



Marcadores óseos de actividad: una herramienta de análisis para los estudios de dinámicas sociales, económicas y culturales en muestras bioarqueológicas de Suramérica.

Melissa Serna Torres

Monografía presentada para optar al título de Antropólogo

Asesora

Natalia Andrea Restrepo Hernández, Magíster (MSc) en Antropología.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Sociales y Humanas
Antropología
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Serna Torres, 2024)
Referencia	Serna torres, M. (2024). <i>Marcadores óseos de actividad: una herramienta de análisis para los estudios de dinámicas sociales, económicas y culturales en muestras bioarqueológicas de Suramérica</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

A mi familia quien, con su apoyo constante, me permitió completar este proyecto. También lo dedico a mi asesora, Natalia, quien me guió con sabiduría, paciencia y dedicación. A mis compañeros quienes fueron mi apoyo en momentos difíciles, mi compañía en las celebraciones. Juntos construimos un camino que no olvidaré. Finalmente, a mi alma mater, por ser el hogar donde cultivamos nuestras habilidades, es aquí donde crecimos y siempre volveremos. Y a todos aquellos que me ayudaron crecer y a alcanzar mi objetivo.

Agradecimientos

Me gustaría expresar gratitud a todos los que me apoyaron en este proceso. Sin sus palabras de ánimo me hubiera tardado más en llegar hasta aquí. Agradezco a mi asesora, compañeros de clase, amigos y familia por su confianza y paciencia. Aprecio todos los esfuerzos y sacrificios que hice para lograr esta meta.

Tabla de contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
1 Planteamiento del problema.....	12
1.1 Antecedentes.....	12
2 Justificación	14
3 Objetivos	15
3.1 Objetivo general.....	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 Pregunta de investigación	16
5 Metodología.....	17
6 Marco teórico.....	18
6.1 Tejido óseo.....	19
6.1.1 Anatomía del hueso	20
6.1.2 Homeostasis mineral ósea	23
6.1.3 Biomecánica del hueso	25
6.1.4 Calidad ósea.....	26
6.1.5 Remodelado óseo.....	28
6.1.5.1 Activación.....	29
6.1.5.2 Reabsorción	30
6.1.5.3 Formación	31
6.1.5.4 Terminación	31
6.2. Marcadores óseos de actividad	31
6.3 Marcadores óseos de actividad en bioarqueología.....	33

6.4. Marcadores óseos de actividad en Suramérica y Colombia.....	36
6.5. Metodología para el registro de marcadores óseos de actividad.....	40
7 Discusión	64
Referencias.....	67

Lista de tablas

Tabla 1 funciones del sistema óseo	19
Tabla 2 Grados de presencia del marcador.	41
Tabla 3 Posibles actividades según el marcador óseo	41
Tabla 4 Grados de presencia del marcador	43
Tabla 5 Grados de presencia del marcador.	43
Tabla 6 Ubicación de los marcadores óseos de actividad, el músculo y los criterios correspondientes para la puntuación.	58

Lista de figuras

Figura 1 Entesis del grupo 1: Remodelación del contorno, ejemplo de la inserción del músculo bíceps braquial en el radio.....	45
Figura 2 Inserción del músculo tríceps braquial sobre el cúbito.....	46
Figura 3 Inserción del músculo cuádriceps femoral en la rótula.	46
Figura 4 Inserción de un músculo tríceps braquial sobre el cúbito. La superficie muestra un área de erosión restringida localizada, por lo que es asignada a la categoría B.	47
Figura 5 Inserción del músculo tríceps sural en el calcáneo.....	47
Figura 6 Ausencia de entesofito.....	48
Figura 7 Entesofito en la unión de las dos láminas.....	48
Figura 8 Entesofito en lámina derecha.	49
Figura 9 Inserción del músculo deltoides en el húmero.....	49
Figura 10 Inserción del músculo pronador redondo sobre la rótula.....	50
Figura 11 Inserción del músculo pectoral mayor sobre el húmero.	50
Figura 12 Inserción de músculo pectoral sobre el húmero.	51
Figura 13 Desgaste de las caras linguales y oclusal de las piezas anteroposteriores. Presencia de un surco a nivel del tercio medio del grupo incisal y de la cara lingual del canino inferior izquierdo.....	52
Figura 14 Cambios artrósicos a nivel de la articulación escápulo humeral derecha.....	53
Figura 15 Faceta articular accesoria lateral a nivel de la epífisis distal de tibia izquierda.	53
Figura 16 Fractura del “cavador”. La flecha señala la fractura de parte del proceso espinoso de la primera vértebra torácica.....	54
Figura 17 Deformación medial de la diáfisis del peroné. Descrito en sujetos que tenían el hábito de cruzar las piernas cuando estaban sentados.....	55
Figura 18 Asimetría humeral. Mayor robustez del húmero derecho.	55
Figura 19 Miositis osificante a nivel de la bifurcación de la línea áspera del fémur izquierdo.	56

Figura 20 Grados de robustez a nivel de una entesis de tipo tendinoso (inserción del bíceps braquial a nivel del radio). De grado 0 (G0) a grado 4 (G4) o entesopático, definido por la formación de exóstosis y/o lesiones líticas.	56
Figura 21 Grados de robustez en tuberosidad bicipital- inserción del bíceps. A: G1, B: G2 y C: G3.	57
Figura 22 Esquema de puntuación para la tuberosidad radial.....	58

Resumen

La monografía se enfoca en la identificación de marcadores de estrés ocupacional en investigaciones bioarqueológicas en Suramérica y Colombia. En la primera sección, se explora cómo el sistema conjuntivo óseo contribuye a la formación de estos marcadores a través de su grupo celular, intercambio mineral y funciones principales. La segunda parte analiza las metodologías empleadas para estudiar estos marcadores, mientras que el último capítulo destaca investigaciones, temas y metodologías relevantes en el estudio de los marcadores óseos de actividad en la región. Se concluye con una discusión sobre los alcances, limitaciones y desafíos actuales en este campo.

