

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS**

**DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGÍA**

**Septiembre de 2013**

**Método y técnicas  
histomorfométricas para  
estimación de la edad en humanos  
adultos reducidos a restos óseos en  
muestras de hueso maduro no  
descalcificado.**

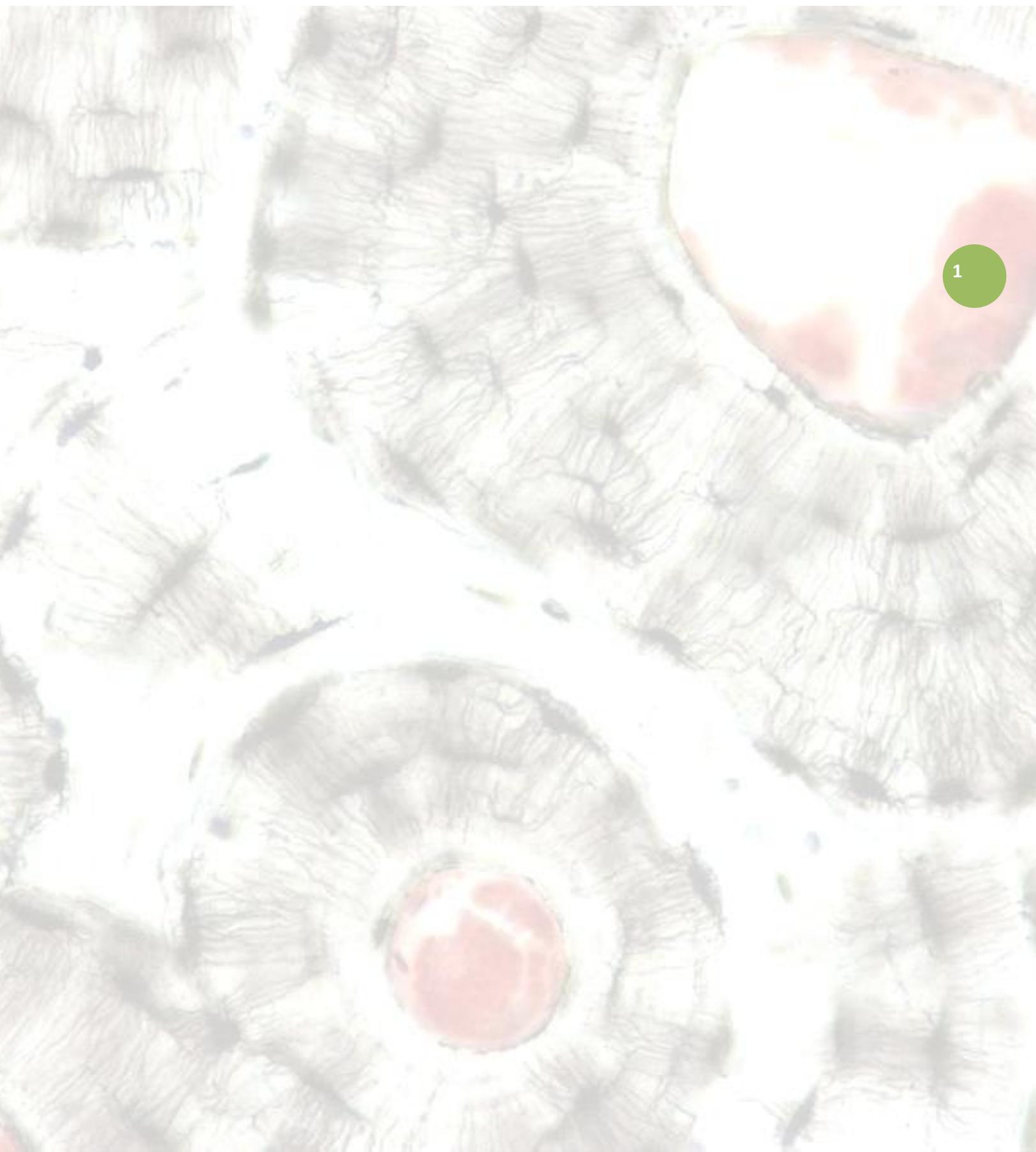
---

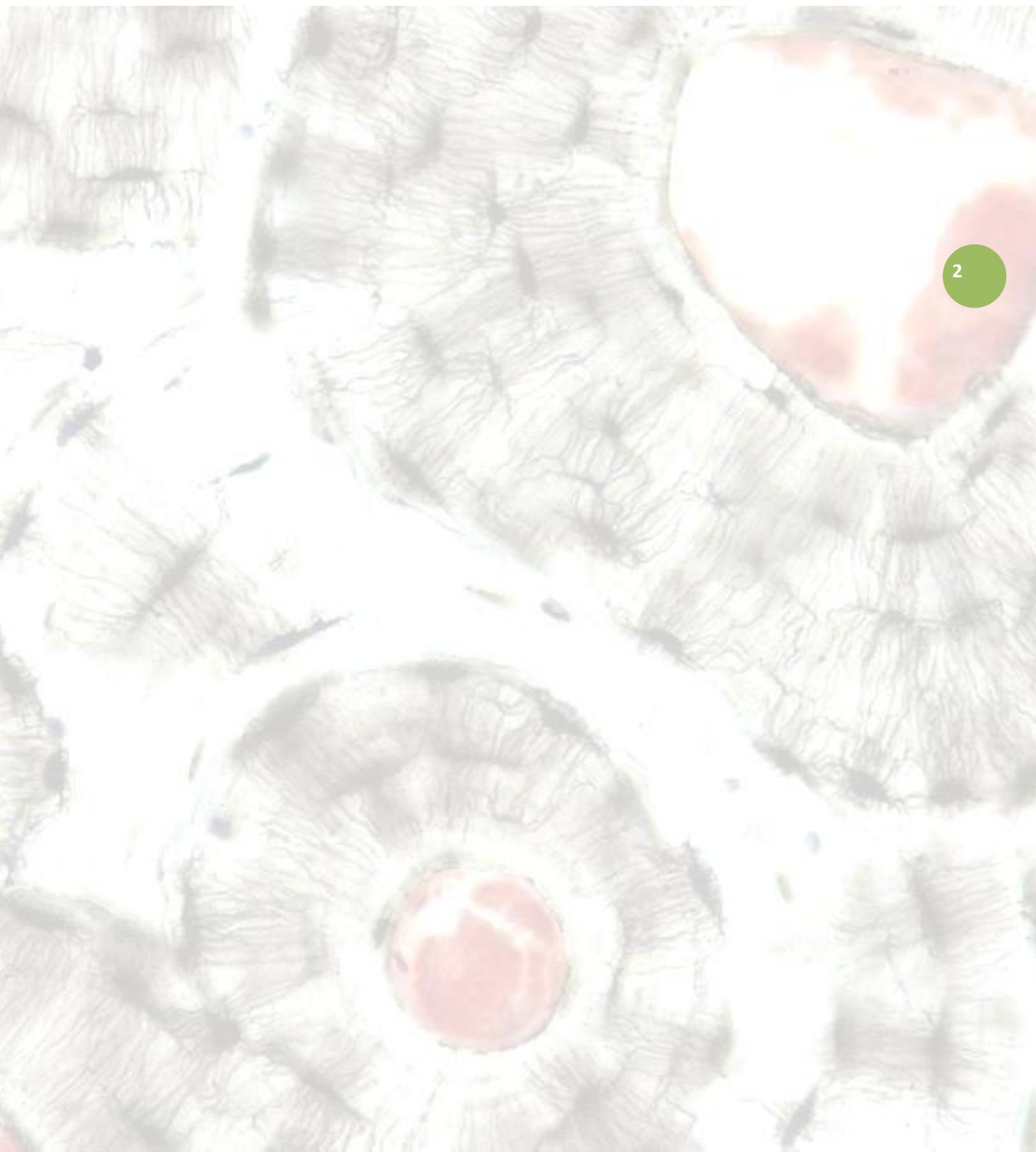
**Revisión bibliográfica**

**Por: Sergio Andrés Méndez Pinzón**

**Asesora: Juliana Isaza Peláez**

Monografía de carácter recopilatorio, no experimental, para optar al título de Antropólogo,  
otorgado por la Universidad de Antioquia.





## Dedicatoria

*A mi abuela Marina.*

*Por nunca haber desistido en su apoyo incondicional hacia mí, su confianza, su amor, sus valores y sus sabios consejos que hasta hoy y por toda mi vida me acompañarán. Gracias por esperarme pacientemente y rezar por mi bienestar.*

*A mi madre Luz Marina.*

*Por estar siempre ahí para mí, por esa voz de aliento, justo cuando más la he necesitado. Por recibirme con los brazos abiertos y ser una persona en la que siempre he podido confiar. Gracias por cuidar a mi abuela en mi ausencia durante todos estos años.*

*A mi padre Walberto.*

*Por regalarme sus conocimientos y por “heredarme” su pasión por la investigación científica.*

*Es a ellos les debo todo lo que soy.*

## Agradecimientos.

A mis maestras.

Juliana Isaza Ph.D. Por apoyarme y asesorarme durante todo el proceso de mi trabajo de grado y por velar por que todos nosotros adoptemos esa rigurosidad científica y profesionalismo que la definen. Tmisay Monsalve Ph.D. Por brindarnos a todos sus estudiantes las oportunidades de evolucionar profesionalmente y por mostrarnos un mundo de posibilidades que creíamos utópicas.

A ambas, gracias por su paciencia y sabiduría.

A mis amigos.

Que mutuamente nos apoyamos en nuestra formación como profesionales. Sin ustedes, seguramente todo hubiese sido más difícil.

Finalmente quisiera agradecer a todas aquellas personas que aunque brevemente me apoyaron durante la carrera y también la construcción de esta monografía.

Cuentan con mi eterna gratitud.

## Tabla de contenido

### 1. Introducción

### 2. Capítulo metodológico

- 2.1. Tipo de estudio
- 2.2. Universo de referencia
- 2.3. Muestra
- 2.4. Materiales y métodos
  - 2.4.1. Materiales
  - 2.4.2. Métodos
- 2.5. Recolección de información
- 2.6. Selección de la muestra
- 2.7. Tabulación
- 2.8. Análisis

### 3. Marco teórico

- 3.1. Antropología física
- 3.2. Antropología forense
  - 3.2.1. Identificación humana en antropología forense
- 3.3. Osteología humana
  - 3.3.1. El tejido óseo humano
    - 3.3.1.1. Características generales
    - 3.3.1.2. Clasificación y características generales del sistema esquelético
    - 3.3.1.3. Características químicas y físicas
      - 3.3.1.3.1. Composición química del hueso

### 3.3.1.3.2. Biomecánica básica del hueso

#### **4. El perfil osteobiográfico**

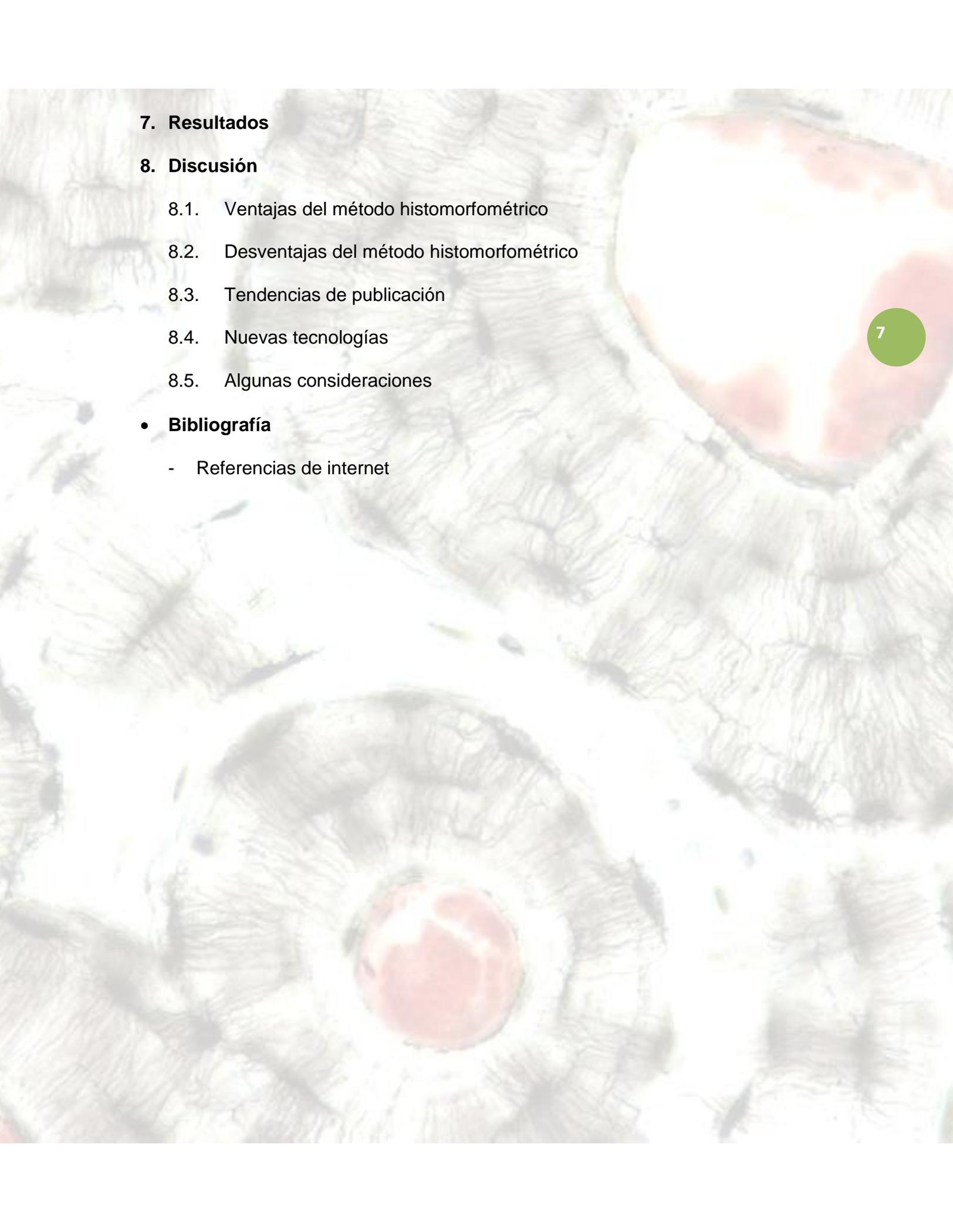
- 4.1. Filiación poblacional
- 4.2. Determinación del sexo
- 4.3. Reconstrucción de la estatura
- 4.4. Rasgos individualizantes
- 4.5. Osteopatologías
- 4.6. Estimación de la edad

#### **5. Métodos morfológicos y morfométricos en la estimación de la edad**

- 5.1. Problemas de los métodos morfológicos y morfométricos en la estimación de la edad

#### **6. Método histomorfométrico de estimación de la edad**

- 6.1. Antecedentes
- 6.2. Características microscópicas
  - 6.2.1. Histología ósea
  - 6.2.2. Osteogénesis y citología ósea
  - 6.2.3. Procesos de modelación y remodelación
  - 6.2.4. Sistema Haversiano
- 6.3. Estimación de la edad por histomorfometría ósea
  - 6.3.1. Técnicas disponibles
    - 6.3.1.1. Estimación de la edad en microestructura de huesos largos
    - 6.3.1.2. Estimación de la edad en microestructura de otros huesos
- 6.4. Problemas del método y técnicas histomorfométricas

A microscopic image of plant tissue, likely a cross-section of a stem or root, showing cellular structures and vascular bundles. A green circle with the number 7 is overlaid on the right side of the image.

