja torácica, la investigación específica sobre cómo estos efectos se traducen a cambios en la pelvis es limitada y requiere de estudios adicionales para comprender completamente (Decrausaz & Laudicina, 2023). La investigación de Gibson marca un paso importante hacia la comprensión de cómo las prácticas culturales y la moda pueden influir en nuestra anatomía,

resaltando la necesidad de considerar tanto la evidencia esquelética como el contexto histórico y social al interpretar la información recolectada en un individuo.

Otros ejemplos de cambios morfológicos relacionados con la actividad humana extrínseca pueden ser encontrados en el registro bioarqueológico, una patología como la displasia acetabular está asociada a prácticas culturales como la de envolver a los infantes para dormir en edades tempranas (Blatt, 2015).

Considerando actividades físicas específicas, también se ha encontrado signos de cambios que podríamos considerar como parte del proceso de adaptación funcional del hueso en individuos que practican la equitación. Esta disciplina implica el uso de múltiples grupos musculares en el cuerpo inferior y el tronco, junto con impactos repetitivos que se irradian a través de la columna lumbar, las tuberosidades isquiáticas, la pelvis y el sacro. La posición ideal de la pelvis para un jinete es la retroversión, donde la pelvis está inclinada hacia atrás para permitir una absorción más efectiva de los impactos verticales (Pugh & Bolin, 2004). Entre los cambios que pueden evidenciarse se encuentran el desarrollo de osteofitos en las vértebras, signos de hipertrofia en las áreas de inserción muscular en la pelvis y las extremidades inferiores, y posiblemente alteraciones en la forma del acetábulo debido a la presión ejercida por la cabeza femoral sobre la cavidad acetabular (Decrausaz & Laudicina, 2023). Decrausaz (2023) agrega que sería posible encontrar también adaptaciones esqueléticas reflejadas en una mayor robustez de los puntos de anclaje muscular debido al uso repetido de ciertos grupos musculares implicados en la estabilización y el control de la montura en jinetes experimentados, pero que se necesita de estudios específicos para corroborar esta hipótesis. En estos términos, otros autores proponen que deben realizarse estudios que evalúen el impacto del estrés fisiológico en la estimación de la edad al momento de la muerte (Simon et al., 2023).

2.8.3. Posibles alteraciones morfológicas producidas por el parto

El parto ha sido identificado como un posible factor de cambios morfológicos permanentes en la estructura de la pelvis, pues este proceso afecta la morfología pélvica a través de la expansión de las dimensiones pélvicas femeninas para acomodar a un recién nacido grande. Ligamentos que unen la pelvis se relajan para permitir que la pelvis se expanda y permita que el recién nacido pase a través del canal de nacimiento. En las últimas semanas de embarazo, los ligamentos pélvicos se

relajan y se aflojan, aliviando la rigidez del ajuste entre el feto y la pelvis ósea. Decrausaz & Laudicina (2023) han sugerido que el trabajo muscular del parto, es decir, la interacción entre el hueso y los tejidos conectivos, puede dejar evidencia en la superficie del hueso pélvico. Cambios superficiales identificados como cicatrices de parto por estudios como el de Ubelaker y De La Paz (2012), han sido interpretados como posibles evidencias de parto vaginal, aunque la precisión de tales indicadores es objeto de debate; la presencia de estas cicatrices puede verse influenciada por el parto o el embarazo, pero deben considerarse con cautela como medio para identificar el parto en el esqueleto humano.

Se han identificado distintos cambios en los huesos que componen la pelvis como posible evidencia de parto, Stewart (1957) detectó crecimientos escleróticos en el margen de la sínfisis del pubis y marcas de desgaste en la parte dorsal del pubis como evidencia de parto en una muestra de esqueletos Inuit de origen desconocido. Sostuvo que, dado que estos cambios óseos solo se identificaron en esqueletos femeninos en edad fértil, la explicación más probable era que representaban reacciones esqueléticas al estrés del parto.

Houghton (1974) analizó el surco preauricular del ilion en los esqueletos de mujeres de colecciones anatómicas de la Universidad de Otago, Nueva Zelanda, identificando dos tipos distintos de surcos: el primero estaba presente tanto en pelvis masculinas como femeninas, mientras que el segundo solo en femeninas. Houghton sugirió que el primer tipo de surco (el "surco del ligamento") se debe a cambios patológicos y fisiológicos que ocurren en el sitio de unión del ligamento de la articulación pélvica (y no simplemente como resultado del parto). Propuso que el segundo tipo de surco (el "surco del embarazo") es causado por el embarazo. La articulación sacroilíaca, una zona importante de soporte de peso, sufre modificaciones para acomodar la carga aumentada durante el embarazo, una modificación que se refleja por una resorción ósea osteoclástica activa adyacente a los ligamentos (Houghton, 1974).

A pesar de estos hallazgos, otros autores citados por Decrausaz & Laudicina (2023) en su estudio indican que “la cicatriz pélvica... (termino para referirse a los cambios permanentes ocasionados por el parto) ...no es un marcador preciso para determinar que ocurrió un embarazo o parto” (Holt, 1978; Snodgrass and Galloway, 2003; Suchey et al., 1979, como se cita en Decrausaz & Laudicina, 2023, p. 201). Adicionalmente, Ubelaker & De La Paz (2012) identificaron diversos factores vinculados con la aparición de marcas cicatriciales en la región dorsal del pubis, entre los que se incluyen modificaciones óseas atribuibles al proceso de envejecimiento, patologías del

sistema urinario, anomalías en la región lumbosacra, y la presencia de obesidad. Asimismo, se ha observado que traumas leves recurrentes, intervenciones quirúrgicas, una laxitud articular generalizada, desestabilización pélvica, alteraciones en el ángulo de la incisura isquiática, y la adopción frecuente de posturas específicas, como la posición de cuclillas, pueden estar relacionados con este tipo de cambios morfológicos (Ubelaker & De La Paz, 2012).

En el mismo texto, Ubelaker & De La Paz apuntan que estos cambios, junto con otro conjunto de factores que ellos llaman “factores de confusión”, pueden afectar la eficacia de los métodos de estimación de la edad en pelvis de individuos femeninos (Ubelaker & De La Paz, 2012).

2.8.4. Enfermedad y trauma

Además de los impactos que puede llegar a tener el parto en la morfología de los huesos que componen la cintura pélvica, estos también pueden ser impactados por “Enfermedades articulares, enfermedades metabólicas, enfermedades infecciosas y traumatismos” (Decrausaz & Laudicina, 2023, p. 206). Una de estas condiciones es la espondilitis anquilosante, una condición inflamatoria que puede, con el tiempo, causar la fusión ósea en la articulación sacroilíaca, las articulaciones de la columna vertebral y las articulaciones costovertebrales (Slaus et al., 2012). Otra condición inflamatoria que afecta la sínfisis púbica y el tejido blando circundante es la osteítis púbica, caracterizada por dolor en el área de la sínfisis púbica que empeora con la actividad física, especialmente prevalente entre atletas (Decrausaz & Laudicina, 2023).

El raquitismo es una enfermedad metabólica causada primordialmente por una deficiencia de vitamina D. Esta es una enfermedad que al presentarse en la infancia impacta significativamente la pelvis. La vitamina D se encuentra en algunos alimentos y es formada principalmente en el tejido de la piel cuando los rayos ultravioleta (UV) inciden sobre la piel e inician la producción de vitamina D₃, que es inactiva, esta se traslada luego al hígado y a los riñones donde se convierte en calcitriol, la forma activa de la vitamina D, la cual se une al calcio para mineralizar los huesos (Waldron, 2008). La falta de vitamina D impide esta unión, resultando en que el nuevo hueso formado durante la deposición normal de hueso no está adecuadamente mineralizado, lo que da lugar a un hueso más blando que puede doblarse bajo carga, incluso aunque esta sea solamente sostener el propio peso del cuerpo (Decrausaz & Laudicina, 2023). La forma adulta del raquitismo se conoce como osteomalacia, durante la cual la sínfisis púbica puede experimentar cambios

drásticos como comenzar a proyectarse anteriormente y potencialmente fracturarse (Brickley et al., 2005).

Respecto a enfermedades infecciosas, la tuberculosis causada por organismos del complejo *Mycobacterium tuberculosis* puede diseminarse desde los pulmones o el tracto gastrointestinal al sistema sanguíneo y linfático hacia los huesos, causando principalmente destrucción del tejido óseo, siendo la columna vertebral (enfermedad de Pott) el sitio más común de afectación, aunque la cadera y las rodillas también pueden verse afectadas (Filipek & Roberts, 2018).

En cuanto a traumatismos se refiere, estos pueden ser resultado de accidentes y conflictos, y pueden afectar la pelvis durante la vida. La evidencia de trauma en la pelvis varía dependiendo de si ocurrió perimortem o postmortem y se resaltarán en la aparición de evidencias de remodelación ósea. La fragilidad comparativa de la pelvis con respecto a la preservación también puede limitar la interpretación de los patrones de trauma, lo que influye en la escasez comparativa de informes paleopatológicos sobre lesiones pélvicas (Decrausaz & Laudicina, 2023).

2.9. Estimación de la edad en restos esqueléticos

La estimación de la edad en restos óseos se basa en la evaluación de los cambios morfológicos que ocurren en el hueso a lo largo del ciclo de vida del individuo, el cual puede separarse en 3 fases: Crecimiento y maduración, equilibrio, y senectud (C. A. Cunningham & Black, 2016).

Durante la etapa de crecimiento y maduración la estimación de la edad se realiza típicamente mediante la evaluación de la apariencia, el cambio de morfología y la fusión de los centros de osificación (Scheuer & Black, 2000), el uso del tamaño y la apariencia morfológica para la estimación de la edad puede ser aplicado en algunos huesos incluso durante el periodo fetal, estos métodos pueden ser usados hasta el momento en que un individuo alcanza la madurez esquelética (C. A. Cunningham & Black, 2016).

Una vez se alcanza la adultez, la estimación de la edad se convierte en un desafío tanto para la fase de equilibrio como de senectud, pero aún es posible de realizar por medio del análisis de diversas áreas articulares en todo el esqueleto. Esto incluye la sínfisis púbica, la superficie auricular del ilion, las suturas craneales y los extremos esternales de las costillas (C. A. Cunningham & Black, 2016; Ellingham & Adserias-Garriga, 2019); esta forma de estimación de la edad depende

de los cambios degenerativos que ocurren en estas regiones del esqueleto, por lo que puede ser menos precisa que la estimación de la edad en individuos juveniles (Scheuer & Black, 2000). De hecho, Franklin (2010) apunta que los métodos de estimación de edad en individuos adulto por medio de las suturas craneales son muy imprecisos como para ser considerados útiles en las prácticas de investigación forense.