Palabras clave: Estrés ocupacional, marcadores óseos, intercambio mineral, poblaciones bioarqueológicas, entesopatías, enfermedades articulares degenerativas.

Abstract

The monograph aims to identify occupational stress markers recorded in bioarchaeological research of population samples in South America. The first part focuses on how the bone connective tissue system contributes to the formation of these markers through its cellular group, mineral exchange, and other main functions. The second section reviews the methodologies used to analyze these markers. The final chapter focuses on important research, themes, and methodologies in the study of bone activity markers in South America and Colombia, concluding with a discussion on the scope, limitations, and current challenges in the field.

Keywords: Occupational stress, bone markers, mineral exchange, bioarchaeological populations, enthesopathies, degenerative joint diseases.

Introducción

Este trabajo pretende indagar sobre los marcadores óseos de actividad (MOA), como se forman y su importancia en los estudios bioarqueológicos en Suramérica y en Colombia.

La formación de estos marcadores es un proceso complejo y aún no completamente comprendido. Sin embargo, se sabe que los (MOA) son causados por cambios en el metabolismo óseo en respuesta a la actividad física, cambios que incluyen la formación de nuevo hueso en áreas de estrés y la remodelación del hueso existente. Además, pueden variar en función de factores como la edad, el género y la nutrición que reflejan la actividad física del individuo durante su vida, y que pueden ser analizados para inferir patrones de actividad laboral y de estilo de vida de poblaciones antiguas. Son una valiosa herramienta para la bioarqueología, ya que contribuyen a una mejor comprensión de las economías de subsistencia, las migraciones, los patrones dietarios y las condiciones de salud para estas poblaciones.

La presente es una monografía basada en una revisión bibliográfica con un enfoque interdisciplinario que combina la arqueología, la antropología física y la bioarqueología, en el uso de los marcadores óseos de actividad como herramienta de análisis de las diferentes dinámicas sociales, económicas y culturales de las sociedades prehistóricas en Suramérica. Se indagará por las diferentes clases de marcadores, las técnicas de análisis y las metodologías utilizadas para su registro, sus alcances y limitaciones.

1 Planteamiento del problema

En los últimos años ha incrementado a nivel global, el interés por la información que contiene los restos óseos humanos y su utilidad en los estudios arqueológicos, trayendo consigo un desarrollo acelerado de nuevas técnicas y enfoques teórico - metodológicos.

Para Colombia, esto ha significado un reto para la inmersión de nuevas perspectivas en el desarrollo de una bioarqueología articulada con diferentes saberes, ha abierto un abanico de alcances y limitaciones en la resolución de preguntas arqueológicas y la historia antigua de nuestro país.

La contribución de técnicas especializadas en los análisis osteológicos como la morfometría, radiología, elementos traza, microscopía, entre otros, ha representado una transformación conceptual en la bioarqueología del país, logrando que en los últimos años se consoliden estudios de restos óseos desde un sustento empírico aplicado a problemáticas del pasado, permitiendo una profundización en conocimientos sobre los procesos de población humana, migraciones, patrones dietarios, economías de subsistencia, condiciones de salud y prácticas mortuorias.

Actualmente en el país se ha hecho evidente una necesidad de profundizar en las metodologías de análisis que permitan apoyar los procesos de estudios de restos óseos en la bioarqueología. Los marcadores óseos de actividad como herramienta teórica brindan información sobre la reacción ósea ante la presión física, tomando en cuenta la biomecánica del hueso. Esta información permite reconstruir y estimar patrones poblacionales de actividades cotidianas, constantes o laborales. Son cambios que pueden ser analizados desde la bioarqueología, pero también desde una perspectiva de actividades ocupacionales y osteología, pues reflejan los movimientos, posturas y esfuerzos realizados por las personas en el curso de sus actividades cotidianas brindando información complementaria para el reconocimiento de individuos esqueletizados no identificados.

1.1 Antecedentes

En la disciplina antropológica, los marcadores óseos de actividad se desarrollan en áreas como la antropología forense, la paleodemografía y la paleontología, esto se debe a que comparten

fundamentos metodológicos con la biología del esqueleto humano (osteología) y orientaciones teóricas de evolución humana y diversidad biológica en poblaciones actuales y del pasado (Niño, 2006).

Cuando la antropología se estaba consolidando como disciplina, la bioarqueología en Suramérica comenzaba a desarrollarse. Esto es en el siglo XIX, donde las primeras publicaciones acerca de esta disciplina se aventuraban con preguntas acerca de la coexistencia de humanos con la megafauna de la antigüedad. A medida que transcurría el siglo, los ejes temáticos fueron cambiando y se enfocaban en temas como la tipología racial y las modificaciones patológicas. Ya para el siglo XX, la bioarqueología en el continente se enfatizaba en estudios poblacionales y contaban con una mayor integración de datos arqueológicos (Okumura, 2021).

A partir de mediados de la década de los 90 surge el estudio de la condición humana y su comportamiento general, a partir de los restos óseos hallados en contextos arqueológicos (bioarqueología). Actualmente la bioarqueología en Suramérica integra un amplio abanico de áreas, incluyendo la paleodemografía, morfometría, movilidad y patologías, las cuales presentan una articulación, además de las ciencias naturales y la evolución, conceptos de género e identidad (Okumura, 2021).

2 Justificación

Actualmente en el país se ha hecho evidente una necesidad de desarrollar herramientas metodológicas y de análisis que permitan apoyar los procesos bioarqueológicos en la observación e interpretación de los restos óseos de poblaciones e individuos del pasado.

Dentro de los análisis bioantropológicos se ha producido un notable impulso de aquellos dedicados al estudio de los marcadores de estrés y actividad musculoesqueléticos, basados en los cambios de las entesis, las zonas de inserción de los tendones, ligamentos y cápsulas articulares del hueso (Benjamin et al. 2002). De allí reside la necesidad de estandarizar una metodología para la identificación, observación y análisis de los marcadores óseos de actividad, puesto que existen muchas investigaciones, pero no se cuenta con un protocolo único de datos.