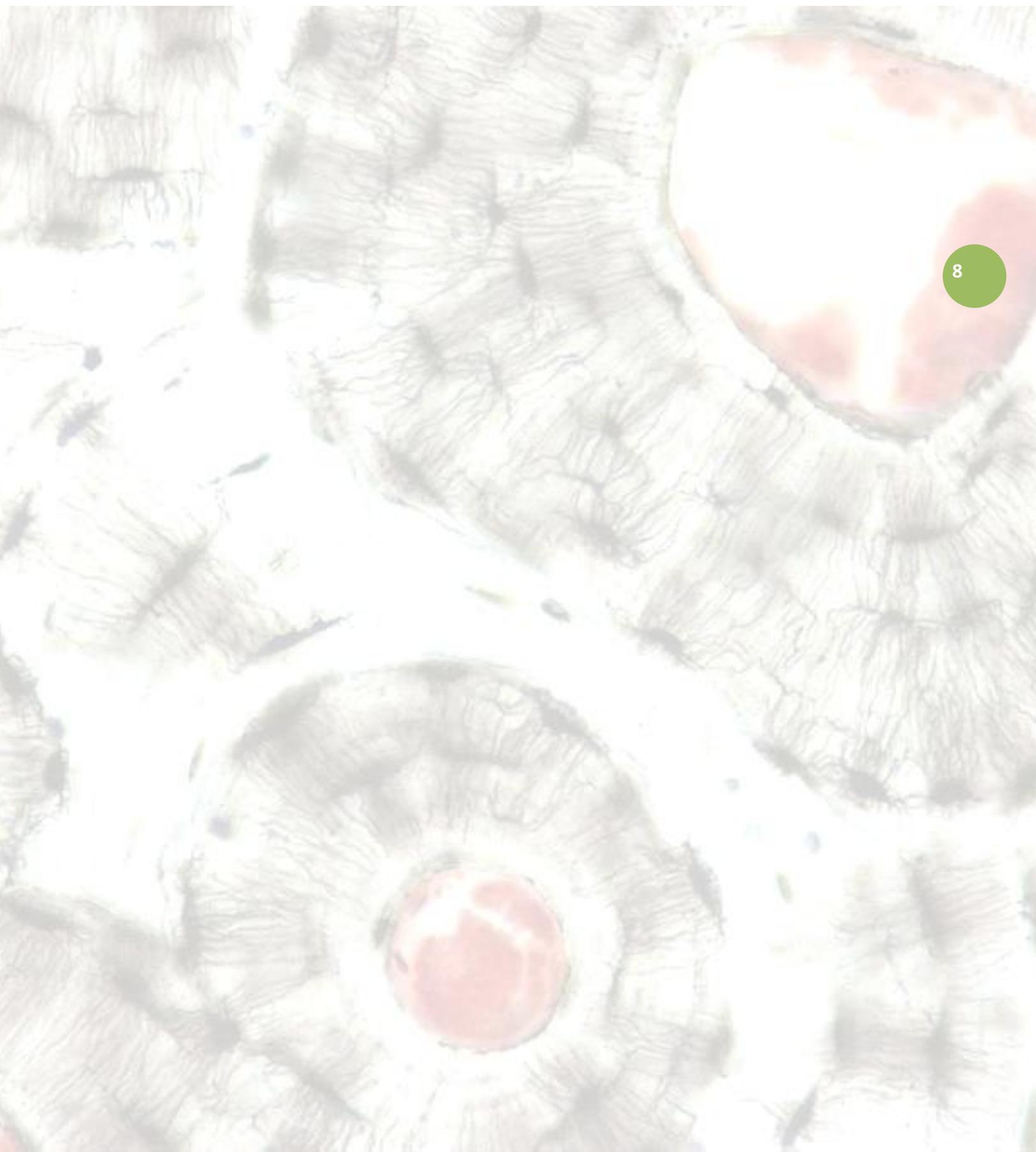
## 7. Resultados

## 8. Discusión

- 8.1. Ventajas del método histomorfométrico
- 8.2. Desventajas del método histomorfométrico
- 8.3. Tendencias de publicación
- 8.4. Nuevas tecnologías
- 8.5. Algunas consideraciones

- **Bibliografía**

- Referencias de internet

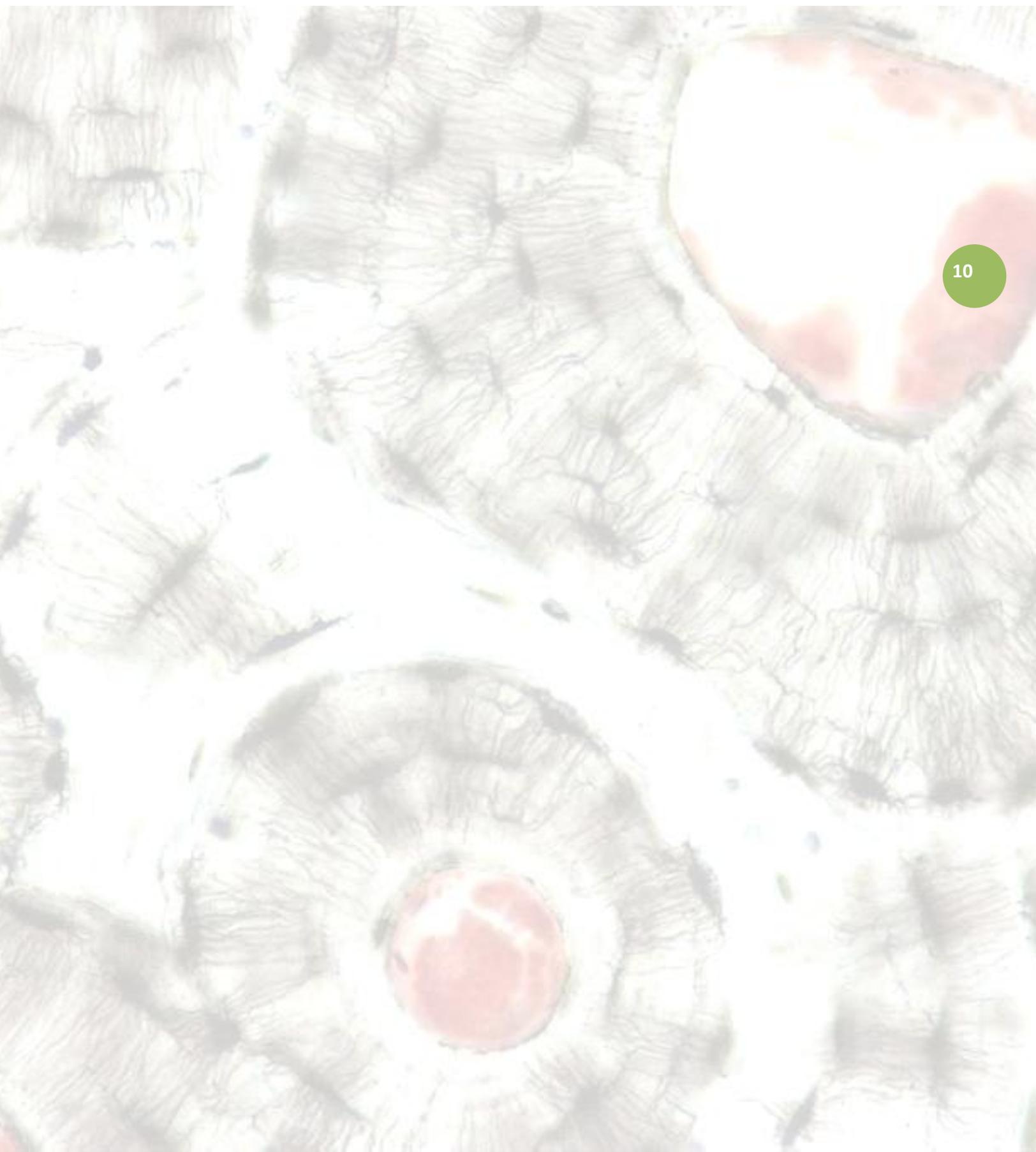


## **Resumen.**

La histomorfología aplicada a la estimación de la edad en adultos reducidos a restos óseos, es un método de corta trayectoria en la antropología física y aún más reciente en la antropología forense. Sin embargo desde 1965 se han venido publicando estudios tendientes al perfeccionamiento metodológico y el desarrollo de nuevas técnicas de muestreo, así como la implementación de nuevas tecnologías como las imágenes diagnósticas. En esta monografía se hace un recorrido breve por los principios básicos de la histomorfología ósea y una indagación bibliográfica desde la primera aplicación del método, hasta los últimos avances y desarrollos técnicos y tecnológicos para la estimación de la edad en microestructura ósea, así como un análisis de las tendencias de publicación hasta el 2011.

## **Abstract.**

Applied histomorphology to age determination is a short usage method in physical anthropology as it is on forensic anthropology. However since 1965 there was a number of published studies with goals on methodological refinement and development of new sampling techniques as well as the implementation of new technologies like diagnosis imaging. In this monograph a brief overview is made on the basics of bone histomorphology and a bibliographic inquiry from the first application of this method to the latest advances and technical and technological improvements for age estimation in bone microstructure as well as a statistical analysis of publication tendencies until 2011.

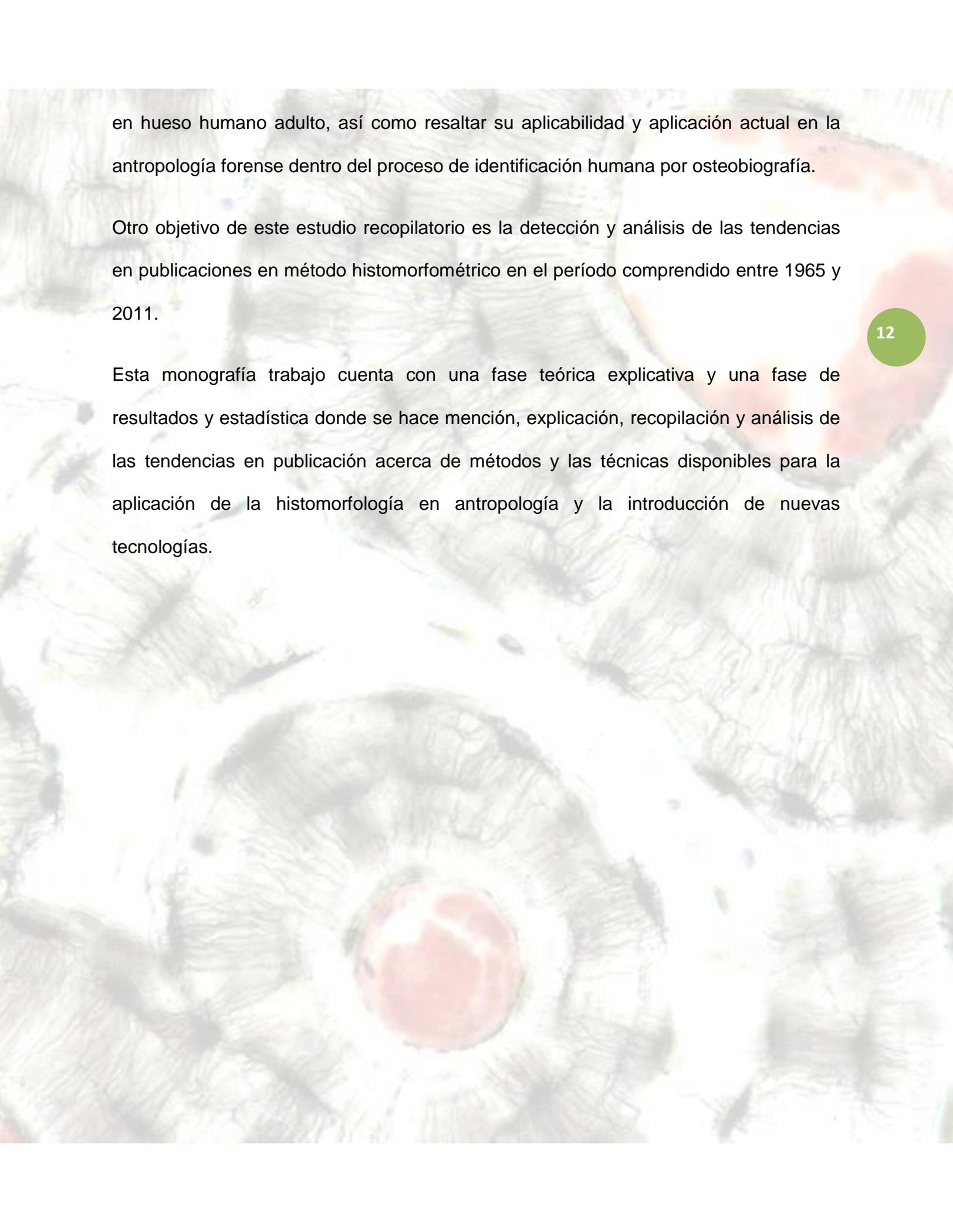


## 1. Introducción.

La fase más compleja de la identificación humana en antropología forense es la estimación de la edad en individuos adultos, dado que las características morfológicas del hueso no cambian significativamente durante la adultez. (Rodríguez, 2004) La edad estimada por características macroscópicas del hueso tiende a ser expresada en rangos de hasta 20 años. Durante la infancia o en presencia de procesos de crecimiento, la estimación de la edad es más precisa, pero al cesar las fases de desarrollo óseo, las características físicas observables del hueso no cambian hasta el comienzo de los procesos de deterioro natural por la edad. Esto deja un lapso de aproximadamente 40 años del ciclo vital humano en que la estimación de la edad de manera precisa es casi imposible.

El problema de los desaparecidos y los cadáveres sin identificar en Colombia, sigue en aumento. A Marzo 5 de 2013, datos reportados por el sistema LIFE (Localización de información forense estadística del Instituto Colombiano de Medicina Legal y Ciencias Forenses), aporta datos sobre total de 60.854 personas reportadas como desaparecidas (“LIFE” Instituto colombiano de medicina legal y ciencias forenses, 2013) y según datos de Unidad Nacional de Justicia y Paz de la Fiscalía General de la Nación 2.651 cadáveres sin identificar a Octubre 3 de 2011. (“UNJP” Fiscalía general de la nación, 2011)

Esta es una monografía para optar al título de antropólogo de la Universidad de Antioquia y tiene como objetivo principal, documentar de manera minuciosa la bibliografía existente sobre el método histomorfométrico para la estimación de la edad



en hueso humano adulto, así como resaltar su aplicabilidad y aplicación actual en la antropología forense dentro del proceso de identificación humana por osteobiografía.

Otro objetivo de este estudio recopilatorio es la detección y análisis de las tendencias en publicaciones en método histomorfométrico en el período comprendido entre 1965 y 2011.

Esta monografía trabajo cuenta con una fase teórica explicativa y una fase de resultados y estadística donde se hace mención, explicación, recopilación y análisis de las tendencias en publicación acerca de métodos y las técnicas disponibles para la aplicación de la histomorfología en antropología y la introducción de nuevas tecnologías.

## **2. Capítulo metodológico.**

### **2.1. Tipo de estudio.**

Esta monografía es una revisión bibliográfica de carácter descriptivo-explicativo. Dado que sus objetivos tienden a la recopilación rigurosa y descriptiva de la bibliografía existente sobre la estimación de edad por métodos y técnicas histomorfométricos en hueso humano maduro. Lo que incluye una breve explicación sobre conceptos básicos sobre el funcionamiento y ejecución de estos estudios.

### **2.2. Universo de referencia.**

Para la caracterización del universo de referencia fueron consultadas 10 –diez- bases de datos bibliográficas:

- **Access Medicine (McGraw Hill)**
  - <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2490> (Acceso institucional)
- **EBSCO Host**
  - <http://web.ebscohost.com> (Acceso institucional)
- **Embase Biomédical Answers**
  - <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2541> (Acceso Institucional)
- **MD Consult**
  - <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2142> (Acceso Institucional)
- **OVID SP**
  - <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2539> (Acceso Institucional)
- **Oxford Journals**

- <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2121> (Acceso Institucional)
- **Proquest**
- <http://www.proquest.co.uk/en-UK/>
- **PubMed (US National Library of Medicine)**
- <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2113> (Acceso Institucional)
- **ScienceDirect (SciVerse)**
- <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2058> (Acceso Institucional)
- **Wiley Online Library**
- <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2119> (Acceso Institucional)

**19 –diecinueve-** Journals y revistas científicas en versiones digitales y físicas, todos por medio de acceso institucional para la Universidad de Antioquia.