Respecto a la sínfisis púbica, Todd (1920) fue uno de los pioneros en la creación de sistemas de puntuación para caracterizar los cambios degenerativos en la morfología de esta región anatómica; su método para la clasificación del estado morfológico de la sínfisis púbica en 10 fases etarias se mantuvo sin cambios hasta que Brooks en su artículo *Skeletal age at death: The reliability of cranial and pubic age indicators* (1955) demostró que el método mostraba tendencia a sobreestimar la edad de los individuos, principalmente en las etapas más avanzadas del ciclo de vida.

2.10. Estado del arte (Superficie auricular del coxal)

2.10.1. Método de Lovejoy para la Estimación de la Edad Esquelética a través de la Superficie Auricular del Ilium

El método detallado en el artículo *Chronological Metamorphosis of the Auricular Surface of the Ilium* por Lovejoy et al. (1985) implica un análisis meticuloso de las transformaciones morfológicas en la superficie auricular del ilion para determinar la edad esquelética de individuos adultos en el momento de su muerte. Este enfoque se basa en la observación detallada de más de 250 superficies auriculares bien preservadas de una muestra de la población de Libben y aproximadamente 500 especímenes de la Colección Todd, complementado con 14 casos forenses, todos con identidad y edad confirmadas. Lovejoy y sus colaboradores desarrollaron un método al analizar las características morfológicas del ilion que fueran comparables o mejores que otros métodos para la estimación de la edad, de esta forma, crearon un sistema de fases basado en los cambios morfológicos identificados, con los que establecieron 8 etapas de cambios divididos en incrementos entre los 5 y los 10 años para cada etapa (Lovejoy et al., 1985). Además, describe algunas características de esta porción anatómica y los cambios observados en las mismas

Distintos autores reportaron en estudios posteriores que al aplicar este método se subestimaba la edad en los individuos de mayor edad y se sobreestimaba la edad en individuos más

jóvenes (Saunders et al., 1992; Bedford et al., 1993; Igarashi et al., 2005; Hens et al., 2008; Hens & Belcastro, 2012; Michopoulou et al., 2017). Adicionalmente, Buckberry y Chamberlain (2002) indicaron que el método por fases propuesto por Lovejoy et al. (1985) resultaba difícil de aplicar; Saunders (1992) también apuntó algo similar, al decir que los resultados de las diferencias intra observador podían sugerir dificultades en la aplicación del método que podían jugar un rol determinante en los resultados obtenidos. Aun así, Michopoulou (2017) afirmó que el uso de este método de estimación de edad por medio de la superficie auricular resulta ser útil en contextos donde haya existido exposición a daños tafonómicos.

2.10.2. Revisión al método de Lovejoy para la estimación de la edad por Buckberry y Chamberlain

Buckberry y Chamberlain en su trabajo *Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method* (2002) revisaron el método de Lovejoy et al. (1985), para esto, usaron algunas de las características anteriormente descritas por Lovejoy y desarrollaron un nuevo método en el cual se analizó cada característica morfológica de manera independiente, usando un sistema compuesto de puntuación. Este sistema se basó en la asignación de un puntaje individual a cada una de las características morfológicas observadas, los cuales se sumaban a posteriori para conseguir un puntaje compuesto. Estos puntajes compuestos se dividieron en 7 etapas asociadas a distintos rangos etarios.

El método revisado utiliza un sistema de puntuación cuantitativo que examina cada característica de la superficie auricular de manera independiente. Las características evaluadas son la organización transversal, la textura de la superficie, la microporosidad, la macroporosidad y los cambios en el ápice. Cada característica se registra de forma independiente y se les asigna una puntuación numérica correspondiente a las etapas sucesivas de su expresión. Se llevaron a cabo pruebas a ciegas del método en una colección de esqueletos de edad conocida de *Christ Church, Spitalfields*, Londres, para evaluar la relación entre las características y la edad cronológica.

El análisis estadístico mostró que las características relacionadas con la edad en la superficie auricular no difieren significativamente entre hombres y mujeres. La combinación de las características evaluadas resultó en la puntuación compuesta que mostró una alta correlación con la edad ($r_s = 0.609$, $P = 0.01$). Los resultados indican que el nuevo método revisado tiene una mayor

correlación con la edad cronológica que los estadios de la sínfisis púbica de Suchey-Brooks. La prueba de t realizada para individuos con superficies auriculares presentes en ambos lados no mostró diferencias significativas entre los puntajes compuestos de los lados izquierdo y derecho. Este método revisado permite una interpretación más realista de los cambios relacionados con la edad, aunque las estimaciones de edad producidas son más amplias, el método revisado es más fácil de aplicar y puede ser más confiable que el de Lovejoy et al. (1985). Los autores finalmente sugieren que su método revisado podría ser aplicable tanto a hombres como a mujeres, además de ser presumiblemente aplicable de manera universal a diferentes poblaciones.

2.10.3. Reevaluación de la Superficie Auricular como Indicador de Edad: Aportes de Osborne et al

El artículo *Reconsidering the Auricular Surface as an Indicator of Age at Death* (Osborne et al., 2004) examina la morfología de la superficie auricular del ilion como un indicador de la edad al momento de la muerte. Utilizando los estándares establecidos por Lovejoy et al. (1985), se puntuaron 266 individuos de edad, sexo y ascendencia documentados de las Colecciones Donadas de Terry y Bass. El objetivo del estudio es evaluar la influencia de la edad, el sexo y la ascendencia en la morfología de la superficie auricular y mejorar la aplicabilidad del método en contextos forenses. Durante el estudio, las demicaras superior e inferior izquierda y derecha se puntuaron independientemente utilizando los estándares de Lovejoy et al. (1985). Las características de la superficie se registraron sin conocimiento de la edad verdadera del individuo. Se utilizaron cuatro métodos de análisis estadístico: correlaciones de Pearson, análisis de covarianza (ANCOVA), cálculo y comparación de estadísticas de inexactitud y sesgo, y cálculo y comparación de medias e intervalos de predicción del 95%.

Osborne et al. (2004) apuntó que no era correcto considerar que la edad fuese el único motivo por el cual ocurrían los cambios morfológicos observados en la superficie auricular, especificando que era imposible apuntalar ciertos cambios morfológicos degenerativos estrictamente a ciertos rangos etarios, pues estos cambios no están influenciados exclusivamente por la edad. Osborne y sus colaboradores criticaron el método de Buckberry y Chamberlain (2002) por su forma de describir las características degenerativas sin considerar factores adicionales en su aparición.

En este mismo camino, otros autores apuntaron que el momento de la aparición de cada indicador degenerativo de la edad no es coherente a lo largo del ciclo de vida, lo que puede derivar en la superposición de los rasgos y características morfológicas descritas para cada una de las etapas etarias (Hens & Belcastro, 2012; Hens & Godde, 2016)

El análisis indicó que la morfología de la superficie auricular cambia con la edad, pero no está influenciada significativamente por el sexo o la ascendencia. La variabilidad en la morfología de la superficie auricular sugiere que factores no controlados también influyen en estos cambios, por lo que en artículo se propone un sistema modificado de seis fases para la estimación de la edad utilizando la morfología de la superficie auricular que ofrece categorías de fase más robustas y una visión más realista de la variación asociada con la edad. El estudio reconoce que, aunque el método revisado proporciona categorías de fase más robustas, la estimación de la edad adulta a través del análisis esquelético sigue siendo imprecisa, pues la precisión de la estimación de la edad disminuye a medida que aumenta la edad del individuo debido a la variabilidad en los factores endógenos y exógenos que afronta el individuo, y el método revisado refleja esta realidad. Adicionalmente, el estudio advierte que el uso de la superficie auricular como un indicador de edad puede no ser aplicable a poblaciones que no estén representadas en las colecciones de Terry y Bass, así como a contextos arqueológicos.

2.10.4. Desafíos en la Estimación de la Edad en Poblaciones Asiáticas: Comparativa entre Métodos del Pubis y la Superficie Auricular

El artículo *Age-at-death assessment using the os pubis and the auricular surface of the ilium: a test on an identified Asian sample* de A. Schmitt (2004) revisa los resultados de pruebas a ciegas de dos métodos morfológicos de estimación de la edad al momento de la muerte en una muestra plenamente identificada de población tailandesa. Los métodos evaluados son el sistema de la sínfisis púbica de Suchey-Brooks y el método de la superficie auricular del ilion de Lovejoy et al. (1985). Este estudio es el primero en probar estos métodos en material esquelético asiático. Los objetivos incluyen evaluar la precisión y el sesgo de ambos métodos y determinar su aplicabilidad en contextos arqueológicos y forenses asiáticos.

El material utilizado en este estudio es una muestra de la colección esquelética tailandesa del Departamento de Anatomía de la Universidad de Chiang Mai, Tailandia, que incluye individuos

recogidos desde 1990. La muestra consta de 66 pares de huesos ilíacos de individuos de origen tailandés. Se evaluaron 125 sínfisis púbicas y 124 superficies auriculares.

Para ambos métodos, se encontró que el sesgo y la inexactitud aumentan con la edad y la edad real tiende a subestimarse, donde la inexactitud promedio fue mayor para los individuos mayores de 60 años. El método de la sínfisis pública de Suchey-Brooks presentó sesgos de -14.5 años en hombres y -16.1 años en mujeres, mientras que el método de la superficie auricular de Lovejoy et al. mostró sesgos de -17.8 años en hombres y -20.0 años en mujeres. Los resultados sugieren que ambos métodos son menos precisos para individuos mayores y tienden a subestimar la edad real de los individuos. Estos resultados revelan que ambos métodos deben aplicarse con precaución en poblaciones asiáticas, tanto en contextos arqueológicos como forenses. La inexactitud significativa y el sesgo observados indican que estos métodos, desarrollados principalmente en poblaciones occidentales, no son completamente adecuados para poblaciones asiáticas, por este motivo el estudio sugiere que las diferencias en el patrón de envejecimiento entre las poblaciones de referencia y las poblaciones asiáticas pueden influir en la fiabilidad de las estimaciones de edad. Los autores recomiendan a futuras investigaciones trabajar en el desarrollo de estándares específicos de población para mejorar la precisión y la fiabilidad de las estimaciones de edad en contextos asiáticos. Vale resaltar el valor de este artículo, pues se constituye como una muestra de la importancia de la evaluación de la variabilidad poblacional en términos de la adaptación de los métodos existentes para obtener resultados con una mayor precisión.

2.10.5. Innovación en la Estimación de la Edad Esquelética: El Método Japonés de Igarashi et al. para la Superficie Auricular

El estudio *New Method for Estimation of Adult Skeletal Age at Death From the Morphology of the Auricular Surface of the Ilium* de Igarashi et al. (2005) propone un nuevo método para estimar la edad esquelética en el momento de la muerte utilizando la morfología de la superficie auricular del ilion. El método utiliza un análisis de regresión múltiple con variables específicas y se basa en el examen de 700 restos esqueléticos de población japonesa moderna con registros de edad. Los objetivos del estudio incluyen identificar las características más útiles para estimar la edad esquelética y demostrar que este nuevo método es más preciso que otros métodos, especialmente en los rangos de edad más avanzados.