El enfoque de este está monografía proyecto de grado son los marcadores óseos de actividad, ya que estos brindan información sobre la reacción ósea ante la presión física, tomando en cuenta la biomecánica del hueso, información permite reconstruir y estimar patrones poblacionales de actividades cotidianas, constantes o laborales, abriéndole a la arqueología nacional nuevos enfoques investigativos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar las diferentes metodologías que se han desarrollado para el análisis de los marcadores óseos de actividad

3.2 Objetivos específicos

Registrar, según las fuentes literarias las diversas características y tipos de los marcadores óseos de actividad.

Enunciar los marcadores de estrés ocupacional registrados en las investigaciones bioarqueológicas de muestras poblacionales en Suramérica

Exponer las problemáticas de los estudios e investigaciones de marcadores óseos de actividad en Suramérica, que permitan un posterior análisis de los MOA para poblaciones arqueológicas en Colombia.

4 Pregunta de investigación

¿Cuáles son las metodologías empleadas para el análisis de marcadores óseos de actividad encontrados con mayor frecuencia en muestras poblacionales en el campo bioarqueológico de Suramérica?

5 Metodología

La metodología utilizada para realizar esta monografía es la revisión bibliográfica, una técnica que consiste en la recopilación y análisis de información publicada en diferentes fuentes, como libros, artículos científicos, tesis y estudios previos. Esta metodología es apropiada para este trabajo debido a que permite una exhaustiva revisión de la literatura existente sobre el tema y una evaluación crítica de los diferentes enfoques y metodologías utilizadas en los estudios previos.

La recopilación de la información se llevó a cabo mediante la búsqueda en bases de datos científicas y bibliotecas virtuales, utilizando palabras clave relacionadas con el tema. Se buscó información en diferentes idiomas, incluyendo el inglés, español y portugués. Una vez seleccionadas las fuentes relevantes se llevó a cabo un análisis de la información recopilada, con el objetivo de identificar los diferentes tipos de marcadores óseos de actividad, las metodologías utilizadas para su análisis y los estudios realizados en Suramérica y Colombia.

La presentación de los resultados se llevó a cabo mediante una síntesis de la información recopilada, que permitió exponer los procesos de formación de los marcadores óseos de actividad desde un enfoque en la antropología física, así como los diferentes tipos de marcadores registrados y las metodologías utilizadas para su análisis, permitiendo comprender su importancia para la bioarqueología en Suramérica y Colombia.

6 Marco teórico

El hueso como tejido conjuntivo dinámico está encargado de dos importantes funciones en el organismo humano. Una de estas es de naturaleza metabólica asociada a la homeostasis mineral, su segunda función es brindar soporte al cuerpo y a sus órganos. Brinda cimiento a la carga mecánica para la locomoción, proporciona rigidez al cuerpo y puntos de inserción de tendones y músculos indispensables para la generación de movimiento. El tejido óseo se encuentra en un proceso dinámico y continuo de remodelamiento, por medio de este el hueso entretejido (*woven bone*) es reemplazado por un hueso lamelar. Este proceso de remodelado óseo se genera gracias a la acción de las células óseas (osteoblastos, osteoclastos y osteocitos) o unidades de remodelamiento óseo (URO) que están bajo el control de factores locales hormonales. La URO reaccionan tanto a condiciones patológicas como a fuerzas externas. Esta reacción trae consigo una transformación en la morfología como respuesta del hueso a las fuerzas mecánicas, fortaleciéndose donde lo necesita y reduciéndose donde no (Baca et al; 2001).

El término plasticidad, se refiere a la propiedad mecánica de algunas sustancias capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico (Guede, 2013).

Esta modificación incluye la reorientación de áreas y partes del hueso: cuando el límite de plasticidad ósea es excedido, el hueso no puede recobrar su forma original y para ello modifica su estructura, es así como el hueso responde en función de las fuerzas que se aplican sobre él (Niño, 2005). Este concepto fue desarrollado por Julios Wolff en 1892, al revelar que la forma y estructura de los huesos en crecimiento y de los adultos, depende del estrés y la tensión (esfuerzos) a la que están sometidos. Este concepto fue nombrado ley de Wolff, la cual se puede resumir de la siguiente manera: “si un hueso es cargado de –esfuerzo- en una nueva dirección, su estructura y forma cambia con su nueva función” (Álbarez y Angulo 2010). Esto significa que el hueso tiende a cambiar de forma estructural como adaptación a las demandas mecánicas a las cuales se exponga. Este concepto es fundamental para los estudios de marcadores óseos de actividad, ya que estos reflejan que una tensión aguda y prolongada causada por acción muscular produce alteraciones en la superficie del hueso.

Las alteraciones óseas por actividades son denominadas cambios internos y externos en la estructura del hueso, debido a la realización de actividades repetitivas y continuas relacionadas con

la ocupación laboral de las personas a lo largo de su vida, dejando como evidencias marcas de estrés. Estas son visibles gracias a que los huesos preservan la huella de los músculos, de ligamentos y tendones, información que queda registrada en el hueso y proporciona datos que permiten inferir el tipo de actividad que el individuo desempeñaba.

Para entender lo anterior, es imprescindible comprender la biomecánica del hueso y los conceptos que esta aborda, las leyes físicas que afectan al hueso y la biología del cuerpo humano; en tanto que este puede asimilar su funcionamiento con el de una máquina. El objeto de estudio de la biomecánica es el sistema músculo – esquelético y su relación con las leyes de la fuerza. Se entiende la biomecánica como el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen en los seres vivos. (Guede, 2013)

6.1 Tejido óseo

El hueso es un tejido conjuntivo de sostén caracterizado por ser dinámico, vascularizado, innervado y especializado, con continuos procesos de remodelado y reparación. Posee una matriz extracelular mineralizada que le permite servir como soporte para el organismo. Entre sus funciones principales se encuentra la de ser sustento para la locomoción, servir de anclaje muscular haciendo posible la movilidad y el soporte de cargas, es almacén de fósforo y el principal reservorio de calcio del organismo, sirve de almacenaje activo de la médula ósea permitiendo la generación de eritrocitos, granulocitos, monocitos y es lugar donde madura el linfocito B, proceso que lleva el nombre de hematopoyesis (Saavedra y Domínguez, 2014).