- **American Journal of Forensic Sciencies.**
- **Acta Veterinaria Scandinavica.**
- **Biomechanical ModelMechanobiology.**
- **Bone Magazine**
- **Current Osteoporosis Report.**
- **Engineering Fracture Mechanics.**
- **ForensicScience International.**
- **International Journal of Legal Medicine.**
- **Journal of Biomedical Materials Research.**
- **Journal of Bone and Mineral Research.**
- **Journal of ForensicSciences.**

- **Journal of Mechanical Behavior of Biomedical Materials.**
- **Journal of Microscopy.**
- **Journal of Morphology.**
- **Journal of Osteoporosis.**
- **Scanning Magazine.**
- **TheAnatomical Record.**
- **UltrastructuralPathology.**
- **WileyPeriodicals.**

Adicionalmente a lo anterior, se realizó una revisión permanente de libros completos, páginas de internet y trabajos de grado, los cuales serán reseñados completamente en la bibliografía.

### **2.3. Muestra.**

La muestra para esta monografía es de carácter no-probabilístico. Está compuesta por 28 veintiocho artículos, libros y publicaciones referentes a la estimación de edad de restos óseos pertenecientes a humanos adultos en condiciones no patológicas por medio de método y técnicas histomorfométricas.

Todo el proceso de búsqueda de información, fue orientado por criterios de inclusión y exclusión que serán mencionados posteriormente en el apartado de selección de la muestra.

## **2.4. Materiales y métodos.**

### **2.4.1. Materiales.**

- Computador de escritorio con sistema operativo Windows 7® con licencia para la Universidad de Antioquia.
- Microsoft Office 2010® Word 2010® Excel 2010®. Todos con licencia para la Universidad de Antioquia.
- 2 Resmas de papel tamaño carta.
- Lápices #2 y Lapiceros.
- Borradores de nata.
- Cuadernos y agendas.
- Pliegos de papel periódico.
- Memorias USB.
- Disco duro portable.

### **2.4.2. Métodos.**

La estructura metodológica de esta monografía fue construida a partir de las directrices y esquemas planteados por Day (2007) y Sampieri, Collado y Lucio (1998) sobre la recopilación bibliográfica y posterior análisis de los resultados.

## **2.5. Recolección de información.**

Consistente en visitas periódicas a las bases de datos bibliográficas y revisión constante de los títulos impresos disponibles La fase de recolección de datos se llevó a

cabo de manera permanente durante los 3 semestres académicos que duró la realización de esta monografía.

Se decidió asignar a la recolección bibliográfica aproximadamente un 33% de los 3 cronogramas de actividades correspondientes a diseño de proyectos, trabajo de grado I y II para efectos de una actualización constante de publicaciones que pudiesen ser pertinentes para los objetivos planteados.

17

## **2.6. Selección de muestra.**

Para la recopilación bibliográfica, se consideraron útiles, las publicaciones que hiciesen referencia directa o basaran su estudio enteramente en la estimación de edad por histomorfometría e histomorfología.

Se tuvieron en cuenta para este estudio, todas las publicaciones que hiciesen referencia a otras aplicaciones de los métodos histomorfométricos e histomorfológico.

Fueron excluidas, todas las publicaciones y referencias de sexo, talla, filiación poblacional, osteopatologías y rasgos individualizantes, por no ser pertinentes para los objetivos de ésta monografía. Sin embargo, fueron elaboradas referencias con bibliografía sugerida en cada uno de los aspectos anteriormente mencionados, con el fin de orientar al lector en futuras indagaciones sobre el proceso de identificación humana por osteobiografía.

## 2.7. Tabulación.

Se realizó la tabulación utilizando el programa Excel de Office 2010 Bajo licencia de la Universidad de Antioquia. Los artículos fueron agrupados en 6 tablas:

- Tabla 1.0 Métodos morfológicos y morfométricos para la estimación de la edad en restos óseos de adultos.
- Tabla 2.0 Métodos histomorfométricos mencionados por Tiessler, Cuccina y Streeter (2006)
- Tabla 2.1 Método de determinación de edad por conteo de osteonas por método de Kerley (1965).
- Tabla 2.2 Hoja de cálculo para método de Kerley (1965)
- Tabla 2.3 Métodos y técnicas encontrados durante la pesquisa bibliográfica llevada a cabo para éste estudio.

### ***Véase anexos.***

Las categorías a tener en cuenta de los títulos mencionados fueron:

- Autor o autores.
- Fecha de publicación.
- Temática general.
- Título.
- Referencia de publicación.
- Método o técnica reportada.
- Ecuación (En caso de ser necesaria)

- Grado de precisión reportado.

## **2.8. Análisis.**

Para el análisis de la información recopilada, se planteó un diseño de gráficos porcentuales para la observación de tendencias. El conjunto total de artículos, fue dividido en 3 grandes categorías o tipos de publicación:

- Estudio exploratorio.
- Revisión o crítica del método original.
- Nueva técnica o aplicación menos invasiva.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta la fecha de publicación en la casilla –año- véase sección de anexos.

Posteriormente fue realizada una gráfica de tendencias generales para los métodos y técnicas mencionados por Tiessler et al. (2006) y para los métodos y técnicas encontrados y tabulados después de la revisión bibliográfica.

Se conformó una serie de gráficos que indican tendencias de publicación, discriminada por intervalos de 10 –diez- años, comprendiendo las 5 –cinco- décadas de 1960 hasta 2000.

### 3. Marco Teórico

#### 3.1. Antropología física.

La antropología física es la rama de la antropología que se ocupa de estudiar las características biológicas y comportamentales de la especie humana, de los primates y de sus ancestros. (Katzemberg & Saunders, 2008) Analiza la biología humana desde una perspectiva evolutiva, hace énfasis en las interacciones bioculturales y cómo estas influyen en aspectos físicos y sociales de las poblaciones humanas. (Jurmain, Kilgore, Trevathan, Ciochon, 2012) Surge como un interés generalizado de los antropólogos por describir la variación física del ser humano. (Katzemberg & Saunders, 2008) Comprende y adopta métodos y técnicas de campos de la biología que según Katzemberg y Saunders (2008) Jurmain et al (2012) son:

- Genética.
- Biología evolutiva.
- Nutrición.
- Adaptación fisiológica.
- Crecimiento y desarrollo.
- Osteología.

Los conceptos, métodos y técnicas de la antropología física no se encuentran limitados al campo académico. (Dupras, Schultz, Wheeler, & Williams, 2011) En América Latina, durante la década de los 80s se apreció una creciente necesidad de tomar los conocimientos conceptuales y metodológicos tanto de la antropología osteológica como

de la arqueología académica para ayudar en procesos investigativos de carácter legal. (Dupras et al., 2011)

### **3.2. Antropología forense.**

Se define a la antropología forense como la aplicación en contextos legales de los conceptos y métodos de la antropología física y la arqueología y que se encarga de la recuperación, caracterización, clasificación e identificación de restos humanos en estado esqueletizado total o parcial así como de elementos del entorno que puedan ser de utilidad para un proceso legal y para su posterior análisis pericial. (Dupras et al., 2011) (Theabfa, 2012) Esto incluye la elaboración de una -Osteobiografía-, que incluye –sexo, edad, filiación poblacional, estatura, lateralidad, rasgos individualizantes, entre otros- (Snow. Gatliff. Williams, 1970) (Theabfa, 2012)

La investigación antropológica forense comparte su objetivo primario, la identificación biológica humana, con la investigación médico legal. (Rodríguez. 2004) (Burns 2007) No obstante, es necesario tener presente que existen grandes diferencias tanto en los procedimientos como en el momento de intervención entre la antropología forense y la medicina legal. Esto se explica desde el campo de acción que compete a cada uno. (Rodríguez, 2004) (Dupras et al., 2011)

Por lo general el médico forense analiza restos humanos que todavía tienen tejidos blandos presentes. Esto comprende desde el momento mismo de la muerte hasta cuando el cadáver se encuentre en un estado de descomposición tan avanzado que sea imposible para el médico llevar a cabo una identificación positiva. (Burns, 2007)

Es en esta etapa, donde los tejidos blandos ya no pueden ser analizados para recopilar información antemortem que el antropólogo forense interviene. Por medio de la aplicación de los conceptos y las técnicas de la antropología física se lleva a cabo un análisis minucioso del tejido óseo para la resolución de la pregunta investigativa forense. (Rodríguez, 2004)

El trabajo del antropólogo forense puede llevarse a cabo en conjunto, tanto con investigadores de la escena del crimen como del médico forense. Es por esto que dependiente de la fase de la investigación, existen dos premisas para la labor forense desde la antropología. (Burns, 2007)

El antropólogo con entrenamiento en técnicas arqueológicas forenses puede optimizar la recuperación y documentación de la evidencia asociada e inhumada en el sitio. (Burns, 2007; Dupras et al., 2011)

Por medio de conocimientos en osteología, entre muchas otras disciplinas y subdisciplinas<sup>1</sup>, es posible maximizar la información obtenida de los restos óseos exhumados del sitio. (Burns, 2007)

### **3.2.1. Identificación humana en antropología forense.**

Según procesos conocidos del ciclo vital humano y su resultado en el tejido óseo, es posible hacer una conexión entre estos y las condiciones biológicas del individuo y verse afectadas por sucesos de orden social que pudieran dejar marcas características en el esqueleto como haber estado sometido a largos períodos de desnutrición, estrés

---

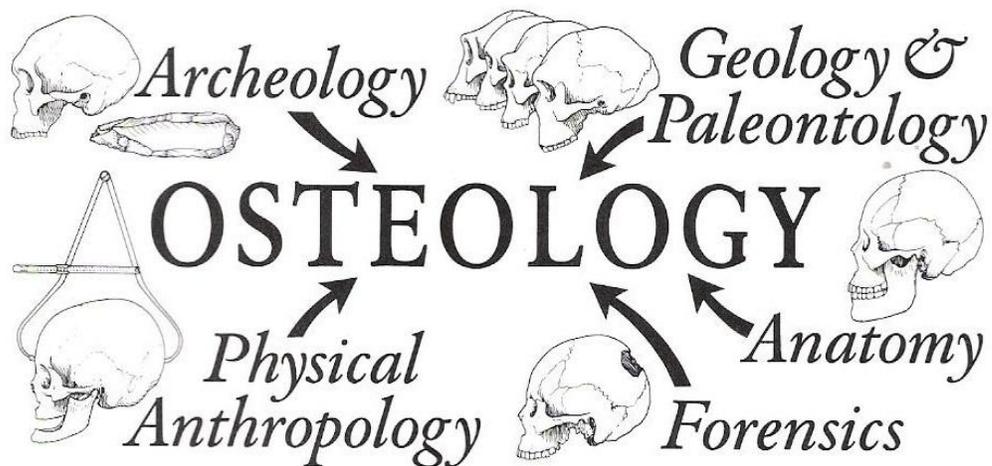
<sup>1</sup>Primatología, paleoantropología, biología humana, crecimiento humano, nutrición y genética. (Dupras, et al. *Op cit.*, p 2)

físico asociado a la ocupación o aun haber sido víctima de violencia física o muerte violenta. (Burns, 2007; Rodríguez, 2004)

La antropología física tiene como uno de sus objetivos primarios la formulación y respuesta de estas preguntas por medio del análisis de restos óseos humanos y una de sus aplicaciones consiste en llevar estos conocimientos a un contexto legal o forense en donde sea necesaria la identificación (Katzemberg y Saunders, 2008) Históricamente los métodos utilizados por la antropología para estos efectos son de carácter descriptivo morfológico óseo a nivel macroscópico. (Geneser, 1998) (Bass,2005) Esto quiere decir que el estudio de los restos óseos se basa en características que son observables a simple vista y van desde lesiones patológicas que afectan el hueso, pasando por estado nutricional y de crecimiento hasta traumas evidentes en el hueso. (White & Folkens, 2005)

### **3.3. Osteología humana.**

La osteología humana es la rama de la anatomía descriptiva que se encarga del estudio de huesos humanos, desde su composición química básica, hasta patologías, traumas, malformaciones y procesos de crecimiento y deterioro. Como pertenece a la biología y a su vez a las ciencias de la salud, tiene a su disposición métodos de; genética, biología evolutiva, nutrición, adaptación fisiológica que pueden ser aplicados a campos que varían según el enfoque investigativo. (White, Black, & Folkens, 2011)



**Figura 1.**

Figure 1.1 Tomada de White et al. (2011)

El tejido óseo, conserva en su morfología, rastros de la interacción biomecánica con estructuras de tejido blando como músculos, tendones, ligamentos arterias, venas, nervios y órganos. Al morir, estos tejidos blandos desaparecen. Sin embargo, estas marcas permanecen impresas en el hueso, que dada su gran resistencia a los daños como resultado de los procesos de descomposición es considerado como el registro más duradero de la vida del individuo. (White et al., 2011)

### **3.3.1.El tejido óseo humano.**

#### **3.3.1.1. Características generales.**

El hueso cuenta con gran rigidez y resistencia a fuerzas externas que se entienden como biomecánica. (Tiesler, Cucina, Streeter., 2006) Su macroestructura general se

divide en dos clases de hueso; cortical -laminar- y esponjoso –trabecular-(White et al., 2011)

### 3.3.1.2. Clasificación y características del sistema esquelético.

Compuesto por aproximadamente doscientos seis -206- huesos lo que puede variar con la presencia de huesos supernumerarios<sup>2</sup>. Junto con el sistema muscular, el esqueleto cumple 2 funciones físicas y 3 funciones biológicas que son (Lagunas, 2000; White et al., 2011):

- Funciones físicas:
  - Sostén de todos los tejidos blandos del cuerpo y anclaje para los músculos, tendones y ligamentos.
  - Protección de órganos internos cruciales para la supervivencia.
- Funciones biológicas:
  - Retención o liberación de calcio por su composición mayoritaria (Fosfato de calcio)
  - Metabolismo y almacenamiento de grasas en la medula ósea amarilla.
  - Función hematopoyética o producción y liberación de células sanguíneas.