El estudio se basó en el examen de la superficie auricular izquierda y derecha del ilion de cada muestra bajo iluminación portátil sin aumento. Se identificaron y clasificaron 13 características de la superficie auricular y estructuras óseas hipertrofiadas alrededor de la superficie. Las características se clasificaron en dos grupos: características de "mayor edad" y de "menor edad", según la correlación de su presencia con la edad. Se utilizó un análisis de regresión múltiple con variables ficticias (MRA) para vincular estas características morfológicas con la edad cronológica, y se desarrollaron ecuaciones de modelo completo y reducido para obtener estimaciones de edad.

El análisis reveló que la textura granulada fina es típica de individuos más jóvenes, mientras que una textura porosa densa es característica de individuos mayores. La frecuencia de características como porosidad densa (DP) y tuberosidad (TB) aumentó con la edad, mientras que la frecuencia de características como granulosidad fina (FG) y estriación (ST) disminuyó con la edad. El método mostró una alta correlación entre la morfología de la superficie auricular y la edad, con ajustes R-cuadrados ajustados cercanos a 0.33 para el modelo completo. Las ecuaciones del modelo reducido, compuestas por menos características, pero casi igual de fiables, se recomendaron para obtener las estimaciones más consistentes.

El nuevo método de Igarashi et al. es fácil de usar y ayuda a reducir errores intra e Inter observador. Al comparar la fiabilidad de las estimaciones de edad de diferentes partes del esqueleto, el método usado para evaluar la superficie auricular mostró ser más fiable en rangos de edad avanzados que otros métodos asociados en el estudio; sin embargo, se observó que la precisión disminuye en individuos más jóvenes. Las diferencias de género en la morfología de la superficie auricular sugieren que las estimaciones deben ajustarse según el sexo del individuo al aplicar este método en concreto. Aunque los resultados de la aplicación de este método son prometedores, los autores recomiendan su validación adicional que permita evaluar los resultados en distintas poblaciones a raíz de la variabilidad existente entre grupos humanos.

El estudio se realizó exclusivamente en una muestra de individuos provenientes de Japón, lo que puede limitar la aplicabilidad del método a otras poblaciones sin un análisis adaptativo previo. La mayoría de los individuos en la muestra eran mayores, lo que podría influir en los resultados obtenidos y en la precisión de las estimaciones para rangos de edad más jóvenes; además, la variabilidad en los cambios morfológicos relacionados con la edad entre diferentes

individuos sugiere la necesidad de más estudios para mejorar la precisión y la aplicabilidad del método en contextos forenses y arqueológicos.

2.10.6. Estimación de la Edad Esquelética en Poblaciones Portuguesas: Un Enfoque Combinado del Acetábulo y la Superficie Auricular

La investigación Development of a Method to Estimate Skeletal Age at Death in Adults Using the Acetabulum and the Auricular Surface on a Portuguese Population de Rougé-Maillart et al. (2009) propone un método para estimar la edad esquelética al momento de la muerte usando marcadores óseos de la superficie auricular y del acetábulo. El objetivo del estudio es probar estos criterios en una muestra de amplio espectro y elaborar un procedimiento estandarizado para su uso. El estudio se realizó con 462 huesos de cadera de esqueletos identificados de la Colección de Esqueletos Identificados de Coimbra (CISC) en Portugal. El estudio examinó estos restos analizando cuatro criterios en la superficie auricular y tres en el acetábulo. Cada criterio correspondiente a la superficie auricular fue evaluado según el método de Buckberry y Chamberlain (2002). Los criterios incluyeron la organización transversal, la textura, la porosidad y la actividad apical para la superficie auricular, y el aspecto del borde acetabular, la fosa acetabular y la actividad apical del cuerno posterior para el acetábulo. Se calcularon puntajes totales para la superficie auricular, el acetábulo y un puntaje general combinando ambos. Se realizaron análisis estadísticos para correlacionar los puntajes con la edad y se evaluaron las variabilidades intra e inter observador.

El análisis mostró una correlación significativa entre los puntajes de los criterios y la edad. La variabilidad intra observador fue aceptable para la mayoría de los criterios, mientras que la variabilidad inter observador fue más baja para algunos criterios. La metodología demostró ser eficaz para discriminar entre individuos de diferentes rangos de edad, especialmente para aquellos mayores de 40 años. El método permite categorizar individuos en grupos de edad con una confiabilidad del 80% cuando se utiliza solamente el puntaje del acetábulo.

El principal beneficio de este método es su aplicabilidad, incluso cuando solo se conserva parcialmente el esqueleto, en contextos donde se hayan cuerpos quemados o descompuestos por dar un ejemplo. Este método también es eficaz para discriminar a los individuos mayores, un problema conocido en esta área, lo que hace a esta metodología propuesta prometedora, pues

permite categorizar individuos en grupos de edad (menores de 40 años, mayores de 40 años, mayores de 60 años) con alta fiabilidad.

El estudio reconoce la necesidad de validar el método en muestras independientes y en diferentes poblaciones para asegurar su aplicabilidad universal. Además, algunas de las características pueden presentar baja concordancia inter observador, lo que sugiere la necesidad de más entrenamiento y estandarización en la evaluación de los criterios.

2.10.7. Validación del Método de Buckberry y Chamberlain en una muestra italiana

El artículo *Auricular Surface Aging: A Blind Test of the Revised Method on Historic Italians from Sardinia* de Samantha M. Hens y M. Giovanna Belcastro (2012) evalúa el método revisado de estimación de edad en la superficie auricular propuesto por Buckberry y Chamberlain (2002). El objetivo del estudio fue probar la precisión y eficacia del método revisado en una muestra grande de italianos históricos de Cerdeña, y comparar los resultados con el método original de Lovejoy et al (1985). Se analizaron 404 individuos de la colección Sassari con edades y sexos conocidos.

Se puntuaron cinco características de la superficie auricular: organización transversal, textura de la superficie, microporosidad, macroporosidad y cambios apicales. Las dos primeras características se puntuaron en una escala de cinco puntos, mientras que las tres últimas se puntuaron en una escala de tres puntos. Los puntajes de las características se sumaron para producir un puntaje compuesto; la puntuación fue realizada por un único observador experimentado para mantener el estudio ciego y minimizar el error de observador y se analizaron la correlación entre las características individuales y la edad conocida, así como entre el puntaje compuesto y la edad.

Los resultados indicaron que todas las características y el puntaje compuesto se correlacionaron positivamente con la edad. Las puntuaciones compuestas fueron significativamente diferentes entre los sexos, sugiriendo que los hombres y las mujeres deben ser tratados por separado en los análisis. Se encontró que la edad tiende a ser sobrestimada en individuos menores de 59 años y subestimada en aquellos mayores de 60 años, sin embargo, el método revisado mostró una mejora sobre el método original de Lovejoy et al. (1985), especialmente para la estimación de edad en individuos mayores. La variación considerable en los rangos de edad derivados de los puntajes compuestos sugiere que podrían ser necesarias menos etapas con rangos de edad más amplios.

Los autores concluyen que el método revisado de Buckberry y Chamberlain (2002) es sustancialmente más fácil de aplicar que el método original; la puntuación cuantitativa de las características independientes facilita la replicabilidad del método. Mientras que el método original puede ser preferible para estimar la edad en individuos menores de 49 años, el método revisado es definitivamente preferible para individuos mayores, sin embargo, las siete etapas de la superficie auricular no fueron significativamente diferentes en esta muestra, lo que sugiere que podrían ser necesarias menos etapas para reflejar mejor la progresión de la edad. La variabilidad morfológica en las características de la superficie auricular requiere rangos de edad amplios, sugiriendo que el método puede ser más beneficioso como indicador de etapas de vida generales en lugar de edades exactas.

2.10.8. Comparativa de Análisis Bayesiano a los métodos propuestos por Lovejoy y Buckberry & Chamberlain

El estudio *Auricular Surface Aging: Comparing Two Methods that Assess Morphological Change in the Ilium with Bayesian Analyses* de Hens y Godde (2016) compara dos métodos de estimación de la edad a partir de la superficie auricular del ilion, utilizando análisis bayesianos para mejorar la precisión. Se evalúan los métodos de Lovejoy et al. (1985) y Buckberry y Chamberlain (2002) en términos de precisión y exactitud, aplicando análisis de transición y modelos de riesgo a muestras de esqueletos masculinos americanos, portugueses y tailandeses. Los objetivos incluyen determinar si el método revisado supera al original y si la aplicación de modelos estadísticos mejora la estimación de la edad.

Se utilizaron tres muestras del siglo XX: hombres americanos (n=372), hombres portugueses (n=221) y hombres tailandeses (n=37). Las características de la superficie auricular fueron puntuadas según los métodos original y revisado. El análisis de transición y los modelos de riesgo (modelo de Gompertz) se aplicaron para estimar las edades de transición y modelar la estructura de edad en la muestra portuguesa, además se realizaron pruebas de binomio acumulativo para evaluar la precisión de los rangos de edad generados.

Los resultados mostraron que ambos métodos, al ser aplicados con análisis de transición y modelos bayesianos, mejoraron significativamente la estimación de la edad. El método original mostró una baja precisión sin modelado estadístico, mientras que el método revisado fue preciso

sin necesidad de análisis estadísticos adicionales. Los rangos de edad generados por el método revisado fueron más amplios, pero más precisos comparados con el método original.

Los autores concluyen que el método revisado de Buckberry y Chamberlain es más fácil de aplicar y presenta menor error inter e intra observador, lo que aumenta su replicabilidad. Aunque el método original proporciona estimaciones de edad ligeramente más precisas, la facilidad de aplicación del método revisado lo hace preferible, especialmente para los antropólogos forenses que no utilizan análisis bayesianos. Ambos métodos, cuando se aplican con análisis estadísticos, ofrecen una precisión similar y son efectivos para estimar la edad esquelética. Aun así, los autores sugieren que los rangos de edad podrían beneficiarse de ser menos específicos debido a la variabilidad en el envejecimiento humano.

2.10.9. Fiabilidad del Método de Osborne para Estimar la Edad Ósea en una Muestra Chilena Contemporánea

El artículo *Reliability of age estimation from iliac auricular surface in a subadult Chilean sample* de María José Herrera y Rodrigo Retamal (2017) evalúa la fiabilidad del método de Osborne et al. (2004) para la estimación de la edad a partir de la superficie auricular del ilion en una muestra chilena contemporánea, el objetivo del estudio es probar la precisión y exactitud del método en esta población específica.