Tabla 1

funciones del sistema óseo

Funciones del sistema óseo	
Mecánica	Proporciona soporte rígido para las extremidades y cavidades del cuerpo que contienen los órganos vitales.
	Son cruciales para la locomoción, ya que brindan eficientes palancas y sitios de fijación para los músculos.

<p>Biológica</p>	<p>Proporcionan un gran depósito de iones, como calcio, fosfato, magnesio y sodio, que son cruciales para la vida y pueden mobilizarse cuando el entorno externo no los proporciona.</p>
	<p>Alberga elementos hematopoyéticos. Cada vez hay más evidencia de una relación trófica entre las células del estroma en el hueso y los elementos hematooyéticos.</p>
<p>Regulador de respuesta inmune</p>	<p>Aposición /Resorción</p> <hr/> <p>Modelación/ Remodelación</p>

6.1.1 Anatomía del hueso

De acuerdo con la forma externa que presentan los huesos se clasifican en:

1. Huesos largos: el húmero, costillas, la tibia y fémur.
2. Huesos planos: como la escápula u omóplato y los huesos del cráneo, parietal, temporal, frontal y occipital,
3. Huesos cortos: las falanges, los huesos caparles y tarsales.
4. Huesos irregulares: Vértebras, maxilar.

206 huesos forman el tejido óseo en individuos adultos (sin contar los sesamoideos y los wormianos o supernumerarios) y su unión da lugar a lo que conocemos como esqueleto. Los huesos poseen formas heterogéneas diseñadas para cumplir con funciones precisas en particular y en conjunto en relación con las piezas óseas próximas a las que está articulada, así podemos considerar al tejido óseo como uno de los mayores sistemas del organismo con el principal reservorio de iones del cuerpo humano, ya que contiene el 99% del calcio, el 85% de fósforo, 60% del magnesio y 35% de sodio, que pueden ser almacenados y liberados de forma controlada permitiendo que se lleven a cabo funciones metabólicas esenciales (Carrascosa et al; 2009).

Estructuralmente está formado por huesos, cartílagos, médula ósea, endostio y periostio; este último lo conforma dos capas, la primera externa que consta de un tejido conjuntivo denso e irregular con vasos sanguíneos, vasos linfáticos y nervios que pasan al hueso. La segunda capa es osteogénica ya que contiene células óseas, fibras elásticas y vasos sanguíneos. El periostio está

formado por una capa de fibras colágena, fibroblastos y las fibras de Sharpey (haces de fibras de colágeno) que fijan el periostio a la matriz ósea penetrando el hueso en los sitios de inserción de los tendones musculares; además, establece un punto de inserción de ligamentos y tendones, asimismo es esencial para la reparación, remodelación y nutrición del hueso ya que su capa interna se compone de células osteoprogenitoras. A diferencia del periostio el endostio recubre las cavidades internas de los huesos y está compuesto por escaso tejido conectivo y una monocapa de células osteoprogenitoras y osteoblastos (Rodríguez et al;2017).

Macroscópicamente se puede diferenciar dos tipos de hueso: hueso compacto o cortical y hueso trabecular o esponjoso. Los primeros se encuentran en los huesos largos y tubulares y en las porciones externas de todos los huesos. Los segundos componen los huesos cortos y las epífisis y metáfisis de los huesos largos y poseen cavidades irregulares ocupadas por la médula ósea. Visto microscópicamente, la organización de hueso cortical consta de 4 sistemas laminares: láminas circunferenciales externas, láminas circunferenciales internas, láminas intersticiales y osteonas (Rodríguez, 2000).

Las osteonas son la unidad estructural del tejido óseo y se ubican entre las láminas circunferenciales externa e interna. Constan de laminillas óseas dispuestas concéntricamente alrededor de un canal (conducto de Havers) formado por una capa de osteoblastos y células osteoprogenitoras, además de albergar vasos sanguíneos, vasos linfáticos y fibras nerviosas. Existen conductos que comunican los canales de Havers entre sí llamados conductos de Volkman que configuran una red vascular del periostio, los vasos sanguíneos y la médula ósea (Prieto, 2016).

Las células óseas son de 4 tipos que actúan de manera coordinada en el depósito, conservación y remodelado de la matriz calcificada madura del tejido: osteoprogenitoras, osteoblastos, osteocitos y osteoclastos. Las células osteoprogenitoras se localizan en el periostio, endostio y los canales del hueso que contienen vasos sanguíneos en forma de pequeñas células de núcleo alargado eucromático con escaso citoplasma. Estas son células no especializadas derivadas de la mesénquima (tejido del que se derivan todos los tejidos conectivos) que se diferencian en osteoblastos (Rodríguez, 2000).

Los osteoblastos se localizan en el endostio, son células encargadas de la producción de matriz ósea (que forman el tejido óseo) pero que han perdido la capacidad de dividirse por mitosis. Secretan colágeno tipo I y proteínas de la matriz ósea utilizados para la formación de la matriz ósea

orgánica, no mineralizada, llamada osteoide. A medida que segregan los materiales de la matriz ósea, esta los va envolviendo, convirtiéndolos en osteocitos (Arenas, 2010).

Los osteocitos son células óseas maduras derivadas de los osteoblastos que han perdido la capacidad de dividirse y se hallan atrapados entre la matriz ósea calcificada que ellas mismas ha producido, cavidades llamadas lagunas óseas. Mediante la emisión de prolongaciones celulares se unen con otros osteocitos que se proyectan en la matriz a través de canales llamados canalículos, que posibilitan uniones de intersticio con osteocitos contiguos favoreciendo el intercambio de electrólitos y moléculas de pequeño tamaño hacia la matriz ósea. Con estas características morfológicas los osteocitos se visualizan como pequeñas arañas (Saavedra y Domínguez, 2014). La función de los osteocitos es mantener el intercambio de sustancias nutritivas entre los vasos sanguíneos del tejido óseo y la matriz ósea y depositar o extraer pequeñas cantidades de sales de calcio cuando el metabolismo del hueso así lo requiere. Su actividad está coordinada por acción hormonal a través de las hormonas calcitonina y paratohormona (hormonas tiroidea y paratiroidea respectivamente) (Arenas, 2010).