---

<sup>2</sup>Los supernumerarios, son huesos que aparecen como resultado generalmente de la aparición de centros de osificación donde normalmente no los hay. En el cráneo, se presentan en el espacio inter-sutural y son denominados también –Huesos Wormianos- (Barreda. Andrade. Bustamante 1999)

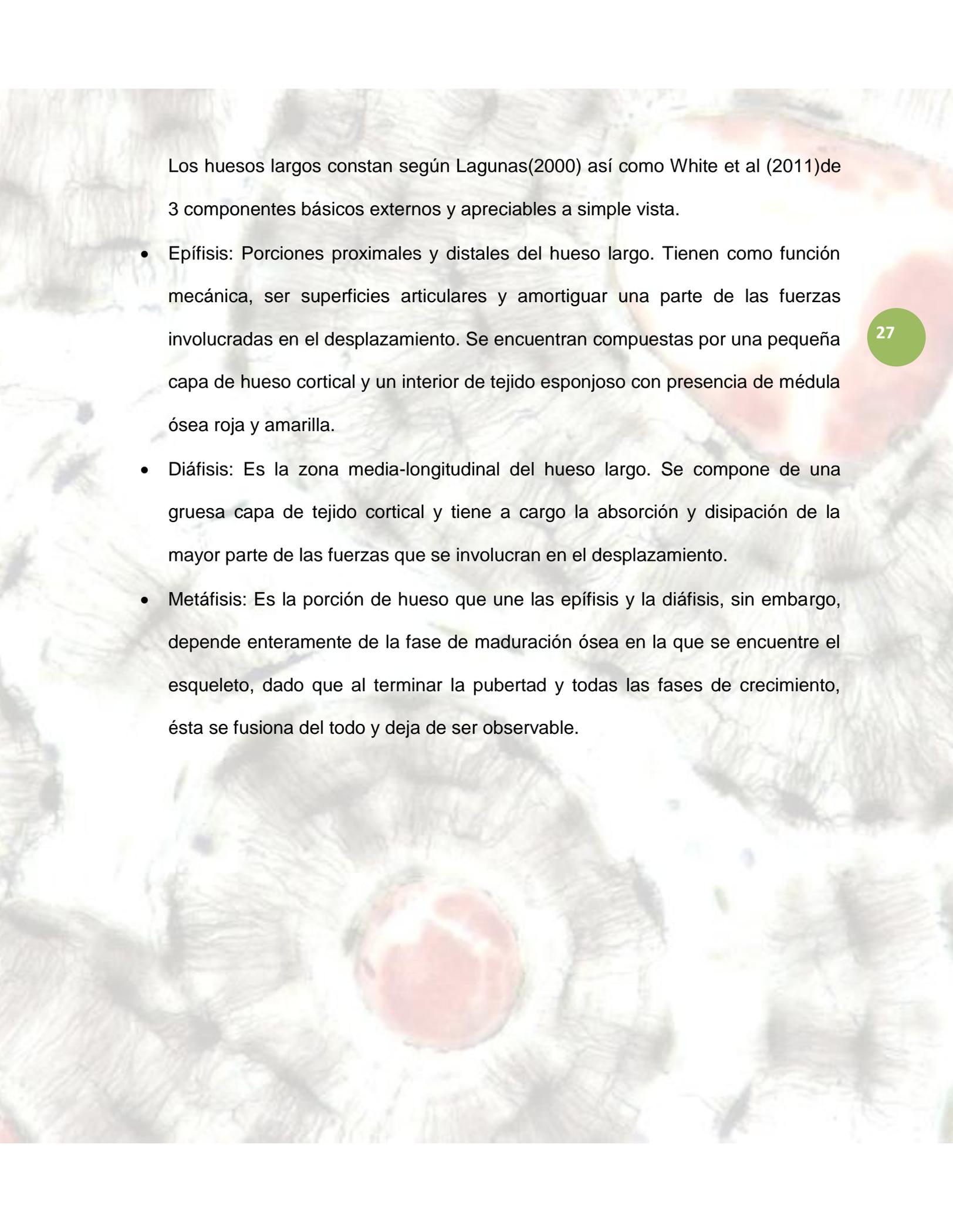
El conjunto de huesos presentes en el cuerpo humano sano se divide en dos grandes categorías y estas a su vez es distintas subcategorías que obedecen a agrupaciones por localización y forma de las piezas óseas:

- Por su localización:
  - Esqueleto axial o la base y soporte para todo el cuerpo y los demás huesos. Está compuesto por: Cráneo, hioides, clavícula, columna vertebral, esternón y costillas.
  - Esqueleto apendicular que se une al axial y comprende todas las extremidades. Todos los huesos de este esqueleto son pares y comprenden: piernas, brazos, manos, pies y pelvis.

(Lagunas, 2000; White et al., 2011)

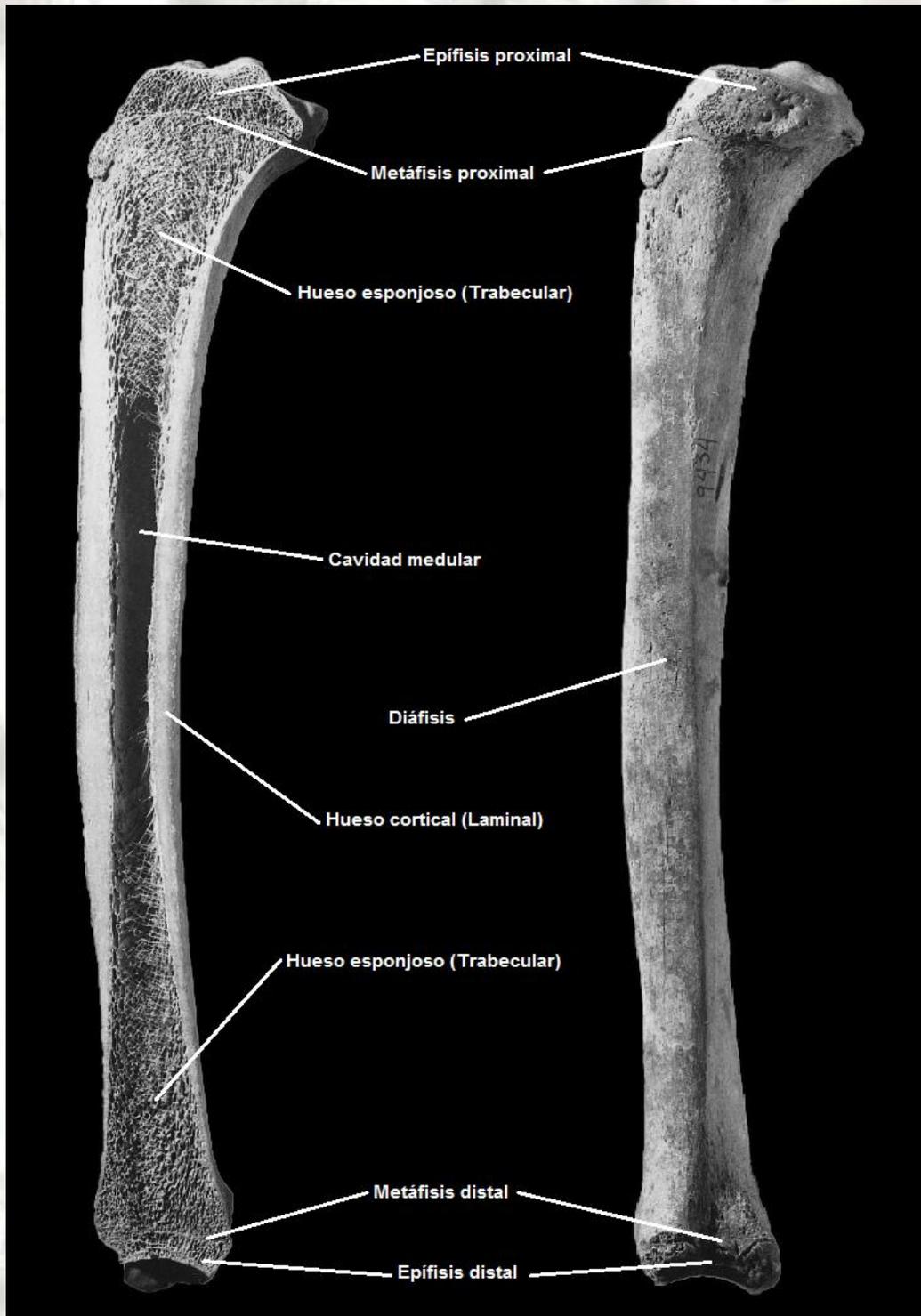
- Por su tamaño y forma son:
  - Huesos planos o tabla ósea. Consta de 2 capas de tejido óseo compacto – Aploe- entre las cuales hay una capa de tejido esponjoso –Diploe-. El cráneo, las costillas, las escapulas y los coxales se componen de ésta clase de hueso.
  - Huesos cortos o redondeados. Contamos en este grupo: tarso y carpo.
  - Huesos irregulares o aparentemente sin una forma definida. A pesar de tener esta denominación no es cierto que no tengan una forma definida. Solo las vértebras son agrupadas en este conjunto.
  - Huesos largos o cuya longitud supera su anchura. Entre estos están: brazos, piernas, mano y pie.

(Lagunas, 2000; White et al., 2011)



Los huesos largos constan según Lagunas(2000) así como White et al (2011)de 3 componentes básicos externos y apreciables a simple vista.

- **Epífisis:** Porciones proximales y distales del hueso largo. Tienen como función mecánica, ser superficies articulares y amortiguar una parte de las fuerzas involucradas en el desplazamiento. Se encuentran compuestas por una pequeña capa de hueso cortical y un interior de tejido esponjoso con presencia de médula ósea roja y amarilla.
- **Diáfisis:** Es la zona media-longitudinal del hueso largo. Se compone de una gruesa capa de tejido cortical y tiene a cargo la absorción y disipación de la mayor parte de las fuerzas que se involucran en el desplazamiento.
- **Metáfisis:** Es la porción de hueso que une las epífisis y la diáfisis, sin embargo, depende enteramente de la fase de maduración ósea en la que se encuentre el esqueleto, dado que al terminar la pubertad y todas las fases de crecimiento, ésta se fusiona del todo y deja de ser observable.



**Figura 2.**

Imagen editada a partir de Figure 3.6(White et al., 2011)

### **3.3.1.3. Características químicas y físicas.**

#### **3.3.1.3.1. Composición química.**

A la estructura molecular del hueso se le conoce como matriz ósea (Tiesler et al., 2006) formando las unidades básicas de esta matriz se encuentra en primer lugar a la proteína Colágeno tipo I que conforma el 90% del contenido orgánico del hueso, mientras que el componente inorgánico, está formado por la hidroxiapatita  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$  como se le conoce al fosfato de calcio en su forma cristalina. (White et al., 2011)

#### **3.3.1.3.2. Biomecánica básica del hueso.**

Biomecánica es la aplicación de principios de mecánica –física- a sistemas biológicos. (Katzenberg & Saunders, 2008; Wainwright, 1982) A partir de la década de los 70s, la biomecánica ha demostrado su utilidad para la antropología en estudios que comprenden desde locomoción básica de los primates, hasta el presente donde se aplica en análisis forenses para evaluación de posibles traumas en restos óseos. (Katzenberg & Saunders, 2008; Wainwright, 1982)

El hueso, es considerado un material sólido con capacidad de deformación elástica y plástica. Teniendo en cuenta las propiedades separadas de los dos componentes del tejido óseo, se infiere que la matriz ósea posee capacidades de rigidez con un amplio grado de elasticidad, lo que brinda un balance entre dureza y resistencia a fuerzas externas frecuentes como lo describen (Lagunas, 2000; Wainwright, 1982; White et al., 2011)

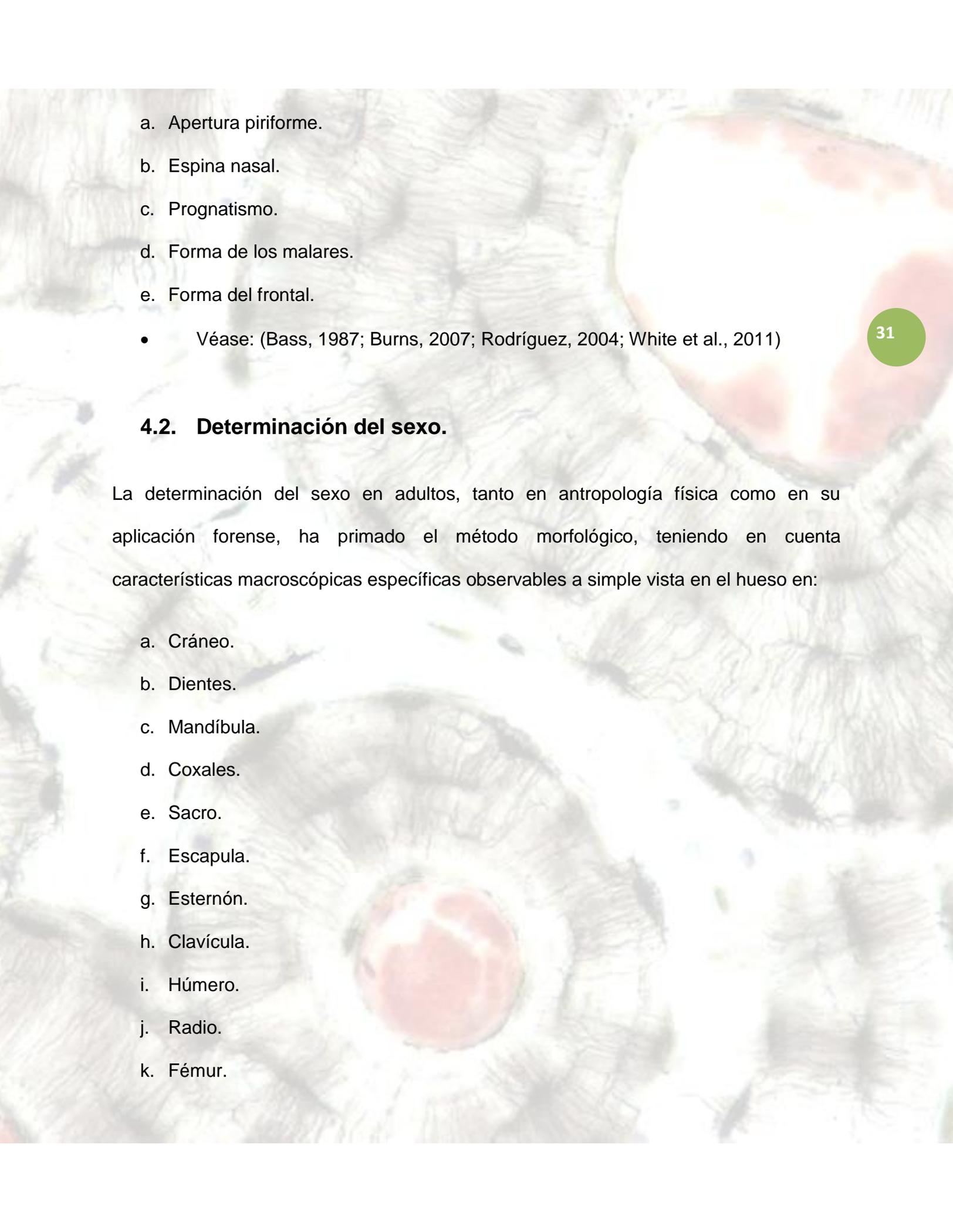
- Tensión
- Torsión
- Flexión
- Fatiga
- Compresión
- Impactos

Los conocimientos en osteología y biología humana que utiliza la antropología física, son usados para dar respuesta a preguntas de índole forense con el fin de llegar a una individualización e identificación de los restos óseos recuperados. (Rodríguez, 2004) Para esto se aplica el cuestionario básico de identificación humana por restos óseos. A esto se le denomina –Perfil biológico- u –Osteobiografía. (Rodríguez, 2004; White & Folkens, 2005)

#### **4. El perfil biológico u osteobiográfico.**

##### **4.1. Filiación poblacional.**

La filiación poblacional es uno de los puntos más complejos en el proceso de identificación humana, dado que depende de tantos factores como ambientes y condiciones de intercambio poblacional existan. Adicionalmente, la determinación del patrón morfológico individual, debería idealmente desprenderse de estudios poblacionales de caracterización multivariada a muy gran escala. Aun así, existen ciertos lineamientos metodológicos que pueden llevar a la ubicación parcial de un individuo dentro de un grupo poblacional por rasgos morfológicos comunes:

- 
- a. Apertura piriforme.
  - b. Espina nasal.
  - c. Prognatismo.
  - d. Forma de los malares.
  - e. Forma del frontal.

- Véase: (Bass, 1987; Burns, 2007; Rodríguez, 2004; White et al., 2011)

## 4.2. Determinación del sexo.

La determinación del sexo en adultos, tanto en antropología física como en su aplicación forense, ha primado el método morfológico, teniendo en cuenta características macroscópicas específicas observables a simple vista en el hueso en:

- a. Cráneo.
- b. Dientes.
- c. Mandíbula.
- d. Coxales.
- e. Sacro.
- f. Escapula.
- g. Esternón.
- h. Clavícula.
- i. Húmero.
- j. Radio.
- k. Fémur.

I. Tibia.

- Véase: (Bass, 1987; Burns, 2007; Rodríguez, 2004; White et al., 2011)

### 4.3. Reconstrucción de la estatura.

Para la reconstrucción de la talla se han aplicado 2 –dos- métodos generales; anatómico y matemático. Dado que el primero depende de menos variables y es menos susceptible a errores, se le considera como el más preciso. Este método anatómico se aplica en:

- a. Cráneo.
- b. Fémur.
- c. Tibia.
- d. Calcáneo.