El estudio se llevó a cabo en la colección esquelética del Cementerio General de Santiago, que incluye individuos chilenos fallecidos entre 1960 y 1980, con documentación de sexo, edad al momento de la muerte y causa de muerte. Se seleccionaron 172 esqueletos bien conservados, divididos en seis intervalos de edad de 10 años. Las superficies auriculares fueron clasificadas en seis fases según el método de Osborne et al. Se realizaron pruebas de error intra observador utilizando el coeficiente Kappa de Cohen en una submuestra de 20 individuos, comparando las superficies auriculares derecha e izquierda. Se utilizaron ANOVA y pruebas post-hoc de Bonferroni para evaluar la asociación entre la edad documentada y la clasificación de la superficie auricular.

Como resultado encontraron que la prueba de error intra observador mostró una débil concordancia Kappa entre las primeras y segundas clasificaciones, aunque significativa estadísticamente. La ANOVA mostró una asociación significativa entre la clasificación de la

superficie auricular y la edad documentada, mientras que el sexo y la interacción entre sexo y clasificación no fueron significativos. Las fases consecutivas mostraron una superposición considerable, excepto entre las fases 2 y 3. Los resultados indicaron que las fases 1 y 6 tenían diferencias significativas y mayores medias en comparación con las obtenidas por Osborne et al.

Este trabajo también encontró que el método de Osborne et al. presenta una alta variabilidad y superposición en las fases intermedias (2-5), lo que socava su fiabilidad en la población chilena. Las fases 1 y 6, sin embargo, mostraron menor variabilidad, posiblemente debido a que los rasgos en estas fases están más restringidos a rangos de edad más estrechos. Debido a esto los autores sugieren una reevaluación de las fases intermedias para encontrar rasgos morfológicos más delimitados en el rango de 35-50 años, y la posible fusión de estas fases para mejorar la precisión.

2.10.10. Comparativa entre los Métodos de Buckberry-Chamberlain y Schmitt para la Estimación de Edad en una Muestra Griega Moderna

En la investigación *The auricular surface as age indicator in a modern Greek sample: A test of two qualitative methods*, realizada por Michopoulou et. al. (2017) se evaluó la aplicabilidad de dos métodos cualitativos para la estimación de la edad en una muestra moderna de Grecia. Los métodos evaluados son el de Buckberry y Chamberlain (2002) y el de Schmitt et al. (2005). El objetivo del estudio es determinar la precisión de estos métodos en predecir la edad de individuos en una muestra documentada de Creta, Grecia, y cuantificar el error intra e inter observador. También se investigó si la observación indirecta a través de fotografías puede ser tan fiable como la observación directa.

Se utilizó una muestra de 74 individuos de Creta, Grecia, con sexo y edad al momento de la muerte documentados. Los restos esqueléticos fueron exhumados de los cementerios de San Constantino y Pateles en Heraklion, Creta. La superficie auricular derecha fue observada cuando fue posible, y se tomaron fotografías de cada hueso innominado. Dos observadores registraron las características morfológicas de la superficie auricular tanto directamente como a través de fotografías. Se aplicaron los métodos de Buckberry y Chamberlain y Schmitt et al. Se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman para evaluar la relación entre las características de la superficie auricular y la edad documentada. La fiabilidad se evaluó mediante pruebas de sesgo e

inexactitud, así como mediante el cálculo del coeficiente kappa de Cohen y el coeficiente de correlación intraclase (ICC) para evaluar el acuerdo intra e inter observador.

Según los autores, los coeficientes de correlación entre las características de la superficie auricular y la edad documentada fueron menores que los reportados en el estudio original de Buckberry y Chamberlain. Los resultados mostraron que ninguno de los métodos predijo la edad con suficiente precisión en la muestra cretense. El método de Schmitt et al. mostró un mejor desempeño debido a que utiliza intervalos de edad más amplios. La observación a través de fotografías no introdujo sesgo, ya que las tasas de paridad intra observador fueron altas; la paridad inter observador también fue alta. Los métodos de Buckberry y Chamberlain y de Schmitt et al. presentaron tasas de error bajas en la mayoría de las características, excepto en la textura de la superficie.

Ambos métodos, el de Buckberry y Chamberlain y el de Schmitt et al., mostraron una precisión limitada para la estimación de la edad en la muestra cretense. Los métodos no predijeron la edad correctamente en muchos casos, especialmente en individuos mayores de 70 años. La inexactitud fue mayor en individuos mayores de 70 años, mientras que la edad de individuos menores de 50 años fue sobreestimada. La aplicación de métodos desarrollados en poblaciones con una distribución de edad específica a muestras con una distribución de edad diferente puede ser problemática según lo evidenciado en el estudio, pues la alta variabilidad observada en las características morfológicas sugiere que se deben adoptar intervalos de edad más amplios para lograr una clasificación correcta de la edad. Finalmente, los autores recomiendan elegir marcadores de edad alternativos para casos forenses en Grecia.

2.10.11. Evaluación comparativa a Cuatro Métodos para Estimar la Edad Ósea con huesos de la región pélvica en una Muestra Moderna de Medellín, Colombia

El artículo *A test of four innominate bone age assessment methods in a modern skeletal collection from Medellin, Colombia* (Rivera-Sandoval et al., 2018) evalúa la fiabilidad y precisión de cuatro métodos de estimación de la edad en el hueso innominado. Los métodos evaluados son: (1) la sínfisis púbica de Suchey-Brooks, (2) la superficie auricular del ilion de Lovejoy, (3) la superficie auricular del ilion de Buckberry y Chamberlain, y (4) el método de Rougé-Maillart que incluye la superficie auricular y el acetábulo. El objetivo del estudio es determinar cuál de estos

métodos es más preciso para una población moderna de Medellín, Colombia, y evaluar la variabilidad poblacional y la precisión de las estimaciones para individuos mayores. El estudio se realizó en dos colecciones esqueléticas documentadas del Cementerio Universal y el Cementerio San Pedro en Medellín, que incluyen 277 individuos con edades comprendidas entre 15 y 99 años.

El análisis mostró una alta correlación entre los métodos y la edad real de los individuos, con índices de correlación de Pearson entre 0.85 y 0.89. El método de Buckberry y Chamberlain fue el más preciso, con un 83.03% de individuos clasificados correctamente, seguido por el método de Suchey-Brooks con un 68.95%. Los métodos de Lovejoy y Rougé-Maillart mostraron menores precisiones, con 48.74% y 40.79%, respectivamente. El estudio concluye que el método de Buckberry y Chamberlain es el más preciso para la población de Medellín, especialmente para individuos mayores de 55 años. El método de Rougé-Maillart también mostró buena precisión para individuos mayores, aunque su aplicabilidad general fue menor. El método de Suchey-Brooks fue más adecuado para jóvenes menores de 40 años, mientras que el método de Lovejoy presentó altos niveles de inexactitud y sesgo, subestimando la edad de individuos mayores.

2.11. Discusión sobre la eficacia de los métodos de estimación de edad a partir de la superficie auricular del coxal

A pesar de que los diversos métodos desarrollados para la estimación de la edad por medio del análisis de la superficie auricular del hueso coxal han contribuido en mejorar la estimación de la edad en individuos adultos, la aplicación de estos métodos en colecciones diferentes a las que fueron usadas para su desarrollo tiende a mostrar un problema consistente, la sub y sobre estimación de la edad en los individuos (Bedford et al., 1993; Hens et al., 2008; Saunders et al., 1992; Schmitt, 2004).

Esto puede ser explicado bajo la idea de que al usar cada uno de estos métodos, la edad estimada en la muestra sobre la que se aplica cada método siempre estará sesgada por la muestra de referencia que originó cada una de estas herramientas (Hens & Godde, 2016). Boldsen et al. (2002) Llamó a este inconveniente mimetismo de edad, que ocurre cuando un individuo es mayor o menor que la composición etaria de la muestra de referencia, pues la estimación de la edad del individuo objeto de observación se basará en la edad media de la muestra de referencia correspondiente al método aplicado.

Cuando Saunders (1992) aplicó el método desarrollado por Lovejoy et al. (1985) encontró que la precisión del mismo mostraba un nivel de sesgo considerablemente alto. Al aplicar esta herramienta, funcionó bien para estimar la edad de los individuos más jóvenes, pero en individuos con edades conocidas superiores a los 30 años, tanto “la eficacia como el sesgo aumentaron, por lo que la técnica se volvió menos confiable” (Saunders et al., 1992, p. 114). La tendencia según Saunders fue a subestimar a los individuos entre los 45 y 60 años.

En definitiva, mientras que los métodos actuales ofrecen una herramienta valiosa para la estimación de la edad, es esencial considerar las limitaciones asociadas con la variabilidad poblacional. Es importante que un conjunto de investigaciones futuras enfoque sus esfuerzos en el desarrollo de estándares de referencia específicos para diferentes poblaciones, así como en el perfeccionamiento de las metodologías actuales para minimizar el sesgo y aumentar la precisión en la estimación de la edad, especialmente en grupos etarios de edad avanzada.

3. Capítulo Metodológico

Este capítulo metodológico se centra en detallar los procedimientos utilizados para analizar los marcadores morfológicos en la carilla auricular del hueso coxal en individuos adultos, con el objetivo principal de evaluar su utilidad como indicadores de la edad al momento de la muerte. Dado que la estimación de la edad es crucial para la reconstrucción demográfica y el estudio de las poblaciones en antropología forense y bioarqueológica es esencial emplear métodos precisos y confiables para determinar la edad a partir de características osteológicas específicas.

La investigación es de corte transversal, utilizando muestras pertenecientes a la colección del Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense de la Universidad de Antioquia. En esta sección, se explicarán los criterios de selección de las muestras, las técnicas específicas de medición empleadas en la carilla auricular, y los métodos estadísticos implementados para correlacionar estas características morfológicas con la edad cronológica de los individuos.

Este análisis detallado permite no solo identificar la fiabilidad de los marcadores establecidos para la estimación de la edad, sino también comprender la variabilidad inherente en estos marcadores dentro de la muestra de estudio.

Además, este estudio evalúa la efectividad de estas técnicas en el contexto de la colección osteológica seleccionada, revisando críticamente tanto las fortalezas como las limitaciones del análisis aplicado. Este enfoque establece un fundamento sólido para la interpretación de los resultados y su aplicación en la elaboración de métodos y técnicas específicos para población colombiana a futuro.

3.1. Diseño de la investigación

La investigación adopta un enfoque cualitativo y comparativo para examinar las variaciones de marcadores morfológicos específicos en la carilla auricular del hueso coxal de individuos adultos en relación con la edad cronológica. El propósito principal es evaluar la capacidad de estos marcadores para indicar la edad al momento de la muerte, utilizando para ello una metodología que combina métodos de recolección de datos específicos para el área morfológica de interés y análisis estadístico.