Los osteoclastos son células gigantes multinucleadas (pueden tener hasta 50 núcleos) encargadas de la resorción ósea; surgen a partir de precursores hematopoyéticos y ocupan una cavidad que lleva el nombre de laguna de Howship. Se caracterizan por tener en una porción de su membrana proyecciones digitiformes (borde en forma de cepillo), dirigidas a un compartimento llamado subosteoclasto (sección de resorción). Son células especializadas que cuya labor es reabsorber y eliminar la matriz mineralizada. Para cumplir con dicha función el osteoclasto se posa sobre la superficie del hueso viejo o deteriorado sellando el área con la formación de un anillo adhesivo mediante integrinas y podosomas de filamentos de actina, desarrollando así una estructura de membrana plasmática invaginada llamada borde rugoso. Este último es un orgánulo que actúa como un gran lisosoma que disuelve el mineral óseo al secretar ácido en la superficie aislada, desintegrando, simultáneamente, la matriz ósea por la secreción de protasas (Shoback, 2019).

El endostio en su capa superficial alberga fibras de colágeno y vasos sanguíneos, en su capa más profunda, células precursoras de osteoblastos. A su vez, el endostio, está formado por osteoclastos y osteoblastos en forma de capa que recubre la cavidad medular y los conductos de Havers y de Volkman. Todo esto hace del sistema conjuntivo óseo un medio de intercambio tanto mineral (ya que el hueso es reservorio de iones como calcio, fosfato, magnesio) y sanguíneo, gracias a que posee una gran red de vascularización, facilitando la hematopoyesis.

Este último, la hematopoyesis, es el proceso por el cual se producen las células sanguíneas, proceso que se da en la médula ósea. Las células sanguíneas son de diversos tipos (eritrocitos, las plaquetas, granulocitos-neutrófilos, eosinófilos y basófilos), cada una esencial para la vida y nuestra supervivencia. Sus principales funciones son las de transportar oxígeno, controlar la coagulación sanguínea y establecer mecanismos de defensa contra virus, parásitos, bacterias y hongos. El debido desarrollo de esta variedad de células de la médula ósea se encuentra bajo el control de una gran variedad de factores celulares y hormonales, los cuales deben responder con rapidez a las demandas de la homeostasis en el organismo para lo cual se necesita una adecuada hematopoyesis. (Pérez, 2016)

6.1.2 Homeostasis mineral ósea

El calcio y el fósforo son los minerales constituyentes del hueso, además son indispensables para la actividad celular en general, como consecuencia el cuerpo ha desarrollado complejos mecanismos para mantener la homeostasis de ambos minerales. El sistema óseo de un individuo adulto puede poseer aproximadamente 1- 2 Kg del calcio (98%) y 1kg de fósforo (85%) (Bikle, 2019), siendo el sistema óseo el principal reservorio de fósforo y calcio. Estamos hablando de un depósito activo, con una regular remodelación ósea e intercambio de iones de minerales, además el esqueleto es el principal soporte estructural para el cuerpo; todos estos atributos combinados con la función ósea de albergar elementos que facilitan la producción de células sanguíneas (hematopoyesis) permiten una constante comunicación entre los procesos esqueléticos con los elementos de la médula ósea (González y Carrillo, 2017).

La homeostasis mineral ósea es un mecanismo que se genera gracias a que las concentraciones séricas de calcio y fósforo están controladas básicamente por tres hormonas. La primera de estas es la hormona paratiroidea. Esta hormona es secretada desde la glándula paratiroides y facilita la absorción del calcio, vitamina D y fósforo, además estimula las células madre mesenquimatosas para la producción de osteoblastos, aumenta la resorción de calcio de los huesos y reduce la excreción renal del calcio, además de aumentar la excreción renal del fósforo. Bajo la estimulación de la hormona paratiroidea el riñón produce 1,25-hidroxivitamina d (1,25(OH)₂D), la cual es la forma hormonalmente activa de la vitamina D₃. La vitamina D es una prohormona que necesita convertirse en su forma activa para ejercer sus efectos fisiológicos.

Inicialmente es transportada por una proteína fijadora (DBP) para poder viajar por el torrente sanguíneo hasta el hígado donde sufre el proceso de hidroxilación del carbono 25 (Zuluaga et al; 2011).

La 1,25-hidroxivitamina d ($1,25(\text{OH})_2\text{D}$), aumenta la absorción fraccional de calcio y aumenta, aún más, la resorción ósea. El balance de calcio externo es, por tanto, restaurado por una mayor absorción fraccional de calcio y aumento de la resorción ósea, a expensas de una mayor estabilidad de los niveles de PTH y $1,25(\text{OH})_2\text{D}$ (Shoback, 2019). Por último, se encuentra el factor de crecimiento de fibroblasto 23 (FGF 23); más que una hormona hablamos de una proteína producida por osteocitos cuya función principal es estimular la excreción renal de fosfato. En resumen, $1,25(\text{OH})_2\text{D}$ aumenta la excreción urinaria de calcio indirectamente a través del aumento de la absorción de calcio del intestino y la inhibición de la secreción de la hormona paratiroidea y puede aumentar la excreción urinaria de fosfato debido a la mayor absorción de fosfato del intestino y la estimulación de la producción de FGF 23 (Bikle, 2019).

Uno de los reguladores hormonales secundarios de la homeostasis mineral ósea es la calcitonina, cuando esta hormona péptida es secretada por las células parafoliculares actúa sobre los huesos y riñones teniendo como efecto reducir los niveles de fosfato sérico y calcio, así, al unirse al osteoclasto inhibe la resorción ósea de manera momentánea, transitoria y de poca intensidad en lo que respecta a la homeostasis general del calcio. Su mayor importancia reside en el control a corto plazo cuando se reciben cargas de calcio. Otro de los efectos de la calcitonina es la de inhibir la acción de la parathormona y la Vitamina D, además, en el riñón causa aumento en la depuración del calcio y el fósforo, así como la reabsorción de otros iones, tales como el sodio, magnesio y potasio (Restrepo et al; 2015). Aunque la formación ósea no es alterada por la administración de calcitonina, con el tiempo se reducen tanto la resorción ósea como la formación del hueso.