- Véase: (Bass, 1987; Burns, 2007; Rodríguez, 2004; White et al., 2011)

### 4.4. Rasgos individualizantes.

Se entiende a los rasgos individualizantes, como el resultado o los rastros de actividades, procesos o fenómenos que hayan quedado en el hueso durante el ciclo vital humano. (Burns, 2007; Ortner & Putschar, 1985) Dentro de lo que puede ser clasificado como un rasgo individualizante, se cuentan las patologías y los traumas. Son especialmente útiles por su carácter único y fácilmente relacionable a conocimientos aportados por registros médicos y testimonios entre otras fuentes de información.

(Ibíd.)

- Véase: (Burns, 2007; Ortner & Putschar, 1985)

#### **4.5. Osteopatologías.**

Para la evaluación de las patologías en restos óseos, es fundamental conocer la información básica brindada por la aplicación de perfil biológico:

- a. Edad
- b. Sexo
- c. Filiación poblacional
- d. Ubicación geográfica
- e. Temporalidad o perfil estratigráfico

- Véase: (Ibíd.)

#### **4.6. Estimación de la edad.**

La estimación de la edad en un individuo esquelizado, involucra el segmento específico del ciclo vital en que se encontraba al momento de morir, con todas las características y los cambios morfológicos que ello implica en el esqueleto. (White & Folkens, 2005)

### **5. Métodos morfológicos y morfométricos en la estimación de la edad.**

Durante el proceso de crecimiento y envejecimiento, la morfología del esqueleto puede variar en menor o mayor medida, dependiendo siempre de la actividad física, traumas,

patologías, estado nutricional, entre otros. Dicho esto, existen métodos para estimar la edad al momento de la muerte de un individuo al analizar sus restos óseos.

Las categorías generales evaluadas para estimar edad son (Bass, 2005; Burns, 2007):

- Cambios formativos: Asociados al crecimiento y desarrollo del hueso, son fácilmente evaluables en individuos sub-adultos o infantiles, donde la sinostosis ósea aún no ha cesado y las características del crecimiento se pueden comparar con tablas de referencia poblacional. Después de detenerse el proceso de crecimiento, esta clase de cambios no son evidentes en el hueso, por lo que al empezar la etapa de adultez, los rangos de edad estimada pueden expresarse hasta en una dispersión de 20 años. (Burns, 2007; Rodríguez, 2004)
- Cambios degenerativos: Se presentan en edades avanzadas aunque pueden ser desencadenados por procesos patológicos como artrosis o sepsis óseas. No existen tablas de referencia para indicar el grado a que deben llegar estos cambios por lo que los rangos de edad se expresan en límites inferiores, es decir, la cantidad de años mínimos estimados para la aparición de dichas características. (Burns, 2007; Rodríguez, 2004)

Sin embargo los métodos usados para estimar edad tanto en sub-adultos y adultos como en adultos mayores, no son 100% precisos. Dado que la estimación de edad en individuos que aún no han terminado su proceso de crecimiento es un tema en extremo complejo y extenso, éste trabajo se centrará en la estimación de la edad en restos óseos adultos. (Burns, 2007; Rodríguez, 2004)

Los métodos para la estimación de la edad varían entre autores y partes del esqueleto analizadas. Generalmente se toman en cuenta los puntos en donde el desarrollo y crecimiento óseo sean más evidentes, según Bass (2005) y White et al (2011) Algunos de los que presentan mayor índice de precisión son: Ver tabla 1.0

## **5.1. Problemas de los métodos morfológicos.**

Aunque los métodos morfológicos y aún los morfométricos en general tienen un grado de confiabilidad elevado según lo reportado por cada autor, es posible observar un problema que permanentemente surge en todos los estudios que hasta la fecha se han consultado para realizar este trabajo. Dicho inconveniente radica siempre en la muestra, como el tamaño y representatividad. Según Bass (2005) y White (2011) Esto se explica en la medida de que los análisis visuales y métricos, dependen de puntos variables en la anatomía general –macroscópica- de los huesos humanos. La variación y variabilidad, dependiendo directa o indirectamente del ambiente social y geográfico son factores cruciales en las restricciones de cada método. (Bass, 2005; White & Folkens, 2005)

## **6. Método histomorfométrico de estimación de edad.**

### **6.1. Antecedentes.**

La primera fórmula que planteaba una relación existente entre la composición histológica del hueso cortical y la edad al momento de la muerte, fue planteada por Balthazard y Lebrum (1911) a partir de observación microscópica del hueso.

La utilización de este método en la antropología, comienza con la publicación de Kerley y Ubelaker(1978) a partir del femur, tibia y peroné. (Tiesler et al, 2006)

## **6.2. Características microscópicas.**

### **6.2.1.Histología ósea.**

La histología hace parte de la anatomía descriptiva y estudia los tejidos orgánicos a nivel microscópico. Sus métodos son aplicados en ciencias biológicas, médicas y forenses por medio de la histomorforlogía que es el estudio de las características físicas y morfológicas a nivel microscópico de los tejidos orgánicos y la histomorfometría que es la medición y cuantificación de dichas características con el fin de caracterizar patrones utilizables en campos como la histopatología, paleopatología, paleodemografía e identificación humana forense entre muchos otros. (Tiesler et al., 2006;Patten, 1948)

La histología, clasifica el tejido óseo de los mamíferos en dos grandes categorías:

- Hueso inmaduro o entretejido: Se le da este nombre por estar compuesto de fibras de colágeno que no obedecen a ningún patrón y se distribuyen de manera aleatoria. Una de sus principales características es que está compuesto casi en su mayoría por tejido orgánico representado en colágeno tipo I. (Patten, 1948; White et al., 2011)
- Hueso maduro o laminar: Llamado así porque se compone de láminas o placas óseas superpuestas por el proceso de crecimiento. Su composición es en gran parte de matriz ósea inorgánica aunque no pierde por completo el contenido orgánico que se encuentra en la adultez alrededor de un 40%. (White et al., 2011)

## 6.2.2. Osteogénesis y citología ósea.

La osteogénesis es el proceso por el que tejido cartilaginoso se calcifica para formar el hueso maduro lo que es producto de la actividad celular y es mayormente responsable de la progresión longitudinal del hueso hasta fases tardías del crecimiento y se encuentra acompañado de crecimiento por modelación entre el periostio y la superficie ósea. (Bass, 2005; Patten, 1948; Robling & Stout, 1999; White et al., 2011)

Existen cuatro tipos de células en el hueso humano. Dos de estos son células activas que intervienen directamente en los procesos de crecimiento, modelación y remodelación ósea son:

- Osteoblastos: Encargados de segregar carbonato de calcio y fosfato de calcio en la superficie del tejido óseo son los productores de nueva matriz ósea. (White et al., 2011)
- Osteoclastos: Células multinucleadas y comparativamente de gran tamaño. Tienen como tarea la remodelación o destrucción controlada de hueso. En condiciones no patológicas o no traumáticas liberan pequeñas cantidades de ácido clorhídrico y encimas que descomponen la matriz de hueso para evitar el sobre engrosamiento de la misma, reducir su peso y aumentar su resistencia. (Geneser., 1986; Tiesler et al., 2006)

Los dos tipos de células restantes, conocidas como no activas en el hueso, se encargan de formar parte de la estructura o matriz ósea misma. Se dividen en el grado de inactividad y en la ubicación relativa de cada tipo dentro de un hueso:

- Osteocito tipo I o activo: Generalmente es un osteoblasto que se encuentra próximo al final de su ciclo de modelación más no de su vida media. Tiene como objetivo ayudar a la construcción de lo que será un canal de Havers. Generando estructura cristalina de calcio de manera concéntrica, queda encerrado en lo que se conoce como fosa o lagunilla de osteocito. (Tiesler et al., 2006)

- Osteocito tipo II o inactivo: Más cercano al final de su vida media, ya está totalmente encerrado en su Laguna de Howship que se encuentra en extremo de remodelación del canal de Havers y al morir dejará su espacio vacío lo que conformará más adelante una osteona secundaria. (Geneser., 1986; Tiesler et al., 2006)

Los osteocitos de cualquier clase son incapaces de dividirse y la matriz ósea inorgánica tiende a endurecerse completamente poco después de haberse formado por lo que es imposible que el proceso de crecimiento del hueso sea llevado a cabo al mismo rito y de la misma forma que otros tejidos de cuerpo. Su mecanismo de aumento de tamaño, conocido como osteogénesis u osificación se basa en dos fases principales. (White et al., 2011)

- Crecimiento por aposición: Que se presenta desde la fase embrionaria y se localiza mayormente en los huesos frontal y parietal del cráneo. Esta clase de crecimiento óseo consiste en la aposición de nuevo hueso por medio de la liberación de matriz inorgánica desde la membrana embrionaria o la concentración de tejido conectivo que recubre los huesos del embrión. (Tiesler et al., 2006)

- Crecimiento osteocondral o por centros de osificación: Es la forma de crecimiento de la mayoría del esqueleto craneal y postcraneal. Se da por la presencia

de centros cartilaginosos en el hueso. En un hueso inmaduro, se pueden observar dos tipos de centros de osificación:

- Primarios, que están ubicados en la diáfisis del hueso,
- Secundarios, que se encuentran en las epífisis.

(Tiesler et al., 2006)

### **6.2.3. Procesos de modelación y remodelación.**

Los tipos de células activos en el hueso tienen como tarea el mantenimiento de la estructura microscópica del mismo. Como consecuencia de su acción constante, el tejido óseo con su matriz orgánica e inorgánica sufre cambios en su estructura micro y macroscópica. Para ilustrar mejor la acción de estas células y los procesos que ocurren por acción de las células óseas, se clasifican estos en dos grandes categorías.

- **Modelación:** A cargo de los osteoblastos y osteocitos tipo I. Es la creación de nuevo hueso por deposición microscópica de sales minerales como la hidroxapatita y el carbonato de calcio entre otras. Generalmente esta liberación de material inorgánico en la superficie del hueso es liberada por fracturas a nivel microscópico por las fuerzas externas a las que normalmente está sometido o macroscópico como consecuencia de traumas a mayor escala que involucran la fisura o sección del hueso.
- **Remodelación:** A cargo de los osteoclastos. Es el proceso de destrucción de la matriz inorgánica del hueso causada por la liberación de

A lo largo del ciclo vital humano, el hueso pasa por diferentes etapas:

- Crecimiento y maduración: Que comienza desde la gestación hasta la adultez cuando todos los procesos de crecimiento en el hueso han cesado. Esta escala de crecimiento tiende a ser variable en velocidad, tanto en individuos como en poblaciones diversas.
- Deterioro: Cuando el crecimiento se ha detenido y los procesos de remodelación y modelación sufren un desbalance, el tejido óseo tiende a perder su estabilidad estructural por la degradación de sus estructuras microscópicas y los mecanismos encargados de la reparación de este ya no cumplen su función de manera eficiente, lo que desencadena el proceso natural de decaimiento óseo. (Bass, 2005; Geneser, 1986)
- Fases de reparación: Son detonadas por traumas a gran escala como fracturas, fisuras o impactos y se caracterizan por un aumento excesivo de la deposición de nuevo hueso por parte de los osteoblastos, lo que produce la aparición de un cayo óseo, que está compuesto de hueso sólido junto con su contenido orgánico y celular. Posterior a esto empieza el proceso de remodelación, donde los osteoclastos aumentan su actividad y sus contrapartes, los osteoblastos, la disminuyen. Esta fase del proceso tiene como característica la destrucción progresiva del cayo óseo para finalmente dejar al hueso reparado y moldeado a su forma original. Este proceso tiende a perder eficacia con la edad y las fracturas a edades muy avanzadas son de lenta recuperación y en algunos casos patológicos como osteoporosis son casi inexistentes. (Bass, 2005; Geneser, 1986; White et al., 2011)

#### **6.2.4. Sistema Haversiano.**

Después del pico de crecimiento de la pubertad, el crecimiento del tejido óseo que se debe al proceso de modelación termina. Esto no sucede con la aposición y remodelación que siguen activas a menor escala por la interacción del hueso y los tejidos circundantes y las fuerzas externas que se ejercen contra el hueso durante todo el ciclo vital. Todo esto ocurre en mayor medida en el hueso cortical que en el esponjoso. (Bass, 2005; Geneser, 1986; White et al, 2011; Tiesler et al., 2006) Dichos procesos tienen lugar a nivel microscópico, y en la única estructura donde aún se llevan a cabo procesos fisiológicos en el hueso adulto es el sistema haversiano canales de Havers como también se conoce al conjunto de microestructuras encargadas de la remodelación ósea por aposición y del intercambio de nutrientes con el torrente sanguíneo para mantener el tejido y a las células que lo componen, vivos. (Tiesler et al., 2006)

Estructuralmente, el sistema haversiano se encuentra compuesto por 5 partes básicas (Tiesler et al., 2006; White et al., 2011) Ver gráfico 1.1.

- Vasos sanguíneos.
- Lagunillas de osteocito.
- Canalículas.
- Láminas.

La unidad básica de este sistema se conoce como **Osteona** la cual es el producto de la acción balanceada de la actividad celular osteoblástica y osteoclástica. (Tiesler et al., 2006; White et al., 2011) Se distinguen 2 clases principales de osteonas por su fase de formación:

- Primarias: Aquellas que son formadas inmediatamente después del proceso de remodelación ósea que se da constantemente en el hueso cortical. Aún, en su interior se encuentra generalmente un osteoblasto, encerrado en matriz de calcio y cuya actividad de segregación de  $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_4]$  es mínima o nula –Osteocito tipo I-.
- Secundarias: Aquellas osteonas que se encuentran ya completamente formadas, con una forma más redondeada y que en su centro tienen un osteocito que ya no presenta actividad celular o definitivamente ha desaparecido dejando el espacio que solía ocupar.

(Tiesler et al., 2006)

### 6.3. Estimación de la edad por histomorfometría ósea.

Básicamente el método histomorfológico (Histomorfométrico) consiste en la observación de cambios acumulativos en el hueso a nivel microscópico y cómo estos se relacionan con la edad biológica al momento del deceso del individuo. Esto se logra principalmente de dos formas:

- Volumen de masa ósea laminar o total en relación con la masa medular del hueso: Que se obtiene por la medición de la densidad microscópica del tejido laminar y cómo esta tiene relación tanto con la masa medular presente en el hueso, como su composición microestructural total. (Tiesler et al., 2006)

- Tamaño de la osteóna y el canal haversiano, que se evalúa por medio del criterio – OPD- o densidad poblacional osteónica por conteo microscópico de la población de osteonas presentes por  $mm^2$  de hueso cortical. Para esto es necesario recordar que la

formación de osteónas es el resultado directo de los procesos de crecimiento, maduración y actividad celular del hueso. Este método se basa en que la cantidad de osteónas intactas y fragmentadas en el hueso aumenta con la edad hasta llegar a un límite máximo de densidad, alrededor de los 60 años. (Tiesler et al., 2006; Geneser, 1986)

Sin embargo se recomienda cuantificar cuatro factores más, que según Robling y Stout (2008) Citado por Crowder y Stout (2011) son:

- Número de canales vasculares primarios.
- Cantidad de hueso laminar no remodelado.
- Porcentaje de hueso laminar remodelado.
- Tamaño promedio de las osteonas secundarias o de canales Haversianos.

### **6.3.1. Técnicas disponibles.**

Según Tiesler et al(2006) Existen más de 30 fórmulas disponibles para hallar la relación de la densidad y el tamaño de las osteónas con la edad al momento de la muerte. Ver tabla 2.0. Sin embargo, después de una recopilación bibliográfica extensa para este trabajo, se encontró que desde 1998 se han publicado más de 24 nuevos trabajos investigativos o de revisión con el fin de plantear nuevas fórmulas, técnicas de muestreo y aplicación del método en otros tipos de hueso. Ver tabla 2.3.