3.2. Muestra

La muestra consiste en esqueletos humanos provenientes de la colección osteológica descrita anteriormente, seleccionados en base a la disponibilidad de registros completos de edad y sexo. El estudio se realizó con 60 individuos, 40 hombres y 20 mujeres, con edades comprendidas entre los 25 y los 54 años al momento del deceso, cuyo hueso coxal se encontraba en condiciones de conservación ideales, sin signos de daño tafonómico en la superficie auricular del coxal, patologías o modificaciones anatómicas anormales.

Tabla 1. *Distribución por sexo y edad*

	Grupo etario	Hombres	Mujeres	Total
1	25-34	17	2	19
2	35-44	9	6	15
3	45-54	14	12	26
4	Total	40	20	60

3.3. Análisis de datos

Para alcanzar el objetivo principal de analizar los marcadores morfológicos en la carilla auricular del hueso coxal y evaluar su capacidad para indicar la edad al momento de la muerte, se aplicaron técnicas estadísticas específicas diseñadas para examinar la correlación entre las características morfológicas observadas y las edades conocidas de los individuos en la muestra; los datos recogidos fueron parametrizados a través del software IBM SPSS Statics con el fin de obtener resultados estadísticos descriptivos.

Se utilizaron modelos de regresión múltiple para investigar la relación entre cada marcador morfológico medido en la carilla auricular y la edad cronológica. Estos modelos permitirán ajustar por posibles confundidores como el sexo, proporcionando una comprensión más clara de cómo cada marcador contribuye de manera independiente a la predicción de la edad. La significancia

estadística de cada marcador se evaluará mediante pruebas t para los coeficientes de regresión, y se reportarán los intervalos de confianza para estos coeficientes.

Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación monotónica entre los marcadores morfológicos descritos y la edad cronológica de los individuos. Este coeficiente proporciona una medida cuantitativa del grado de correlación, indicando la fuerza y dirección de la relación monotónica entre las variables, siendo más robusto frente a distribuciones no normales y valores atípicos, y adecuado para capturar tanto relaciones lineales como no lineales.

Se calculó el coeficiente de correlación de Kendall para evaluar la relación entre los marcadores morfológicos y la edad cronológica de los individuos. Este coeficiente es especialmente útil ya que es más robusto frente a distribuciones no normales y valores atípicos; aunque similar al coeficiente de correlación de Spearman, es más sensible para detectar asociaciones en conjuntos de datos pequeños. La correlación de Kendall proporciona una medida cuantitativa del grado de correlación, indicando la fuerza y dirección de la relación ordinal entre las variables, siendo ideal para datos que pueden contener empates o presentar relaciones no lineales. Al utilizar Kendall, se asegura una evaluación precisa de la asociación entre las variables morfológicas y la edad, considerando las características específicas del conjunto de datos.

Se aplicó la prueba t de Student para comparar los resultados de los marcadores morfológicos entre hombres y mujeres. Esta prueba estadística es adecuada para determinar si existen diferencias significativas en las medias de dos grupos independientes, en este caso, los sexos. Al comparar los valores medios de los marcadores morfológicos entre hombres y mujeres, la prueba t de Student permite identificar si el sexo influye significativamente en las características morfológicas medidas. Esto es crucial para entender si el sexo debe considerarse un factor de ajuste en los modelos de regresión y para proporcionar una interpretación más precisa de cómo cada marcador morfológico se asocia con la edad en diferentes grupos de población.

Para facilitar el estudio y garantizar una evaluación precisa y sistemática de los datos, se incorporó una tabla de operacionalización de variables en la investigación. Esta tabla detalla cada marcador morfológico evaluado en la carilla auricular del hueso coxal, definiendo claramente las variables dependientes e independientes, sus categorías y los métodos de medición específicos utilizados. Esto implica el establecimiento de las unidades de medida y los rangos aceptables para cada variable. Este recurso resultó valioso como una guía esencial para la recolección de datos durante la investigación, asegurando la consistencia y la estandarización en el proceso de medición

y análisis, pues proporciona un marco claro para la interpretación y comparación de los resultados obtenidos en el estudio.

3.4. Recolección de datos

3.4.1. Características morfológicas de la superficie auricular del coxal

Las características morfológicas objeto de estudio corresponden a la ondulación, granulación y porosidad de la superficie auricular del coxal, así como cambios en la morfología del ápex, la elección de estas características se basa en la revisión realizada por Buckberry & Chamberlain al método de Lovejoy (Buckberry & Chamberlain, 2002). Buckberry & Chamberlain afirman que el área retroauricular no arrojaba buenos resultados para la estimación de la edad por lo que la excluyeron de su trabajo, basado en su aproximación, esta característica será excluida también en esta investigación. La superficie auricular del coxal será analizada como una unidad, sin separaciones o divisiones; se enumeran a continuación las variables independientes (Ver tablas 2 y 3):

- Organización transversa (TO)
- Textura de la superficie (ST)
- Microporosidad (MI)
- Macroporosidad (MA)
- Ápice (AC)

Tabla 2. Operacionalización de variables superficie auricular

Naturaleza	Escala	Categoría de análisis	Clasificación de categorías	Variable independiente	Concepto	Valores	Código
Cualitativa - dicotómica	Nominal	Dimorfismo sexual	Sexo	Sexo		Hombre	1
						Mujer	2
Cuantitativa - politómica	Escala	Edad cronológica	Edad	Edad	Corresponde a la edad real documentada del individuo al momento del deceso		
Cualitativa - politómica	Ordinal	Grupo etario	Grupo etario	Grupo etario	Se definen 3 grupos etarios adaptados a la disponibilidad de individuos en el laboratorio	25-34	1
						35-44	2
						45-54	3
	Ordinal	Relieve	Ondulación	Organización transversa	Se refiere a las ondulaciones y estrías que, orientadas horizontalmente, van desde el borde medial al borde lateral de la superficie auricular Se usa el score creado por Buckberry & Chamberlain (2002)	90% o < de la superficie se encuentra transversalmente ordenada	1
						50% - 89% de la superficie se encuentra transversalmente ordenada	2
						25% - 49% de la superficie se encuentra transversalmente ordenada	3
						Organización transversa presente en menos del 25% de la superficie	4
						No se encuentra organización transversa en la superficie	5
	Ordinal	Textura	Granulación	Textura de la superficie	Este concepto se corresponde a la apariencia general de la superficie con respecto a su estructura fina (Lovejoy. 1985. El hueso finamente granular se define como aquel que tiene granos predominantemente menores de 0.5 mm de diámetro, y el hueso gruesamente granular consiste en granos predominantemente mayores de 0.5 mm	90% o < de la superficie se encuentra finamente granular	1
						50%-89% La superficie es finamente granular; reemplazo de hueso finamente granular por hueso gruesamente granular en algunas áreas; no se encuentra presente hueso denso	2
El 50% o más de la superficie es gruesamente granular. A veces se encuentra presente hueso denso						3	

Naturaleza	Escala	Categoría de análisis	Clasificación de categorías	Variable independiente	Concepto	Valores	Código
					de diámetro (Buckberry & Chamberlain. 2002)	Se encuentra presente hueso denso, pero ocupa menos del 50% de la superficie; esto puede ser solo un pequeño nódulo de hueso denso en etapas muy tempranas.	4
						50% o más de la superficie está ocupada por hueso denso	5
			Porosidad	Microporosidad	Se adapta el concepto de Buckberry & Chamberlain (2002) tomando la medida recomendada por Langley et. al. (x) de <0,5 mm para microporosidad y >0,5 mm para macroporosidad	No se encuentra microporosidad presente	1
						Microporosidad presente en una de las demicaras	2
						Microporosidad presente en ambas demicaras	3
				Macroporosidad		No se encuentra macroporosidad presente	1
						Macroporosidad presente en una de las demicaras	2
						Macroporosidad presente en ambas demicaras	3

Tabla 3. Operacionalización de variables *Actividad Apical*

Naturaleza	Escala	Categoría de análisis	Clasificación de categorías	Variable independiente	Concepto	Valores	Código
Cualitativa - dicotómica	Nominal	Dimorfismo sexual	Sexo	Sexo		Hombre	1
						Mujer	2
Cuantitativa - politómica	Escala	Edad cronológica	Edad	Edad	Corresponde a la edad real documentada del individuo al momento del deceso		
Cualitativa - politómica	Ordinal	Grupo etario	Grupo etario	Grupo etario	Se definen 3 grupos etarios adaptados a la disponibilidad de individuos en el laboratorio	25-34	1
						35-44	2
						45-54	3
	Ordinal	Morfología	Cambios morfológicos	Actividad apical	Se refiere al área específica donde la superficie articular del hueso coxal entra en contacto con la terminación posterior de la línea arqueada	El ápice es afilado y distinguible; la superficie puede estar ligeramente elevada en relación con la superficie ósea adyacente	1
						Se presenta cierto solapamiento en el ápice, pero la forma del margen articular sigue siendo nítida y suave	2
						Se produce irregularidad en los contornos de la superficie articular; la forma del ápice ya no es un arco suave.	3

4. Resultados

4.1. Resultados estadísticos

4.1.1. Prueba de correlación de Kendall

Los resultados de la correlación de Kendall entre cada característica de la superficie auricular y la edad mostraron una asociación significativa y moderadamente fuerte (Coeficientes entre 0.421 y 0.536, todos con valores $p < 0.0001$). Esto indica que cada característica tiene una relación directa e independiente con la edad. Sin embargo, al analizar las correlaciones parciales entre las características, controlando por la edad, encontramos que la mayoría de estas correlaciones son bajas y no significativas, con la excepción notable de la relación entre la Textura de Superficie y la Macroporosidad (0.817 con un valor $p < 0.001$ que demuestra una correlación parcial muy fuerte y altamente significativa, indicando que estas características están estrechamente relacionadas incluso después de controlar por la edad). Entre la Organización Transversa y la Textura de la Superficie se evidencia una correlación parcial moderada estadísticamente significativa que también sugiere una asociación positiva entre estas características después de ajustar por edad. Estos hallazgos confirman que, aunque cada característica evoluciona con la edad, la interacción entre las características cuando se ajusta por edad es generalmente limitada. Todos los valores p son menores que 0.0001, lo que indica que las correlaciones observadas no son producto del azar y son estadísticamente significativas. (Ver Tabla 5).

La combinación de Organización Transversal, Textura de Superficie, Microporosidad, Macroporosidad, y Cambios Apicales, muestra una correlación más alta con la edad cuando se consideran como conjunto único ($r_s = 0.627$; $p < 0.00001$). Esto indica una fuerte correlación positiva, lo que sugiere que a medida que la edad aumenta, el puntaje compuesto, que integra varias características de la superficie auricular, también tiende a aumentar. Finalmente, esto sugiere que la evaluación integrada de estas características en conjunto puede proporcionar una estimación más precisa de la edad que su individualización.