Las hormonas glucocorticoides y los estrógenos toman acción en la homeostasis mineral como factores secundarios. Los glucocorticoides alteran de modo desventajoso la homeostasis mineral del hueso debido a que generan una disminución en la absorción intestinal del calcio (impulsada por la vitamina D) e incrementan la pérdida del calcio en la orina, dicha pérdida de calcio inhibe la formación ósea ya que estimula la resorción ósea. Los glucocorticoides pueden generar retraso en el desarrollo óseo de los niños y para los adultos el uso prolongado de estas hormonas son una de las mayores causas de la osteoporosis (Bikle, 2019). Por su lado los estrógenos

aumentan la absorción intestinal del calcio y disminuyen la excreción renal del mismo, afectando la concentración de hormonas calciotropas generando efectos directos en la remodelación ósea (Gómez- Chang et al; 2012).

6.1.3 Biomecánica del hueso

Entre sus funciones, el hueso proporciona soporte rígido para las extremidades del cuerpo, brinda un sistema de palancas y sitios de inserción para los músculos, además de poseer una gran complejidad mecánica, cualidades cruciales para la locomoción. Es preciso aclarar que los actos locomotores son los que permiten el movimiento, el cual se da gracias al desarrollo de ciclos de aceleración y desaceleración, elevación y descenso del centro de masa. En sus actos locomotores los humanos desarrollan tres actividades: caminar, trotar y galopar, en cada una de estas actividades los procesos mecánicos y metabólicos son diferentes y cada uno de estos acarrea diferentes costos energéticos en la locomoción (Mssimo et al; 2020).

El despliegue de los procesos mecánicos se da por la precisa relación entre estructura y función; como ya lo mencioné, el esqueleto de los vertebrados funciona como un sistema de palancas articuladas donde los músculos producen movimientos y estos a su vez transmiten fuerza para el desarrollo de momentos articulares o torques (movimiento de rotación en torno un eje). Es así como los músculos generan fuerza de tracción, flexión y extensión articulatorias desarrolladas por conjuntos de músculos que trabajan de manera concéntrica y excéntrica; el troque que un músculo puede desarrollar varía con el rango de movimiento de la articulación y la velocidad del movimiento articular que puede producir, así los músculos transforman energía química producida por el metabolismo en trabajo mecánico (Mssimo et al; 2020).

La biomecánica es entonces un estudio de la biología desde el punto de vista funcional mecánico que se interesa en la resistencia a la fractura de los materiales cuando son sometidos a una carga determinada, La mecánica y la ciencia de los materiales estudian los efectos y la relación sobre una estructura o cuerpo rígido y la deformación producida. La biomecánica de la locomoción se considera el trabajo total hecho para mover los segmentos corporales y desplazar todo el cuerpo, proceso donde el costo energético es proporcional al trabajo mecánico. Así pues, las propiedades mecánicas del hueso se rigen por los mismos fundamentos que las estructuras de soporte de carga

artificial, con la enorme diferencia de que el hueso es un tejido vivo capaz de adaptar su estructura (Martin, 1992).

6.1.4 Calidad ósea

El concepto denominado como calidad ósea es uno de los ejes centrales en los estudios biomecánicos del hueso. Es un concepto que engloba los componentes que influyen en la eficacia biomecánica y la resistencia del hueso. Los componentes de la calidad ósea son su masa, sus propiedades geométricas, su estructura arquitectónica (microscópica y macroscópica) y su mineralización y composición de la matriz (propiedades minerales). Existe una interrelación entre sus propiedades geométricas y minerales; Frost explicaba este fenómeno como *mecanostato óseo*, refiriéndose a un control similar al de un termostato que permite al sistema óseo acoplarse a las condiciones de cargas que recibe del exterior mediante el modelado y el remodelado (Cano et al; 2008), creando así un mecanismo de retroalimentación. Por su parte las propiedades estructurales están determinadas por las propiedades minerales y arquitectónicas, lo que significa que un cambio en la estructura conlleva cambios en la arquitectura, en la mineralización o en ambos. La calidad ósea integrado con la cantidad ósea son determinantes de la resistencia del hueso siendo la calidad ósea responsable del 20 – 40% de la resistencia biomecánica y la cantidad ósea del 60 -80% restantes. Su importancia reside en que permite identificar cada uno de los componentes del hueso en la resistencia mecánica del conjunto ayudando a entender la capacidad del hueso como conjunto para soportar las cargas a la que es sometido (Guede et al; 2013).

Para entender el comportamiento del hueso a la carga, la biomecánica se apoya en diferentes términos de la física y así explicar la respuesta del sistema óseo a las cargas a las que es sometido, entre estos están tres tipos de fuerzas puras: la compresión, tracción o tensión y corte o cizalladura. La primera se refiere al cambio en la forma del objeto que se manifiesta como un acortamiento del mismo, la segunda se manifiesta en forma de alargamiento y por último el cizallamiento que se refiere a la rotura que sufre el hueso cuando se ve sometido a dos tipos de fuerzas en dirección paralela y en sentido opuesto. También suelen aparecer las fuerzas de flexión las cuales producen curvatura en el hueso. Todos estos vectores hacen referencia a las posibles reacciones del hueso a la carga ya que un cuerpo o estructura sobre el que se ejerce fuerza sufre un desplazamiento proporcional a la magnitud de dicha fuerza dentro del límite elástico del objeto.

Otros dos conceptos son el de esfuerzo y deformación, por su parte se llama esfuerzo a la resistencia interna del hueso a una fuerza que actúa sobre él y la deformación describe el comportamiento mecánico que representa cambios en las dimensiones del hueso sometido a la acción de la fuerza.