Todos estos métodos comparten características básicas como:

- Toma de muestras: Como regla general, la muestra analizada por estos métodos, se comprende de hueso cortical en condiciones no patológicas. Dado que el

tejido esponjoso no es lo suficientemente grueso y consistente para un análisis microscópico y es susceptible a microfracturas que alteran significativamente su composición. A parte de esto su población osteónica es baja en comparación al cortical. (Tiesler et al., 2006; Geneser, 1986)

- Fórmulas de regresión: Todas las fórmulas plantean una relación expresada por una fórmula de regresión entre la –OPD- densidad poblacional osteónica y la edad del individuo. Al hacer una recopilación de métodos y técnicas en el campo de la histomorfometría con fines de estimación de edad se ve claramente que todas las formulas planteadas o usadas son la misma de Kerley y Ubelaker (1978) o bien son variaciones de esta, resultado de revisiones o aplicaciones en distintos puntos del esqueleto (Tiesler et al., 2006)

#### **6.3.1.1. Estimación de edad en microestructura de huesos largos.**

Debido a la alta concentración de hueso cortical que los compone, los huesos largos pertenecientes al esqueleto apendicular son considerados en toda la bibliografía disponible como la mejor fuente de muestras de tejido óseo laminar para la aplicación de métodos histomorfométricos. Desde la publicación del método de (Kerley. 1965: pp, 149-164) se sabe de la utilidad de toda la sección media de estos huesos –Diáfisis- Lo que según Crowder Stout(2011) antes de 1970 hacía aplicable el método en:

- Fémur
- Tibia
- Peroné

Posteriormente y desde la publicación de Singh y Gunberg (1970) se empezaron a desarrollar nuevas fórmulas de regresión para otros huesos largos. Ver tabla 2.0.

La evaluación de los cambios microscópicos asociados a la edad en huesos largos, básicamente se lleva a cabo por medio de una técnica consistente en la extracción de 4 muestras pertenecientes a secciones circulares adyacentes al periostio de cada esquina de un cuadrante trazado en la sección transversal de la diáfisis. Posteriormente se plantearían formas menos invasivas y destructivas para obtención de secciones de hueso. (E. U. Kerley, D., 1978) Ver tabla 2.0.

45

### **6.3.1.2. Estimación de edad en microestructura de otros huesos.**

A partir de 1970 los huesos del esqueleto axial como las costillas y la clavícula son sometidos a toma de muestra y evaluación de cambios regenerativos para estimación de edad. (Singh & Gunberg, 1970) Si bien las técnicas de obtención de secciones óseas no varían de las aplicadas a huesos largos, se considera la toma de muestras de estos dos huesos más adecuada en contextos forenses dado que hay un número considerablemente mayor de costillas que de huesos largos de extremidades y no implica la destrucción de grandes piezas óseas como el fémur o el húmero (Crowder & Stout, 2011). Para estos huesos del esqueleto axial se pueden contar alrededor de seis métodos disponibles en la bibliografía consultada. Ver tabla 2.0 y 2.3.

### **6.4. Problemas del método y técnicas histomorfométricas.**

Uno de los obstáculos más grandes que afronta la aplicación del método histomorfométrico en la investigación antropológica forense es la naturaleza destructiva

del análisis histológico, dado que es necesaria la sección del hueso cortical en láminas longitudinales de 2 a 3 centímetros con un espesor de aproximadamente 50 micrómetros. Por esto, cada uno de las técnicas y fórmulas planteadas después de 1978, han buscado la manera menos destructiva de obtener las muestras de tejido cortical de huesos largos. (Tiesler et al., 2006; Kerley & Ubelaker. 1978)

## 7. Resultados.

Las categorías de análisis para estos resultados son:

- **Desarrollo del método:** Primer estudio para la aplicación de la histomorfología en antropología física (Kerley. 1965)
- **Nuevas aplicaciones o técnicas:** Aplicación del método histomorfológico original en nuevos puntos de hueso cortical.
- **Revisión o crítica del método original:** Perfeccionamiento de las técnicas de muestreo o fórmulas de regresión planteadas por Kerley (1965)
- **Estudios exploratorios:** Tendientes al desarrollo de nuevas técnicas de muestreo y la aplicación de estas de manera preliminar.

A continuación se resaltarán las tendencias de publicación de manera general que posteriormente se agrupan por décadas.

### Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad 1965-2004 según Tiesler et al. (2006)

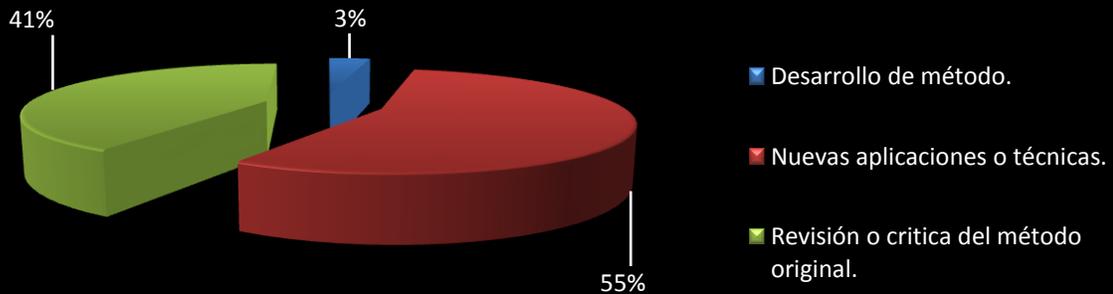


Gráfico 1.0: Tendencias de publicación en M.H. –**Método histomorfológico**- para estimación de edad. Período 1965-2004 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

En este gráfico se observa que el desarrollo del método representa un 3% del total de publicación, frente a las nuevas aplicaciones o técnicas con 55% seguido por revisión o crítica del método original con 41%.

### Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad 1965-1969 según Tiesler et al. (2006)

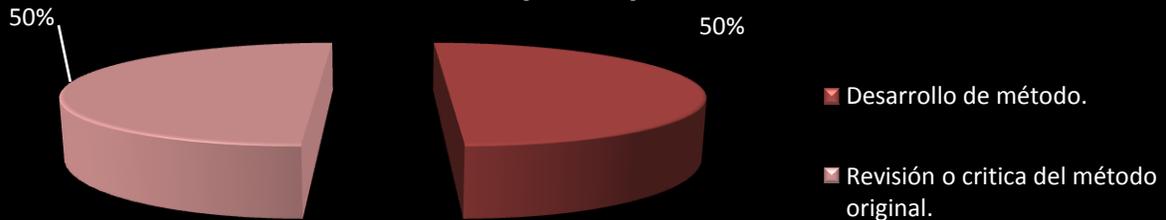


Gráfico 1.1: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Periodo 1965-1969 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

En la década de los 60s, el desarrollo del método representa 50% de todas las publicaciones así como la revisión o crítica del método original con un 50%.

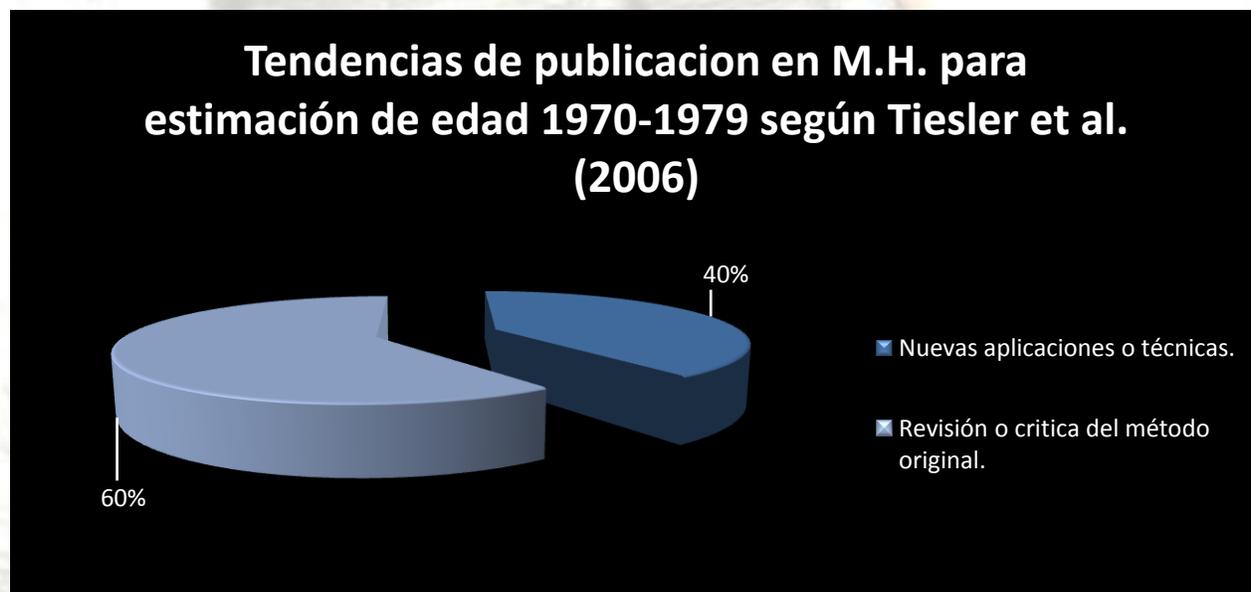


Gráfico 1.2: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Periodo 1970-1979 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

En los 70s las nuevas aplicaciones o técnicas son un 40% del total mientras que la revisión o crítica del método original es un 60%.

### Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad 1980-1989 según Tiesler et al. (2006)

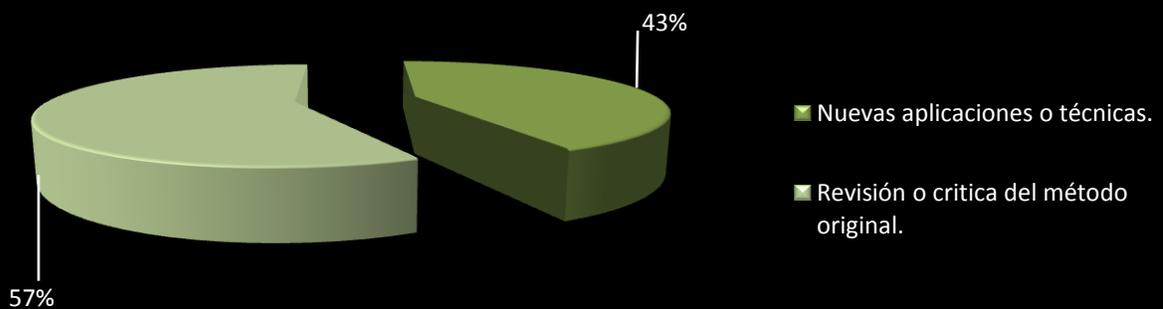


Gráfico 1.3: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Periodo 1970-1979 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

En este decenio, las nuevas aplicaciones o técnicas representaron un 43% mientras que la revisión al método original fue un 57%

### Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad 1990-1999 según Tiesler et al. (2006)

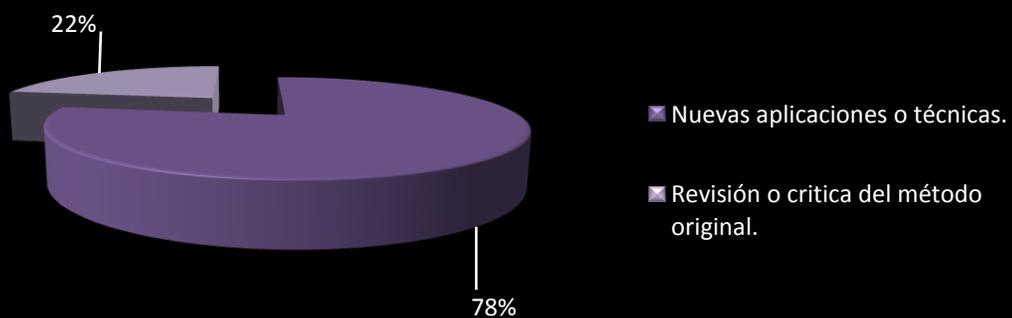
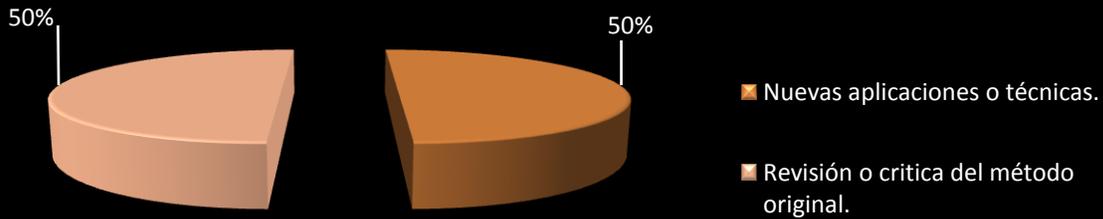


Gráfico 1.4: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. Período 1990-1999 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

## Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad 2000-2004 según Tiesler et al. (2006)



50

Gráfico 1.5: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. Período 1965-2004 según lo reportado por Tiesler et al. (2006)

En la primera década del 2000 la tendencia de publicación se observa equilibrada entre nuevas aplicaciones o técnicas y revisión o crítica del método original con 50% y 50% respectivamente.

## Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. 1983-2011.

### Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. 1983-2011.

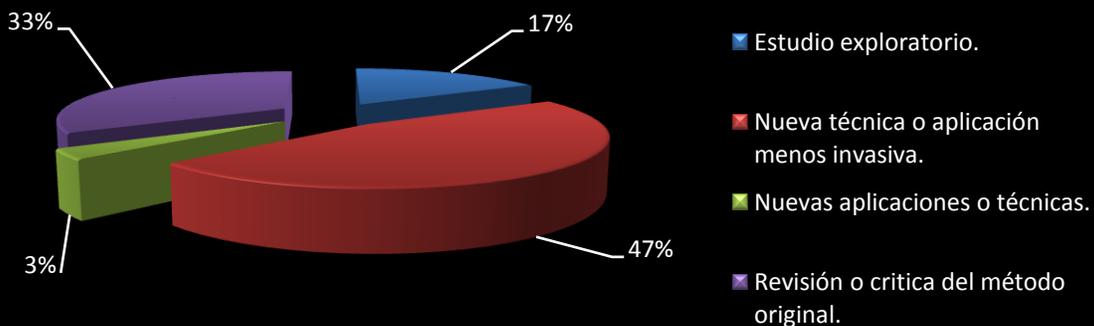


Gráfico 2.0: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Período 1983-2011. Encontradas durante la fase de recolección bibliográfica para esta monografía.

Se observa que la tendencia de publicación, en su mayor parte corresponde al planteamiento y aplicación de técnicas de muestreo mínimamente invasivas o no invasivas con 56%, frente a la revisión o crítica del método original con un 40%. Adicionalmente están los estudios exploratorios que ocupan un 17% y por último está la aplicación de nuevas técnicas de carácter invasivo con un 3% sobre el total.

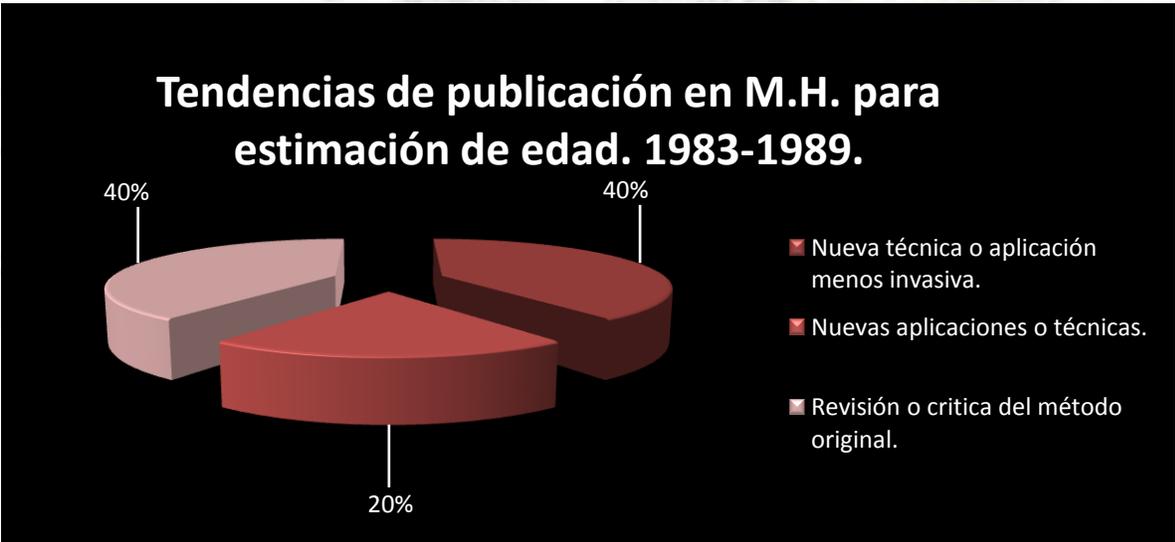


Gráfico 2.1: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Período 1983-1989. Encontradas durante la fase de recolección bibliográfica para esta monografía.