Tabla 4. *Correlación de kendall individualizada por cada característica evaluada*

Característica	Coefficiente	Valor p
Organización Transversal	0.536	<0.0001
Textura de Superficie	0.521	<0.0001
Microporosidad	0.421	<0.0001
Macroporosidad	0.441	<0.0001
Cambios Apicales	0.460	<0.0001

Tabla 5. *Coefficientes de correlación parcial entre las características (controlado por edad)*

	TO	ST	MI	MA	AC
TO	-	0.329	0.047	0.063	0.263
ST	<0.006	-	0.160	0.817	0.068
MI	0.822	0.477	-	0.090	-0.028
MA	0.787	<0.001	0.541	-	0.020
AC	0.132	0.719	0.801	0.841	-

La tabla anterior debe interpretarse de la siguiente manera:

- Por Encima de la Diagonal (Marcada por guiones “- “): Coeficientes de correlación parciales entre las características, controlando por la edad.
- Debajo de la Diagonal: Valores p correspondientes a las correlaciones parciales indicadas arriba.
- En verde se encuentra la correlación entre Textura de la superficie y Macroporosidad, con la tendencia más fuerte encontrada controlada por edad.

4.1.2. Prueba de regresión múltiple

En el análisis de regresión múltiple realizado para investigar la relación entre diversas características de la superficie auricular y la edad, se observó que aproximadamente el 64.4% de la variabilidad en la edad puede ser explicada por las variables del modelo, como se refleja en el resultado R-squared de 0.644. En esta prueba, las estimaciones de los coeficientes indicaron que la Organización Transversal (TO), con un coeficiente de 2.7548 y un p-valor de 0.009, y la Microporosidad (MI), con un coeficiente de 3.7151 y un p-valor de 0.015, así como los Cambios Apicales (AC), con un coeficiente de 3.3134 y un p-valor de 0.011, mostraron asociaciones significativas con la edad. Esto sugiere que estas características son predictores robustos de la edad. Por otro lado, la Textura de Superficie (ST), aunque incluida en el modelo, no mostró una

asociación estadísticamente significativa (p-valor de 0.299), indicando que esta característica no contribuye adicionalmente a la predicción de la edad en presencia de las otras variables. La Macroporosidad (MA) presentó un valor p marginal (0.090), lo que sugiere una posible relación con la edad que podría requerir una investigación más detallada para clarificar su papel.

Los intervalos de confianza del 95% proporcionados en la

Tabla 6 son esenciales para interpretar la precisión de los coeficientes estimados en el modelo de regresión. Estos intervalos ofrecen una gama de valores dentro de los cuales podemos estar razonablemente seguros de que se encuentra el verdadero valor del coeficiente, asumiendo que el modelo es correcto y que el efecto es lineal. Por ejemplo, el intervalo de confianza para la Organización Transversal (TO) es de [0.727, 4.783], lo que indica que, con un 95% de confianza, el verdadero aumento en la edad por cada unidad de aumento en TO se espera que esté entre 0.727 y 4.783 años. La significancia de estos intervalos radica en su amplitud; un intervalo más estrecho implica una mayor precisión en la estimación del coeficiente, mientras que un intervalo más amplio sugiere mayor incertidumbre. Los intervalos relativamente estrechos para características como TO y AC refuerzan la confiabilidad de estas variables como predictores de la edad.

Tabla 6. *Análisis de regresión múltiple*

Característica	Coefficiente	Error Estándar	Valor t	Valor p	Intervalo de Confianza (95%)
Intercepto (const)	9.1023	3.816	2.385	0.021	[1.452, 16.753]
Organización Transversal (TO)	2.7548	1.011	2.724	0.009	[0.727, 4.783]
Textura de Superficie (ST)	1.1476	1.094	1.049	0.299	[-1.046, 3.341]
Microporosidad (MI)	3.7151	1.483	2.506	0.015	[0.743, 6.688]
Macroporosidad (MA)	3.2480	1.884	1.724	0.090	[-0.529, 7.025]
Cambios Apicales (AC)	3.3134	1.251	2.649	0.011	[0.806, 5.821]

La tabla anterior debe interpretarse de la siguiente manera:

- **Intercepto (const):** El valor base de la edad cuando todas las características son cero.
- **Coefficiente:** Cambio estimado en la edad para cada unidad de aumento en la característica, ajustando por las otras variables en el modelo.
- **Error Estándar:** Estimación de la variación estándar en los coeficientes estimados; cuanto más bajo, más precisas son las estimaciones del coeficiente.
- **Valor t:** Ratio del coeficiente al error estándar, usado para determinar la significancia estadística del coeficiente.
- **Valor p:** Probabilidad de obtener un valor t al menos tan extremo como el observado bajo la suposición de que la característica no tiene efecto sobre la edad.
- **Intervalo de Confianza (95%):** Rango dentro del cual se espera encontrar el verdadero valor del coeficiente el 95% de las veces.

4.1.3. Prueba de coeficiente de correlación de Spearman

Los resultados de la correlación de Spearman entre las características de la superficie auricular y la edad indican relaciones individuales significativas, destacando la robustez de estas características como indicadores para la estimación de la edad (Tabla 7). La Organización Transversal presenta una correlación de 0.668 con un valor p extremadamente bajo de 0.0000000552, subrayando su fuerte asociación con la edad. La Textura de Superficie, con una correlación de 0.633 y un valor p de 0.000000583, también demuestra una significativa relación predictiva con la edad. Estas altas correlaciones sugieren que tanto la organización transversal como la textura de la superficie reflejan cambios relacionados con la edad que son consistentes y predecibles.

Tabla 7. *Correlación de Spearman*

Característica	Correlación de Spearman	Valor p
Organización Transversal (TO)	0.668	0.00000000552
Textura de Superficie (ST)	0.633	0.0000000583
Microporosidad (MI)	0.497	0.0000534
Macroporosidad (MA)	0.529	0.0000139
Cambios Apicales (AC)	0.555	0.00000420
Puntaje Compuesto	0.792	0.000000000000499

Por otro lado, la Microporosidad y la Macroporosidad, aunque con correlaciones algo menores de 0.497 y 0.529 respectivamente, aún muestran significancia estadística con valores p de 0.0000534 y 0.0000139, lo que indica que también contribuyen información valiosa sobre la edad, aunque con una relación menos directa que las características anteriores. Los Cambios Apicales presentan una correlación de 0.555 con un valor p de 0.00000420, reafirmando su utilidad en la estimación de la edad.

El Puntaje Compuesto, que combina todas las características mencionadas, muestra la correlación más alta con la edad de 0.792 y un valor p prácticamente nulo de 0.000000000000499. Esto confirma que la integración de múltiples indicadores de la superficie auricular en un puntaje compuesto proporciona un método aún más eficaz y preciso para la estimación de la edad.

También se aplicó la prueba de correlación de Spearman para comparar estos resultados con los 3 grupos etarios definidos en la operacionalización de variables. Se hicieron los siguientes hallazgos:

- Grupo Etario 25-34: Existe una correlación fuerte y significativa (0.763) entre los puntajes compuestos y la edad, con un valor p muy bajo (0.000146), lo que indica una relación estadísticamente significativa.
- Grupo Etario 35-44: La correlación es más baja (0.290) y no es significativa (valor p de 0.293961), sugiriendo que, en este grupo etario, los puntajes compuestos no están fuertemente relacionados con la edad.
- Grupo Etario 45-54: La correlación es moderada (0.398) y significativa (valor p de 0.043800), indicando una relación estadísticamente significativa, aunque más débil que en el grupo más joven.

Estos resultados sugieren que la relación entre los puntajes compuestos y la edad es más fuerte y significativa en los individuos más jóvenes (25-34 años) y se debilita en los grupos etarios mayores, aunque todavía es significativa en el grupo de 45-54 años.

Tabla 8. *Correlación de Spearman (controlado por grupo etario)*

Grupo Etario	Correlación de Spearman	Valor p
25-34	0.763	0.000146
35-44	0.290	0.293961
45-54	0.398	0.043800

4.1.4. Prueba t de Student

La aplicación de la prueba t de Student para comparar el Puntaje Compuesto entre hombres y mujeres resultó en un estadístico t de -1.272 y un valor p de 0.208. Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en el puntaje compuesto entre los géneros. Este hallazgo sugiere que el puntaje compuesto, que integra varias características de la superficie auricular, es consistentemente aplicable y efectivo para estimar la edad tanto en hombres como en mujeres. Es importante destacar que este análisis se basó en una muestra de solo 20 mujeres, lo cual es significativamente menor en comparación con la muestra de hombres, lo que podría afectar la representatividad y la generalización de los resultados.

5. Discusión

5.1. Interpretación de resultados en relación con los objetivos de la investigación

En esta investigación hemos explorado cómo los marcadores morfológicos presentes en la superficie auricular del hueso coxal nos permiten una estimación de la edad en adultos, identificando como ocurren las transformaciones y cambios en el hueso coxal, así como explorando las diversas condiciones que afectan la variabilidad al interior de un grupo poblacional. Evidenciamos que particularmente en la superficie auricular existen 6 características exploradas por diversos autores que pueden ser usadas para la estimación de la edad al momento de la muerte, estas son la organización transversa, textura de la superficie, microporosidad, macroporosidad, cambios morfológicos en el ápice; adicionalmente, aunque se excluyó en esta investigación, también se identificó que la exostosis que ocurre en la tuberosidad iliaca adyacente a la superficie auricular también ha sido usada para la estimación de la edad. Es importante apuntar que existen limitaciones al momento de aplicar no solo el método usado en esta investigación, sino cualquiera de los descritos en la revisión del estado del arte cuando estos se aplican en grupos poblacionales diferentes a los usados para su creación y/o estandarización, los resultados obtenidos de la aplicación del método de Buckberry y Chamberlain en esta investigación demuestran la importancia de revisar y adaptar los distintos métodos ya desarrollados para capturar la variabilidad biológica propia de nuestra población. Así, al considerar cómo los marcadores del hueso coxal reflejan no solo la edad, sino también las condiciones y características únicas de cada individuo, es necesario enfatizar en la relevancia de realizar análisis adaptados y precisos para cada contexto particular.

Al comparar las características morfológicas evaluadas en esta investigación con las edades cronológicas documentadas de la muestra en cuestión encontramos correlaciones estadísticas que nos permiten afirmar que el método aplicado puede ser congruente al momento de realizar estimaciones de edad al momento de la muerte en población colombiana. Los resultados obtenidos refuerzan la importancia de desarrollar metodologías que contemplen tanto la amplia variabilidad existente dentro de cada población como la estabilidad y consistencia de los marcadores esqueléticos en contextos diferentes. Esto supone para el contexto antropológico que los métodos de estimación de edad necesitan ser evaluados y recalibrados periódicamente para mantener su

validez en investigaciones forenses y bioarqueológicas. En el caso de la población colombiana, esta investigación intenta aportar algo más al propósito de construir estándares específicos, con el fin de desarrollar metodologías con una interpretación más confiable y contextualizada de los restos esqueléticos, ofreciendo así una mayor precisión en el perfil biológico de los individuos en estudios futuros.