En ocasiones, al someter un cuerpo a la acción de una fuerza, el cuerpo es capaz de devolver toda la energía empleada en deformarlo una vez cesa dicha fuerza (comportamiento elástico). Sin embargo, en algunas circunstancias esto no es posible, resultando irreversible la deformación sufrida (comportamiento plástico). Si sometemos un hueso a la acción progresiva de una fuerza, se producen los dos tipos de deformación de forma sucesiva (Cano et al; 2008).

Entre estos conceptos claves para a comprensión de la conducta mecánica de los objetos encontramos los de elasticidad y plasticidad, siendo el primero la propiedad de un material a recuperar su forma inicial una vez se deja de aplicar una fuerza sobre él. El término plasticidad se refiere a la propiedad mecánica de algunas sustancias capaces de sufrir una deformación irreversible y permanente cuando son sometidas a una tensión que supera su rango o límite elástico (Guede, 2013).

Esta modificación incluye la reorientación de áreas y partes del hueso: cuando el límite de plasticidad ósea es excedido, el hueso no puede recobrar su forma original y para ello modifica su estructura, es así como el hueso responde en función de las fuerzas que se aplican sobre él (Niño, 2005). Este concepto fue desarrollado por Julius Wolff en 1892, al revelar que la forma y estructura de los huesos en crecimiento y de los adultos, depende del estrés y la tensión (esfuerzos) a la que están sometidos. Este concepto fue nombrado la ley de Wolff, la cual se puede resumir de la siguiente manera: “si un hueso es cargado de –esfuerzo- en una nueva dirección, su estructura y forma cambia con su nueva función” (Álvarez y Angulo Carriere, 2010). Esto significa que el hueso tiende a cambiar de forma estructural como adaptación a las demandas mecánicas a las cuales se exponga. Este concepto es fundamental para los estudios de marcadores de estrés ocupacional ya que estos reflejan que una tensión aguda y prolongada causada por acción muscular produce alteraciones en la superficie del hueso. Estos últimos dos conceptos son los que más nos interesan a la hora de hablar de los marcadores de estrés óseos y serán tratados con detenimiento más adelante.

Para terminar, otras de las características de los materiales son Rigidez y flexibilidad. La rigidez se refiere a la capacidad de un objeto a resistir la deformación cuando se aplica sobre él una fuerza externa; la capacidad del objeto de regresar a su forma original cuando cesa la fuerza externa tiene el nombre de deformación elástica o flexibilidad; esta última se refiere a aquellos materiales que muestran una deformación en la zona elástica, dicho de otro modo, es la capacidad de un material de cambiar su forma al doblarse sin romperse. La flexibilidad es la capacidad de ser maleable, adaptarse a los cambios de forma y a la movilidad.

La cantidad de energía que un material puede absorber hasta que se dé la fractura es representada con el concepto de tenacidad, esta es la capacidad de un material para resistir la deformación plástica. Un material tenaz es aquel que resiste los golpes sin romperse. Si queremos referirnos no al material si no a la estructura se habla de trabajo de rotura. Por su parte la cantidad de energía que es absorbida durante la deformación elástica, es decir la energía que un material puede absorber sin experimentar deformación permanente lleva el nombre de resiliencia. Así pues, hemos visto que el hueso al ser sometido a una carga se ejerce sobre él una fuerza que producirá primero una deformación elástica, luego plástica hasta alcanzar el punto de tensión que lleva a la fractura. Cuando el hueso es sometido a esfuerzos repetidos por debajo del valor de ruptura se puede provocar una micro fractura, si este esfuerzo se da en ciclos consecutivos dicha microfractura podría convertirse en una fractura, a esto se le llama fatiga (Cajeiro et al;2013).

6.1.5 Remodelado óseo

Gracias a esta constante interacción mineral y celular en el tejido óseo se generan procesos de formación, reabsorción y remodelado, dando como resultado una reestructuración del hueso existente, confiriéndole al esqueleto una capacidad reconstructiva y adaptativa de forma funcional. El remodelado óseo es un proceso complejo que permite al hueso renovarse y responder a mediano y largo plazo a las necesidades mecánicas y metabólicas del organismo que integra estímulos hormonales, factores mecánicos y de crecimiento. Su finalidad es la de reparar los deterioros generados por la respuesta a la carga y la fatiga de materiales, evitar la acumulación de tejido viejo y aportar un balance de oxígeno y nutrientes a sus células, así los osteoclastos cumplen su función de eliminar hueso viejo y los osteoblastos la de reponer de manera equivalente el tejido nuevo (Prieto Rodríguez, 2016). La importancia de este proceso reside en que es necesario para sustituir

y reparar el tejido óseo deteriorado, mantener las características mecánicas del esqueleto y la homeostasis mineral ósea (Mandalunis, 2006).

Cuando el remodelado se da de forma equilibrada permite la renovación de un 5-10% del hueso total al año, 5% del hueso cortical y 20% del trabecular. El proceso de remodelado es constante en el ciclo de vida, pero solo hasta los 30 años el balance es positivo; en los 30 es cuando alcanzamos la máxima masa ósea, que con pequeños intervalos se mantiene hasta los 50 años, luego de esta edad se da un predominio de la reabsorción.

El proceso comienza cuando los osteocitos identifican hueso dañado y se inicia la resorción por medio de los osteoclastos, seguido con la formación de hueso nuevo por los osteoblastos. Toda esta actividad celular se desarrolla en la unidad de remodelación o unidad básica multicelular y se realiza mediante cuatro etapas o fases. Cada una de estas tiene una duración propia, la primera es la fase de reabsorción que dura de dos a tres semanas, la segunda fase es la de inversión que dura de cuatro a cinco semanas, las últimas dos fases, la de formación y finalización duran hasta cuatro meses, esto quiere decir que el remodelado óseo es un ciclo que dura seis meses en completarse. Existen diferencias en la velocidad de este ciclo según la edad y la región del esqueleto (Fernández et al; 2006).