Durante la década de los 80s la tendencia de publicación de estudios para la aplicación de técnicas de muestreo mínimamente invasivas o no invasivas fue de un 40%, frente a

la crítica del método original también con 40%. La aplicación de técnicas de muestreo clásicas en nuevos puntos del esqueleto fue de 20%.

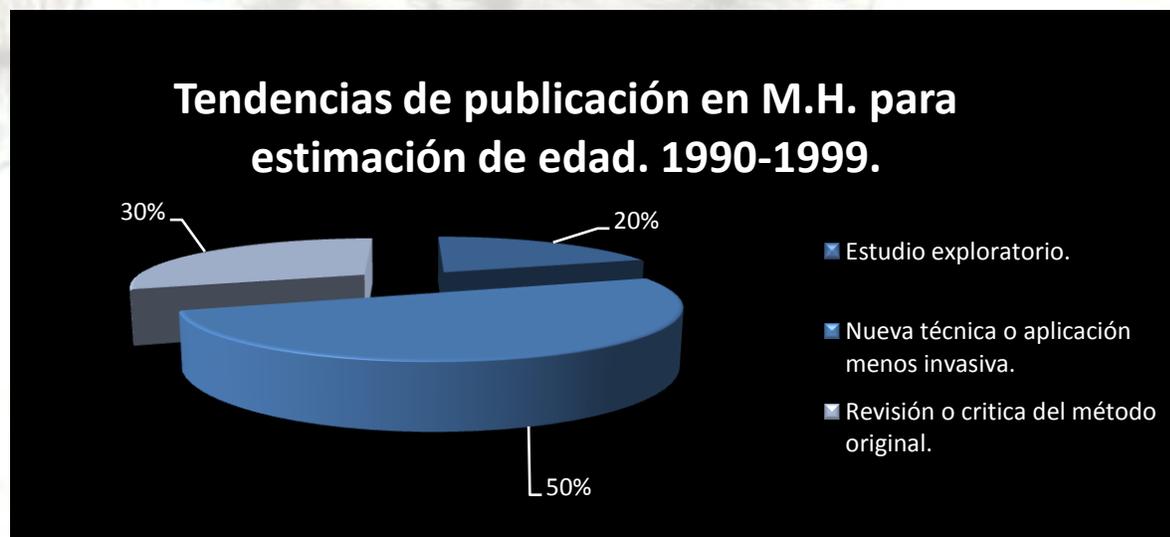


Gráfico 2.2: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Período 1990-1999. Encontradas durante la fase de recolección bibliográfica para esta monografía.

En el decenio de 1990 a 1999, Predominaron las aplicaciones de técnicas de muestreo mínimamente invasivas o no invasivas que significaron un 60% sobre el total de publicaciones de la década seguidas por las revisiones del método original con 30% y con la menor representación se encuentran los estudios exploratorios. No se encontraron estudios sobre aplicaciones de técnicas invasivas publicados durante este período.

## Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. 2000-2010.

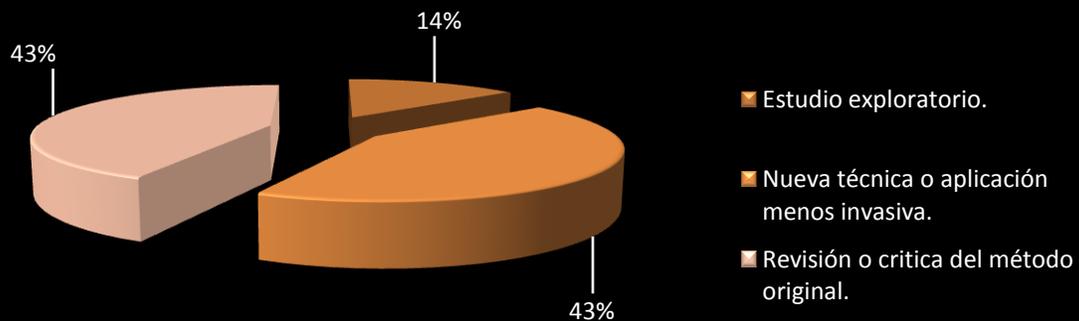


Gráfico 2.3: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Período 2000-2010. Encontradas durante la fase de recolección bibliográfica para esta monografía.

Para la primera década del 2000, la tendencia de publicaciones en técnicas mínimamente invasivas o no invasivas descendió a un 43% no así las críticas o revisiones al método original que crecieron un 13% y constituyeron en total un 43% de todas las publicaciones de este período. Sin embargo, el porcentaje de estudios exploratorios cayó a un 14%-

## Tendencias de publicación en M.H. para estimación de edad. 2011.

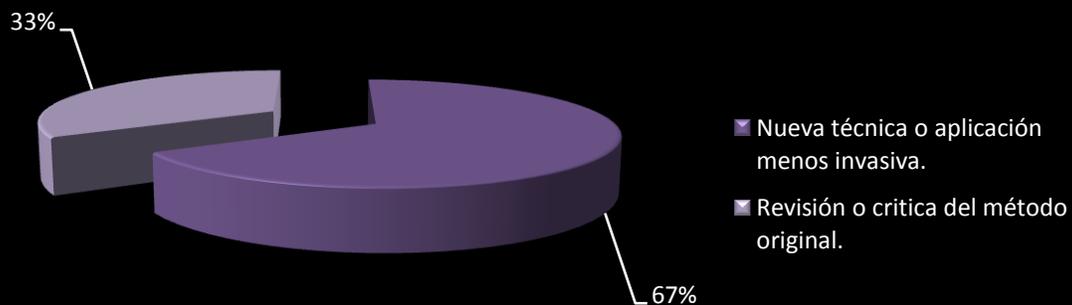


Gráfico 2.4: Tendencias de publicación en M.H. para estimación de la edad. Período 2011. Encontradas durante la fase de recolección bibliográfica para esta monografía.

Durante el 2011 la tendencia de publicación en técnicas mínimamente invasivas o no invasivas creció a un 67% del total, frente a un 33% representado por las revisiones o críticas del método original. Tanto los estudios exploratorios como la aplicación de técnicas invasivas no arrojaron resultado en la pesquisa bibliográfica.

## 8. Discusión.

### 8.1. Ventajas del método histomorfológico.

El método histomorfológico ha sido utilizado en la identificación humana por más de 50 años, tanto en contextos académicos como legales. (Tiesler et al., 2006; Rodríguez. 2004) La histomorfología e histomorfometría aplicada, es una valiosa herramienta analítica en la medida que no depende de las condiciones morfológicas del hueso y no

se ve afectada por interrupciones en la continuidad del mismo, exposición al calor directo o indirecto, tratamientos culturales como pigmentaciones y aún por cambios físico-químicos no que no afecten la microestructura ósea. (Tiesler et al., 2006) Dicho esto, cabe agregar que el método histomorfométrico posee intervalos de confiabilidad que van de 90% a 96% en todas sus técnicas y aplicaciones. (Tiesler et al., 2006; Kerley. 1965; Kerley & Ubelaker. 1978; Rodríguez. 2004)

En adición a esto, encontramos la gran aplicabilidad de éste método, existiendo en la bibliografía explorada, más de 30 formulas disponibles, que si bien son solo aplicables a cada segmento de hueso cortical analizado y en ausencia de condiciones patológicas, aportan en gran medida precisión y posibilidades de aplicación en casos de esqueletos incompletos y piezas óseas fragmentadas. Véase: (Tiesler et al., 2006)

Una vez expuestas las ventajas y puntos generales a favor de la histomorfología en antropología, es necesario traer a colación los aspectos en contra de este método según los autores.

## **8.2. Desventajas del método histomorfológico.**

Tiesler et al. (2006) recalca que la mayor limitante para la aplicación de este método radica en su carácter destructivo. Esto significaría que por lo menos 1 superficie diafisial de 1 hueso largo vería su integridad afectada por la aplicación de técnicas histomorfológicas clásicas como las que proponen Kerley. (1965) y Kerley & Ubelaker. (1978) Dado que el conteo de densidad media de osteonas, que es el principio básico del método, depende de la observación directa la microestructura ósea del hueso laminar lo que conlleva a que normalmente sea necesario remover mínimo 4

fragmentos relativamente grandes de la diáfisis para su análisis microscópico. (Tiesler et al., 2006)

Cabe agregar, que existe otro inconveniente para la aplicación de la histomorfología en antropología. Como lo señala Tiesler et al. (2006) es necesario que al momento de la fase práctica de este método, el laboratorio donde se lleve a cabo disponga mínimamente o pueda hacer uso tanto de un micrótopo, cortadora de banda y taladro de barreno, así como un microscopio electrónico de barrido. (Tiesler et al., 2006) recomienda el uso este último dado su grado de precisión y adaptabilidad para el método ya que puede ser modificado para el conteo de manera más eficiente. Esto limita el uso de estas técnicas de muestreo a lugares donde esta maquinaria o los suficientes recursos, bien sea para adquirirlas u operarlas, se encuentren disponibles.

Por su parte Rodríguez. (2004) explora someramente otro de los grandes problemas de este método. La aplicabilidad interpoblacional del método, ya que los grupos humanos pueden diferir en características fisiológicas, genotípicas, fenotípicas y socioambientales. Durante la fase exploratoria de este trabajo fueron encontrados 7 estudios publicados al respecto que son:

- Berstelen. Clement. Thomas. (1995)
- Cho. Stout. Madsen. Streeter. (2002)
- Qiu. Fyhrie. Palnitkar. Rao. (2003)
- Busse. Hahn. Schinke. Püschel. Amling. (2008)
- Britz. Thomas. Clement. Cooper. (2009)
- Compston. (2011)

- Shovna. Stephen. Compston. (2011)

Esto deja abierta la puerta a estudios futuros para explorar los alcances de esta problemática. Sin embargo y como el mismo Rodríguez resalta en todos sus textos, estudios poblacionales más amplios son necesarios con el fin de caracterizar variaciones anatómicas e incluso fisiológicas interpoblacionales. Véase (Tiesler et al., 2006)

### **8.3. Tendencias de publicación:**

Durante la década de 1960 comienza la aplicación de éste método de la anatomía descriptiva en antropología física, en un principio con miras a la estimación más precisa de la edad. En los años subsecuentes se vieron diferencias en las tendencias de publicación, lo que será explorado a continuación. Desde 1965 a la fecha, las publicaciones sobre método histomorfométrico en estimación de edad en adultos, han venido cambiando de enfoque y objetivos, de la aplicación del muestreo por secciones óseas en diferentes porciones de hueso cortical, al desarrollo de nuevas técnicas de carácter menos invasivo o no invasivo y la implementación de estudios exploratorios de carácter metodológico y poblacional. Como resultado de la fase de exploración bibliográfica se pudo identificar la tendencia general de publicación de 1983 a 2011 en donde la mayor porción es representada por el desarrollo de técnicas de muestreo menos invasivas o no invasivas con un 47% y se nota un margen de diferencia sustancial entre los estudios tendientes a la revisión o perfeccionamiento del método original con un 33% y los estudios exploratorios con un 17%. En contraste la aplicación

del método por técnicas destructivas, solo representa un 3% del total de publicaciones recopiladas.

Según lo reporta Tiesler et al. (2006) las publicaciones acerca de la aplicación de este método en antropología entre 1965 y 1970 se encaminaron hacia 2 ejes principales; la creación del método aplicado inicial con un 50% del total de publicación, frente a un 50% correspondiente a la revisión metodológica. Esta tendencia es el reflejo de un método en desarrollo que a la fecha necesitaba pasar por revisión continua para evaluar su eficacia y aplicabilidad.

En los años 1970 a 1980 Según Tiesler et al (2006) aparecen en escena las nuevas aplicaciones o técnicas de carácter destructivo con un 40% del total, mientras que la revisión o crítica del método original aumentaron su proporcionalidad de publicación a 60%. Todo esto corresponde a un proceso de investigación tendiente a la aplicación metodológica en distintos puntos del hueso que pudieran tener fuentes significativas de hueso cortical.

Por otro lado, de 1980 a 1990 según Tiesler et al (2006), la tendencia de publicación se vio orientada en un 57% a la revisión exhaustiva del método original aplicado en 1965 por Kerley, frente al desarrollo y aplicación de técnicas de carácter destructivo con un 43% lo que probablemente se debió a un proceso de perfeccionamiento metodológico. En contraste a esto, la tendencia reflejada por la recopilación bibliográfica para esta monografía, indicó que durante este decenio, se observan los primeros estudios para la aplicación de técnicas de muestreo no invasivo por medio de imágenes diagnósticas y que fue un 40% de todas los estudios encontrados, así como

la revisión metodológica con el mismo porcentaje sobre el total y un 20% correspondiente a las nuevas técnicas de carácter destructivo.

De 1990 a 2000 la mayor parte de las publicaciones, según Tiesler et al (2006) se vio centrada en la aplicación de técnicas de muestreo de carácter destructivo en nuevos segmentos de hueso cortical con un 78%. Sin embargo, la revisión al método original fue de un 22%. Como resultado de la fase de recopilación bibliográfica se detectó una tendencia de 50% de las publicaciones orientadas al desarrollo o aplicación de técnicas de muestreo menos invasivas o no invasivas, frente a un 30% dedicado a la revisión metodológica y un 20% correspondiente a estudios exploratorios.

Según lo publica Tiesler et al (2006) y en conjunto con la recopilación bibliográfica, se observó que en el lapso comprendido desde el 2000 al 2010, existe un balance de publicación entre técnicas menos invasivas para la observación de la microestructura ósea y la revisión metodológica con un 43% para cada una, así como un 14% para los estudios exploratorios, lo que significa que el método está siendo encaminado a ser cada vez más flexible ante condiciones variables de investigación como el estado de conservación y la necesidad de preservar la integridad física del hueso.

Dicho esto, es fundamental resaltar la introducción de nuevas tecnologías para la aplicación de la histomorfología e histomorfometría en antropología física y forense.

#### **8.4. Nuevas tecnologías.**

Desde los estudios realizados por Stein et al. (1999) se ha venido implementando la adaptación y uso de imágenes diagnósticas al método histomorfológico para la

estimación de la edad. La microradiología y microtomografía han sido probadas como tecnologías efectivas en el análisis de microestructura ósea y han logrado establecer desde relaciones entre conteo de población media de osteonas hasta reconstrucción de microestructura ósea por medio de tomografía axial computarizada. A la fecha, éste trabajo monográfico recopilatorio, ha logrado encontrar 4 publicaciones para la estimación de la edad por microestructura ósea que involucran métodos no invasivos.