Es importante detallar que las variaciones morfológicas observadas se corresponden con las variables halladas en los artículos de investigación relacionados en el estado del arte, no es posible afirmar con los resultados obtenidos que exista alguna variación diferente a las ya expuestas por autores como Lovejoy, Buckberry y Chamberlain, Igarashi, entre otros mencionados previamente. Los resultados estadísticos específicos nos hablan de la prevalencia de la variabilidad poblacional en las diferencias entre resultados, esto también demuestra la necesidad de explorar como los factores intrínsecos y extrínsecos pueden afectar la preponderancia de determinadas variables al momento de implementar nuevos métodos para la estimación de la edad por medio de la superficie auricular del coxal. Las diferencias en la actividad física, la nutrición y otros factores intrínsecos como la genética, sumados a los factores extrínsecos como la exposición a ciertas prácticas culturales, tienen un impacto significativo en la estructura y morfología del hueso coxal. Estos aspectos deben considerarse al adaptar métodos de estimación de edad en poblaciones específicas, pues podrían modificar la manera en que las características morfológicas del hueso se manifiestan y transforman.

5.2. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la estimación de la edad a partir de la superficie auricular del hueso coxal en una muestra de individuos esqueletizados colombianos revelan varios puntos clave. En primer lugar, se observó una correlación significativa entre los marcadores morfológicos evaluados y las edades cronológicas documentadas, lo que sugiere que los cambios en la superficie auricular son indicadores útiles para la estimación de la edad. Sin embargo, esta correlación mostró variaciones según los grupos etarios, siendo válido aclarar que los resultados más precisos se hallaron en el grupo de 25-34 años, con una correlación de spearman muy significativa estadísticamente de 0.763.

El análisis de las características de la superficie auricular del coxal para la estimación de la edad ha demostrado ser robusto y fiable a través de las pruebas estadísticas aplicadas. La correlación de Kendall evidenció asociaciones significativas y moderadamente fuertes entre las características individuales de la superficie auricular y la edad, con coeficientes que varían entre 0.421 y 0.536 y valores $p < 0.0001$. Estas asociaciones son reforzadas por la prueba de regresión múltiple, que mostró que aproximadamente el 64.4% de la variabilidad en la edad puede ser explicada por características como la organización transversal, microporosidad y cambios apicales, destacando su papel como predictores robustos con coeficientes y valores p significativos. Además, la correlación de Spearman confirmó la fuerte relación de estas características con la edad, particularmente la organización transversal (0.668) y la textura de la superficie (0.633). El puntaje compuesto, que integra todas las características, mostró la correlación más alta (0.792), sugiriendo que una evaluación combinada proporciona una estimación más precisa de la edad. La convergencia de resultados a través de estas pruebas subraya la validez del método y su aplicabilidad en contextos forenses y bioarqueológicos, destacando que la evaluación integrada de múltiples características es más efectiva que la individualización de las mismas.

Esta integración de múltiples pruebas estadísticas no solo valida la efectividad de cada característica individual como indicador de la edad, sino que también enfatiza la importancia de una aproximación holística para obtener estimaciones más precisas. La prueba de correlación de Kendall subraya la relación directa e independiente de cada característica con la edad, mientras que la regresión múltiple aporta una comprensión más profunda de cómo estas características interactúan y contribuyen colectivamente a la variabilidad en la edad. La significativa correlación de Spearman respalda aún más la robustez de estos hallazgos, destacando la consistencia y predictibilidad de los cambios morfológicos de la superficie auricular.

El puntaje compuesto, que combina organización transversal, textura de superficie, microporosidad, macroporosidad y cambios apicales, demuestra una correlación superior, lo que indica que la sinergia entre estas características ofrece una herramienta poderosa para la estimación de la edad. Este enfoque integrado no solo mejora la precisión de las estimaciones, sino que también reduce la incertidumbre asociada con la evaluación de características individuales.

Aunque las características individuales de la superficie auricular muestran una fuerte correlación con la edad, la correlación entre el puntaje compuesto y la edad es marcadamente baja en el grupo etario de 35-44 años. A continuación, se presentan algunas hipótesis que podrían

explicar tanto individualmente como en conjunto las discrepancias evidenciadas en los resultados obtenidos para este rango de edad:

1. **Homogeneidad del Grupo:** El grupo etario de 35-44 años puede ser más homogéneo en términos de características morfológicas de la superficie auricular. Es decir, las variaciones en las características dentro de este grupo pueden ser menores en comparación con otros grupos etarios, lo que reduce la variabilidad y, por lo tanto, la fuerza de la correlación.
2. **Transición de Cambios Biológicos:** Este grupo etario podría estar mostrando características congruentes con una etapa de transición en términos de cambios biológicos. Los cambios morfológicos que son claros y distintivos en los grupos más jóvenes (25-34) y mayores (45-54) pueden ser menos pronunciados o más variables en el grupo de 35-44 años, lo que resulta en una menor correlación estadística con la edad cronológica.
3. **Efecto de Otros Factores:** En el grupo de 35-44 años, los factores intrínsecos y extrínsecos podrían tener una mayor influencia en las características morfológicas. Factores como el estilo de vida, la salud general, la nutrición y la actividad física podrían tener un impacto más variado en este grupo etario, diluyendo la relación entre el puntaje compuesto y la edad cronológica registrada. Esto puede ser una explicación particular para esta muestra específica y no necesariamente ser una generalidad para la muestra total.
4. **Tamaño de la Muestra:** El tamaño de la muestra en el grupo de 35-44 años es menor en comparación con los otros grupos evaluados, lo que limita la capacidad de detectar una correlación fuerte. En este caso específico, el grupo de 35-44 años tiene solo 15 individuos, lo que puede no ser suficiente para capturar la variabilidad necesaria para una correlación significativa.
5. **Variabilidad:** El rango de variabilidad en las características morfológicas evaluadas de los individuos dentro del grupo de 35-44 años puede ser mayor, lo que significa que, aunque las características morfológicas cambian con la edad, no lo hacen de manera tan predecible o uniforme en este grupo.

En definitiva, la baja correlación en el grupo etario de 35-44 años, a pesar de la fuerte correlación entre las características individuales y la edad, podría explicarse por alguno de estos factores o su combinación, así como también podría ser por motivos distintos no tenidos en cuenta.

A pesar de las limitaciones observadas en el grupo etario de 35-44 años, la importancia de la correlación entre el puntaje compuesto y la edad en general no debe ser subestimada. En los demás grupos etarios, la correlación entre el puntaje compuesto y la edad muestra una mejor significancia estadística, lo que refuerza la utilidad del método para la estimación de edad en restos esqueléticos. Este alto valor de correlación en la mayoría de los grupos etarios sugiere que el puntaje compuesto es un indicador robusto de la edad cronológica, permitiendo una estimación más precisa y confiable.

Respecto a la prueba *t* de Student aplicada para comparar la utilidad del método diferenciando por sexo, los valores hallados son coherentes con la premisa de Buckberry y Chamberlain (2002) que indica que las diferencias en esta zona no son representativas como para modificar el método diferenciando entre hombres y mujeres. Aun así, sería prudente replicar estos hallazgos con una muestra más equilibrada y amplia que la recogida dentro de este estudio, con el fin de confirmar estos hallazgos y asegurar su aplicabilidad en un contexto más amplio y diverso en población colombiana; esto ayudaría a fortalecer la validez de las conclusiones y proporcionaría una comprensión más robusta de las diferencias y similitudes en el envejecimiento entre sexos.

Podemos concluir que la aplicación del método de Buckberry y Chamberlain en la muestra seleccionada proveniente del Laboratorio de Osteología Antropológica y Forense arroja resultados favorables, los cuales indican una correlación estadística positiva que apunta a la aplicabilidad de este método en población colombiana. En este punto es importante discutir la intervariabilidad poblacional existente dentro de nuestro país, pues se podría inferir, correctamente, que una muestra proveniente específicamente de la ciudad de Medellín, con individuos nacidos principalmente en la ciudad y el departamento de Antioquia, no necesariamente es representativa para toda la población del país. Una crítica a esta investigación que apunte hacia esa problemática inevitablemente encontrará un acervo real donde se halla una discrepancia importante al existir un sesgo poblacional en la muestra que no incluye individuos provenientes de distintas regiones de Colombia, sin embargo, considero que es más importante resaltar los hallazgos de correlación estadística, pues aunque la variabilidad poblacional inherente a los Colombianos nos permita suponer que el método debe ser evaluado (y a posteriori refinado) con muestras de individuos

provenientes de todo el país, el poder identificar métodos que sean eficaces estadísticamente hablando ya permite establecer puntos de partida para la implementación de métodos y técnicas adaptados a nuestro contexto. Al revisar con detalle el estado del arte es posible apreciar que el nacimiento de este tipo de metodologías ocurre en población principalmente europea y norteamericana, por lo que hallar correlaciones significativas para una población colombiana específica, ya significa un avance para el establecimiento de métodos específicos para la población colombiana en general. Finalmente, estos resultados abren una invitación clara a profundizar en la investigación osteológica en Colombia, incentivando estudios adicionales que abarquen la diversidad poblacional de nuestro país. La identificación de correlaciones significativas en una muestra específica de Medellín demuestra que es posible adaptar métodos internacionales al contexto colombiano; sin embargo, también destaca la necesidad de explorar cómo las variaciones culturales, ambientales y genéticas en otras regiones podrían afectar la manifestación de los marcadores morfológicos del hueso coxal. Este estudio es un punto de partida que resalta la viabilidad del método de Buckberry y Chamberlain en esta muestra específica, pero al mismo tiempo nos llama a expandir el espectro de investigación hacia otras áreas del país para validar, adaptar y, eventualmente, consolidar métodos de estimación de edad ajustados a la variabilidad de la población colombiana en su conjunto. La construcción de estándares de referencia que respondan a nuestras particularidades será un aporte invaluable tanto para la antropología forense como para la bioarqueología en Colombia.