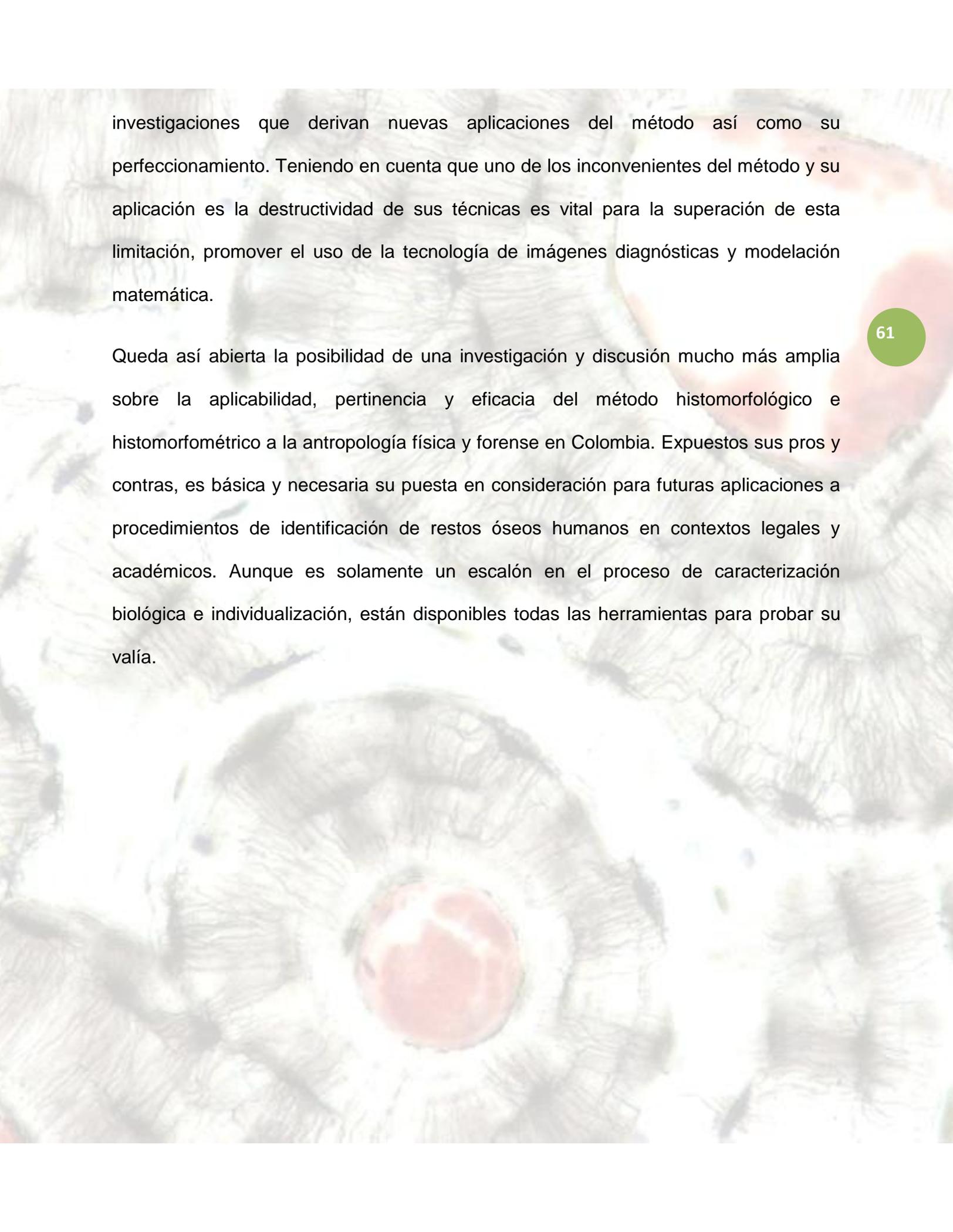
Los autores y fechas de publicación son:

- Stein. Feik. S. Thomas. Clement. Wark. (1999)
- Cooper. Thomas. Clement. Turinsky. Sensen. Hallgrímsson. (2003; 2007)
- Yankel. Bab (2011)

Sin embargo, las imágenes diagnósticas no son las únicas herramientas a disposición de la histomorfología como técnica no invasiva. Tal es el caso del estudio publicado por Rho. Marcel. Tsui. Pharr. (1998) en donde se explora la modelización, reconstrucción y descripción matemática tanto del proceso de remodelación ósea como de su resultado en la estructura microscópica del hueso cortical. Véase (Stein, Feik, Thomas, Clement, & Wark, 1999)

### **8.5. Algunas consideraciones.**

Se observa entonces una clara tendencia a la desaparición de la aplicación de técnicas destructivas de muestreo y el aumento gradual de la aplicación de tecnologías no invasivas. Por otro lado existe una clara tendencia a la disminución de los estudios exploratorios. Esto es de especial importancia en la medida que es de esta clase de

A microscopic image of biological tissue, possibly a cross-section of a bone or cartilage, showing a central red circular area. The surrounding tissue has a fibrous, layered appearance.

investigaciones que derivan nuevas aplicaciones del método así como su perfeccionamiento. Teniendo en cuenta que uno de los inconvenientes del método y su aplicación es la destructividad de sus técnicas es vital para la superación de esta limitación, promover el uso de la tecnología de imágenes diagnósticas y modelación matemática.

Queda así abierta la posibilidad de una investigación y discusión mucho más amplia sobre la aplicabilidad, pertinencia y eficacia del método histomorfológico e histomorfométrico a la antropología física y forense en Colombia. Expuestos sus pros y contras, es básica y necesaria su puesta en consideración para futuras aplicaciones a procedimientos de identificación de restos óseos humanos en contextos legales y académicos. Aunque es solamente un escalón en el proceso de caracterización biológica e individualización, están disponibles todas las herramientas para probar su valía.

## Bibliografía.

(Ascenzi, Andreuzzi, & Kabo, 2004; Bell et al., 2001; Bertelsen, Clement, & Thomas, 1995; Britz, Thomas, Clement, & Cooper, 2009; Busse et al., 2010; Cattaneo, 2007; Congiu & Pazzaglia, 2011; Cooper DM, 2011; Cooper et al., 2007; Cooper, Turinsky, Sensen, & Hallgrimsson, 2003; Day, 2005; Doblaré, García, & Gómez, 2004; Gabet & Bab, 2011; Geneser, 1986; Grimal, Raum, Gerisch, & Laugier, 2011; Kemkes-Grottenthaler, 2001; E. R. Kerley, 1965; E. U. Kerley, D., 1978; Laufer, 2008; Lin & Xu, 2011; Lynnerup, Thomsen, & Frohlich, 1998; Pechnikova, Porta, & Cattaneo, 2011; Pfeiffer, 1998; Pilolli, Lucchese, Maiorano, & Favia, 2008; Qiu, Fyhrie, Palnitkar, & Rao, 2003; Reisinger, Pahr, & Zysset, 2011; Rho, Roy, Tsui, & Pharr, 1999; Roark, Young, & Budynas, 2002; Rodríguez, 2004; Sampieri, Collado, & Lucio, 1998; Stein et al., 1999; Vedi, Kaptoge, & Compston, 2011; White et al., 2011; White & Folkens, 2005)

Ascenzi, M. G., Andreuzzi, M., & Kabo, J. M. (2004). Mathematical modeling of human secondary osteons. *Scanning*, 26(1), 25-35.

Bass, W. M. (1987). *Human osteology: a laboratory and field manual*. Missouri Archaeological Society.

Bass, W. M. (2005). *Human Osteology: A Laboratory and Field Manual*. Missouri Archaeological Society, Incorporated.

Bell, K. L., Loveridge, N., Reeve, J., Thomas, C. D., Feik, S. A., & Clement, J. G. (2001). Super-osteons (remodeling clusters) in the cortex of the femoral shaft: influence of age and gender. *Anat Rec*, 264(4), 378-386.

Bertelsen, P. K., Clement, J. G., & Thomas, C. D. (1995). A morphometric study of the cortex of the human femur from early childhood to advanced old age. *Forensic Sci Int*, 74(1-2), 63-77.

Britz, H. M., Thomas, C. D., Clement, J. G., & Cooper, D. M. (2009). The relation of femoral osteon geometry to age, sex, height and weight. *Bone*, 45(1), 77-83. doi: 10.1016/j.bone.2009.03.654

Burns, K. R. (2007). *Forensic Anthropology Training Manual*: Pearson/Prentice Hall.

Busse, B., Hahn, M., Schinke, T., Puschel, K., Duda, G. N., & Amling, M. (2010). Reorganization of the femoral cortex due to age-, sex-, and endoprosthesis-related effects emphasized by osteonal dimensions and remodeling. *J Biomed Mater Res A*, 92(4), 1440-1451. doi: 10.1002/jbm.a.32432

Cattaneo, C. (2007). Forensic anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium. *Forensic Sci Int*, 165(2), 185-193.

Congiu, T., & Pazzaglia, U. E. (2011). The sealed osteons of cortical diaphyseal bone. Early observations revisited with scanning electron microscopy. *Anat Rec (Hoboken)*, 294(2), 193-198. doi: 10.1002/ar.21309

Cooper DM, T. C., Clement JG, Turinsky AL, Sensen CW, Hallgrímsson B. (2011). Age-Related Changes in Bone Remodelling and Structure in Men: Histomorphometric Studies. *Journal of Osteoporosis*, 2011. doi: 10.4061/2011/108324

Cooper, D. M., Thomas, C. D., Clement, J. G., Turinsky, A. L., Sensen, C. W., & Hallgrímsson, B. (2007). Age-dependent change in the 3D structure of cortical porosity at the human femoral midshaft. *Bone*, 40(4), 957-965. doi: 10.1016/j.bone.2006.11.011

Cooper, D. M., Turinsky, A. L., Sensen, C. W., & Hallgrímsson, B. (2003). Quantitative 3D analysis of the canal network in cortical bone by micro-computed tomography. *Anat Rec B New Anat*, 274(1), 169-179. doi: 10.1002/ar.b.10024

Crowder, C., & Stout, S. (2011). *Bone Histology: An Anthropological Perspective*: Taylor & Francis.

Day, R. A. (2005). *Como Escribir Y Publicar Trabajos Cientificos*: Organización Panamericana de la Salud.

Doblaré, M., García, J. M., & Gómez, M. J. (2004). Modelling bone tissue fracture and healing: a review. *Engineering Fracture Mechanics*, 71(13–14), 1809-1840. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2003.08.003>

Dupras, T. L., Schultz, J. J., Wheeler, S. M., & Williams, L. J. (2011). *Forensic Recovery of Human Remains: Archaeological Approaches, Second Edition*: Taylor & Francis.

Gabet, Y., & Bab, I. (2011). Microarchitectural changes in the aging skeleton. *Curr Osteoporos Rep*, 9(4), 177-183. doi: 10.1007/s11914-011-0072-1

Geneser, F. (1986). *Atlas color de histología: Médica Panamericana*.

Grimal, Q., Raum, K., Gerisch, A., & Laugier, P. (2011). A determination of the minimum sizes of representative volume elements for the prediction of cortical bone elastic properties. *Biomech Model Mechanobiol*, 10(6), 925-937. doi: 10.1007/s10237-010-0284-9

Katzenberg, A., & Saunders, S. R. (2008). *Biological Anthropology of the Human Skeleton*: Wiley.

Kemkes-Grottenthaler, A. (2001). The reliability of forensic osteology--a case in point. Case study. *Forensic Sci Int*, 117(1-2), 65-72.

Kerley, E. R. (1965). The microscopic determination of age in human bone. *Am J Phys Anthropol*, 23(2), 149-163. doi: 10.1002/ajpa.1330230215

Kerley, E. U., D. (1978). Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *Am J Phys Anthropol*, 49(4), 545-546. doi: 10.1002/ajpa.1330490414

Lagunas, Z. (2000). *Manual de osteología antropológica*: Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Laufer, M. (2008). *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*. Robert A. Day y Bárbara Gastell (2008) *Publicación Científica y Técnica* N° 621 Organización

Panamericana de la Salud Washington, DC, EEUU. 333 pp. *Interciencia*, 33, 396-396.

Lin, Y., & Xu, S. (2011). AFM analysis of the lacunar-canalicular network in demineralized compact bone. *J Microsc*, 241(3), 291-302. doi: 10.1111/j.1365-2818.2010.03431.x

Lynnerup, N., Thomsen, J. L., & Frohlich, B. (1998). Intra- and inter-observer variation in histological criteria used in age at death determination based on femoral cortical bone. *Forensic Sci Int*, 91(3), 219-230.

Ortner, D. J., & Putschar, W. G. J. (1985). *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*: Smithsonian Institution Press.

Patten, B. M. (1948). *Human Embryology*, By Bradley M. Patten.

Pechnikova, M., Porta, D., & Cattaneo, C. (2011). Distinguishing between perimortem and postmortem fractures: are osteons of any help? *Int J Legal Med*, 125(4), 591-595. doi: 10.1007/s00414-011-0570-9

Pfeiffer, S. (1998). Variability in osteon size in recent human populations. *Am J Phys Anthropol*, 106(2), 219-227. doi: 10.1002/(sici)1096-8644(199806)106:2<219::aid-ajpa8>3.0.co;2-k

Pilolli, G. P., Lucchese, A., Maiorano, E., & Favia, G. (2008). New approach for static bone histomorphometry: confocal laser scanning microscopy of maxillo-facial

normal bone. *Ultrastruct Pathol*, 32(5), 189-192. doi:  
10.1080/01913120802397836

Qiu, S., Fyhrie, D. P., Palnitkar, S., & Rao, D. S. (2003). Histomorphometric assessment of Haversian canal and osteocyte lacunae in different-sized osteons in human rib. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol*, 272(2), 520-525. doi:  
10.1002/ar.a.10058

Reisinger, A. G., Pahr, D. H., & Zysset, P. K. (2011). Principal stiffness orientation and degree of anisotropy of human osteons based on nanoindentation in three distinct planes. *J Mech Behav Biomed Mater*, 4(8), 2113-2127. doi:  
10.1016/j.jmbbm.2011.07.010

Rho, J. Y., Roy, M. E., 2nd, Tsui, T. Y., & Pharr, G. M. (1999). Elastic properties of microstructural components of human bone tissue as measured by nanoindentation. *J Biomed Mater Res*, 45(1), 48-54.

Roark, R. J., Young, W. C., & Budynas, R. G. (2002). *Roark's Formulas for Stress and Strain*: McGraw-Hill.

Robling, A. G., & Stout, S. D. (1999). Morphology of the drifting osteon. *Cells Tissues Organs*, 164(4), 192-204. doi: 16659

Rodríguez, J. V. (2004). *La antropología forense en la identificación humana*: Universidad Nacional de Colombia.

Sampieri, R. A. H., Collado, C. A. F., & Lucio, P. A. B. (1998). *Metodología de la investigación*: McGraw-Hill.

Tiesler V, Cucina A, Streeter M (2006) Manual de histomorfología en hueso no descalcificado. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida.

Singh, I. J., & Gunberg, D. L. (1970). Estimation of age at death in human males from quantitative histology of bone fragments. *Am J Phys Anthropol*, 33(3), 373-381. doi: 10.1002/ajpa.1330330311

Stein, M. S., Feik, S. A., Thomas, C. D., Clement, J. G., & Wark, J. D. (1999). An automated analysis of intracortical porosity in human femoral bone across age. *J Bone Miner Res*, 14(4), 624-632. doi: 10.1359/jbmr.1999.14.4.624

Vedi, S., Kaptoge, S., & Compston, J. E. (2011). Age-related changes in iliac crest cortical width and porosity: a histomorphometric study. *J Anat*, 218(5), 510-516. doi: 10.1111/j.1469-7580.2011.01356.x

Wainwright, S. A. (1982). *Mechanical Design in Organisms*: Princeton University Press.

White, T. D., Black, M. T., & Folkens, P. A. (2011). *Human Osteology*: Elsevier Science.

White, T. D., & Folkens, P. A. (2005). *The Human Bone Manual*: Elsevier Science.

### Referencias de Internet.

- Centers for Disease Control and Prevention.  
<http://www.cdc.gov/nchs/> Consultado 29/10/12 20:13hrs.

- American Board of Forensic Anthropology. <http://www.theabfa.org/> Consultado 25/10/12 11:30hrs.
- UCL University College London. [http://www.ucl.ac.uk/cdb/research/arnett/gallery\\_bone2](http://www.ucl.ac.uk/cdb/research/arnett/gallery_bone2) Consultado 27/01/14 Consultado 16:02hrs.