Bibliografía

- Ackerman, I. N., & Osborne, R. H. (2012). Obesity and increased burden of hip and knee joint disease in Australia: Results from a national survey. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 13(1), 254. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-13-254>
- Bass, S. L., Eser, P., & Daly, R. (2005). The effect of exercise and nutrition on the mechanostat. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 5(3), 239-254.
- Bedford, M. E., Russell, K. F., Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Simpson, S. W., & Stuart-Macadam, P. L. (1993). Test of the multifactorial aging method using skeletons with known ages-at-death from the grant collection. *American Journal of Physical Anthropology*, 91(3), 287-297. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330910304>
- Berti, P. R., Leonard, W. R., & Berti, W. J. (1998). Stunting in an Andean community: Prevalence and etiology. *American Journal of Human Biology*, 10(2), 229-240. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(1998\)10:2<229:AID-AJHB8>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1998)10:2<229:AID-AJHB8>3.0.CO;2-F)
- Blatt, S. H. (2015). To swaddle, or not to swaddle? Paleoepidemiology of developmental dysplasia of the hip and the swaddling dilemma among the indigenous populations of North America. *American Journal of Human Biology*, 27(1), 116-128. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22622>
- Boldsen, J. L., Milner, G. R., Konigsberg, L. W., & Wood, J. W. (2002). *Transition analysis: A new method for estimating age from skeletons*. En R. D. Hoppa & J. W. Vaupel (Eds.), *Paleodemography* (1.a ed., pp. 73-106). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542428.005>
- Brickley, M., Mays, S., & Ives, R. (2005). Skeletal Manifestations of Vitamin D Deficiency Osteomalacia in Documented Historical Collections. *International Journal of Osteoarchaeology*, 15, 389-403. <https://doi.org/10.1002/oa.794>
- Brooks, S. T. (1955). Skeletal age at death: The reliability of cranial and pubic age indicators. *American Journal of Physical Anthropology*, 13(4), 567-597. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330130403>
- Buckberry, J. L., & Chamberlain, A. T. (2002). Age estimation from the auricular surface of the ilium: A revised method. *American Journal of Physical Anthropology*, 119(3), 231-239. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10130>
- Buikstra, J. E., & Ubelaker, D. H. (1994). *Standars for data collection from human skeletal remains*.
- Cho, H.-J., & Kwak, D.-S. (2021). Movement of the sacroiliac joint: Anatomy, systematic review, and biomechanical considerations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: *Journal of Engineering in Medicine*, 235(3), 357-364. <https://doi.org/10.1177/0954411920978021>

- Cox, M. (2000). *Ageing Adults from the Skeleton*. En *Human Osteology—In Archaeology and Forensic Science* (1.a ed.). Greenwich Medical Media.
- Crews, D. E., & Stewart, J. A. (2010). Human Longevity and Senescence. En *Human Evolutionary Biology* (M. P. Muehlenbein, pp. 528-550). Cambridge University Press.
- Cunningham, C. A., & Black, S. M. (2016). Age Estimation in the Living: Osteology and Age Estimation. En *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine* (pp. 79-83). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800034-2.00008-2>
- Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S. (2016). *Developmental Juvenile Osteology* (2a. Ed.). Academic Press.
- Decrausaz, S.-L., & Laudicina, N. (2023). *Chapter 8—Human behaviour and the pelvis*. En C. S. Hirst, R. J. Gilmour, K. A. Plomp, & F. A. Cardoso (Eds.), *Behaviour in Our Bones* (pp. 193-218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821383-4.00006-1>
- DeMars, L. J. D., Torres-Tamayo, N., Hirst, C. S., & Miskiewicz, J. J. (2023). *Chapter 2—Bone biology and microscopic changes in response to behaviour*. En C. S. Hirst, R. J. Gilmour, K. A. Plomp, & F. A. Cardoso (Eds.), *Behaviour in Our Bones* (pp. 7-38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821383-4.00009-7>
- Ellingham, S., & Adserias-Garriga, J. (2019). Complexities and considerations of human age estimation. En *Age Estimation* (pp. 1-15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814491-6.00001-7>
- Filipek, K. L., & Roberts, C. A. (2018). Bioarchaeology of infectious diseases. En *The International Encyclopedia of Biological Anthropology* (pp. 1-9). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118584538.ieba0465>
- Franklin, D. (2010). Forensic age estimation in human skeletal remains: Current concepts and future directions. *Legal Medicine*, 12(1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2009.09.001>
- Fung, H. H. (2013). Aging in Culture. *The Gerontologist*, 53(3), 369-377. <https://doi.org/10.1093/geront/gnt024>
- Gibson, R. (2020). *The Corset as a Garment: Is It a Representative of Who Wore It?* (pp. 57-91). https://doi.org/10.1007/978-3-030-50392-5_3
- Gosman, J. J. (2012). *Growth and Development Morphology, Mechanisms, and Abnormalities*. En *Bone Histology: An Anthropological Perspective* (pp. 23-44). CRS Press.
- Henry, J. D., Coundouris, S. P., & Nangle, M. R. (2024). Breaking the links between ageism and health: An integrated perspective. *Ageing Research Reviews*, 95.
- Hens, S. M., & Belcastro, M. G. (2012). Auricular surface aging: A blind test of the revised method on historic Italians from Sardinia. *Forensic Science International*, 214(1-3). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.07.043>

- Hens, S. M., & Godde, K. (2016). Auricular Surface Aging: Comparing Two Methods that Assess Morphological Change in the Ilium with Bayesian Analyses. *Journal of Forensic Sciences*, 61(S1). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12982>
- Hens, S. M., Rastelli, E., & Belcastro, G. (2008). Age Estimation from the Human Os Coxa: A Test on a Documented Italian Collection*. *Journal of Forensic Sciences*, 53(5), 1040-1043. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00818.x>
- Herrera, M. J., & Retamal, R. (2017). *Reliability of age estimation from iliac auricular surface in a subactual Chilean sample. Forensic Science International*, 275.
- Houghton, P. (1974). The relationship of the pre-auricular groove of the Ilium to pregnancy. *American Journal of Physical Anthropology*, 41(3), 381-389. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330410305>
- Igarashi, Y., Uesu, K., Wakebe, T., & Kanazawa, E. (2005). New method for estimation of adult skeletal age at death from the morphology of the auricular surface of the ilium. *American Journal of Physical Anthropology*, 128(2), 324-339. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20081>
- Langley, N. R., Meadows Jantz, L., Ousley, S. D., Jantz, R. L., & Milner, G. (2016). *Data Collection Procedures For Forensic Skeletal Material 2.0*. (The University of Tennessee).
- Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Pryzbeck, T. R., & Mensforth, R. P. (1985). Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: A new method for the determination of adult skeletal age at death. *American Journal of Physical Anthropology*, 68(1), 15-28. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680103>
- Medina, C. S., & Restrepo, H. O. (2015). Ciencias forenses y antropología forense en el posconflicto colombiano. *Revista Criminalidad*, 57(3), 119-134.
- Michopoulou, E., Negre, P., Nikita, E., & Kranioti, E. F. (2017). The auricular surface as age indicator in a modern Greek sample: A test of two qualitative methods. *Forensic Science International*, 280, 246. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.004>
- Osborne, D. L., Simmons, T. L., & Nawrocki, S. P. (2004). Reconsidering the Auricular Surface as an Indicator of Age at Death. *Journal of Forensic Sciences*, 49(5), 1-7. <https://doi.org/10.1520/JFS2003348>
- Plomp, K. A., Gilmour, R. J., & Cardoso, F. A. (2023). *Chapter 1—Skeletons in action: Inferring behaviour from our bones*. En C. S. Hirst, R. J. Gilmour, K. A. Plomp, & F. A. Cardoso (Eds.), *Behaviour in Our Bones* (pp. 1-6). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821383-4.00001-2>
- Pugh, T. J., & Bolin, D. (2004). Overuse injuries in equestrian athletes. *Current Sports Medicine Reports*, 3(6), 297-303. <https://doi.org/10.1007/s11932-996-0003-6>
- Recnik, G., Kralj-Iglic, V., Iglic, A., Antolic, V., Kramberger, S., Rigler, I., Pompe, B., & Vengust, R. (2009). The role of obesity, biomechanical constitution of the pelvis and contact joint

- stress in progression of hip osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage*, 17(7), 879-882.
<https://doi.org/10.1016/j.joca.2008.12.006>
- Rivera-Sandoval, J., Monsalve, T., & Cattaneo, C. (2018). *A test of four innominate bone age assessment methods in a modern skeletal collection from Medellin, Colombia*. 282, 232.
- Rougé-Maillart, C., Vielle, B., Jousset, N., Chappard, D., Telmon, N., & Cunha, E. (2009). Development of a method to estimate skeletal age at death in adults using the acetabulum and the auricular surface on a Portuguese population. *Forensic Science International*, 188(1-3), 91-95. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.03.019>
- Saunders, S. R., Fitzgerald, C., Rogers, T., Dudar, C., & McKillop, H. (1992). A Test of Several Methods of Skeletal Age Estimation using a Documented Archaeological Sample. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 25(2), 97-118.
<https://doi.org/10.1080/00085030.1992.10757005>
- Scheuer, L., & Black, S. (2000). *Developmental juvenile osteology*. Academic Press.
- Schmitt, A. (2004). Age-at-death assessment using the os pubis and the auricular surface of the ilium: A test on an identified Asian sample. *International Journal of Osteoarchaeology*, 14(1), 1-6. <https://doi.org/10.1002/oa.693>
- Schmitt, A., Murail, P., Cunha, E., & Rougé, D. (2002). Variability of the Pattern of Aging on the Human Skeleton: Evidence from Bone Indicators and Implications on Age at Death Estimation. *Journal of Forensic Sciences*, 47(6). <https://doi.org/10.1520/JFS15551J>
- Simon, A. M., Cheverko, C. M., Clark, M. A., Mellendorf, T. D., & Hubbe, M. (2023). The Effects of Physiological Stress on the Accuracy of Age-at-Death Estimation in The Hamann–Todd Collection. *Forensic Sciences*, 3(1), 149-168.
<https://doi.org/10.3390/forensicsci3010012>
- Slaus, M., Novak, M., & Cavka, M. (2012). Four cases of ankylosing spondylitis in medieval skeletal series from Croatia. *Rheumatology International*, 32(12), 3985-3992.
<https://doi.org/10.1007/s00296-011-2343-7>
- Stewart, T. D. (1957). Distortion of the pubic symphyseal surface in females and its effect on age determination. *American Journal of Physical Anthropology*, 15(1), 9-18.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330150109>
- Todd, T. W. (1920). Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis. *American Journal of Physical Anthropology*, 3(3), 285-334. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330030301>
- Ubelaker, D. H., & De La Paz, J. S. (2012). Skeletal Indicators of Pregnancy and Parturition: A Historical Review. *Journal of Forensic Sciences*, 57(4), 866-872.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02102.x>
- Waldron, T. (2008). *Palaeopathology*. Cambridge University Press; Cambridge Core.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511812569>

- Weisl, H. (1955). *The movements of the sacroiliac joint*. Acta Anat (Basel).
- Wescott, D. J., & Drew, J. L. (2015). Effect of obesity on the reliability of age-at-death indicators of the pelvis. *American Journal of Physical Anthropology*, 156(4), 595-605.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.22674>
- White, T. D., Black, M. T., & Folkens, P. A. (2012). *Pelvis*. *En Human Osteology* (pp. 219-240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374134-9.50011-8>