6.1.5.1 Activación

Al ser detectadas micro- fracturas, ya sea por los osteoclastos, por un estímulo hormonal u otros factores que inciden sobre las células del revestimiento óseo. Esta fase se basa en la comunicación entre células de estirpe osteoblástica y las precursoras de osteoclastos. De esta interacción celular se produce L- RANK (estimulador del receptor RANK: molécula de receptor activador para el factor nuclear KB) en preosteoclastos, permitiendo la diferenciación y maduración de osteoclastos activos capaces de reabsorber el tejido óseo. Los osteocitos producen factor estimulante de colonias macrófagos (monocitos- macrófagos, preosteoclastos y osteoclastos), necesario para la supervivencia de las células macrófago- osteoclastos (Mandalunis, 2006)

6.1.5.2 Reabsorción

Para esta fase los osteoclastos descomponen la matriz osteoide, los osteoblastos limitantes producen colagenasa que pre-digiere el colágeno óseo, luego los osteoclastos sufren ciertos cambios morfológicos y en el citoesqueleto. Esto se da en las etapas finales de maduración cuando los osteoclastos sufren una polarización. Uno de los primeros cambios se da con la expresión de las integrinas que permiten la adhesión del citoesqueleto a la superficie ósea a reabsorber. Para completar dicha adhesión, en la membrana del osteoclasto se forma el llamado “anillo de actina” (rodete de podosomas con filamentos de integrinas y actinas). Este conjunto al interactuar con la matriz ósea forma una “zona sellada”. Cerca, en el citoplasma se encuentra un área donde no hay organelos, pero si proteínas y microfilamentos del citoesqueleto, desde esta “área clara” se proyectan las integrinas que se fijan a la superficie mineralizada. De manera contigua en la membrana del osteoclasto se forman múltiples pliegues que forman en la célula un borde de cepillo, lo que indica que la célula llegó al final de se cambió morfológico para iniciar el proceso de reabsorción (Prieto Perez, 2020).

Los osteoclastos reabsorben el hueso en dos momentos: sulobilizan el mineral y digieren la matriz orgánica. Entre el borde de cepillo y la matriz se crea un micro ambiente o micro laguna en la que el osteoclasto vierte protones, cloro y enzimas lisosómicas. A demás esta célula sintetiza encimas que son responsables de la digestión de la matriz orgánica. El material producto de la reabsorción es liberado por exocitosis al espacio medular. En este periodo de la reabsorción se crean unas láminas (lagunas de Howship) en el hueso trabecular y unos túneles cilíndricos (canales Haversianos) en el hueso cortical. El proceso se ve finalizado con la atracción de células precursoras y una apoptosis de los osteoclastos. (Prieto Perez, 2020)

Entre esta fase y la fase de formación hay un periodo de reposo que dura entre 1 y 2 semanas, en este periodo la superficie reabsorbida es depositada una delgada línea de material glicoproteico conocido como línea de cemento que servirá de asiento para los osteoblastos.

El proceso de reabsorción esta correlacionado con las características de la matriz osteoide, en el hueso viejo la reabsorción es superior a la formación de hueso nuevo.

6.1.5.3 Formación

En las zonas absorbidas se genera un agrupamiento de preosteoblastos y osteoblastos que sintetizan y producen glucoproteínas y expresan marcadores que se adhieren a los osteoblastos maduros, así se crea una nueva matriz en el fondo de la laguna de Howship o en el canal Haversiano. La formación termina al completarse la sustitución del tejido reabsorbido por un tejido nuevo con la misma morfología, cantidad y calidad (Prieto Rodríguez, 2016).

6.1.5.4 Terminación

Tres meses demora en rellenarse el área absorbida con un nuevo osteoide mineralizado. Los osteocitos producen una proteína que impide la formación ósea de los osteoblastos suprimiendo la diferenciación de las células precursoras en osteoclastos (Prieto Perez, 2020).

El proceso termina al estar formada por completo la nueva osteona y da lugar a un periodo de reposo hasta el próximo ciclo de remodelado.

6.2. Marcadores óseos de actividad

La producción de literatura sobre los marcadores de estrés ocupacional emerge con el inicio de la revolución industrial europea durante el siglo XVII, ya para los años 1556 y 1557 se publican los primeros trabajos donde se observaron cambios morfológicos y evidencias de enfermedades en restos óseos de militares y mineros, que posiblemente podían tener su etiología en las actividades desarrolladas en vida (Kennedy, 1998). Para el año de 1700 el nombrado “padre de la medicina industrial” Bernardino Ramazzini describe 42 ocupaciones y relaciona enfermedades con ocupaciones específicas, resaltando la incidencia de las enfermedades con la ocupación laboral (Niño, 2005). Años después es reconocida la relación entre ocupación y cambios en la morfología corporal, cuando médicos y anatomistas en el siglo XIX comprendieron que el esqueleto puede crear huellas observables que delatan algunos hábitos de vida cotidiana. En 1887 William Lane estudia directamente las modificaciones óseas producidas por la actividad laboral, distinguiéndolas de aquellas modificaciones que se desarrollan por la edad (Acosta, 2012).

El interés de la antropología por estudiar los marcadores de estrés ocupacional se origina con el primer descubrimiento de fósiles homínidos en Europa a mediados de este mismo siglo (Kennedy, 1998) y para el año de 1986 Willam Turner integra los estudios de medicina industrial y antropología física al estudiar una población de trabajadores y relacionar la especialización, forma y proporciones de las estructuras esqueléticas, dando cuenta que aunque los músculos inciden en la forma del hueso, los estilos de vida y las actividades repetitivas tienen un papel importante en el desarrollo muscular y por tanto en los lugares de inserción, produciendo así las modificaciones óseas. Turner concluye que las diferencias en el esqueleto son atribuibles a las influencias de los hábitos operacionales durante la acción muscular y a la presión ejercida sobre los huesos, a diferencia del moldeamiento que se da por el curso de los años (Niño, 2005). Después de Turner las investigaciones sobre marcadores de estrés ocupacional han sido estudiadas de forma aislada por médicos y antropólogos sin esfuerzos por integrar lo que hasta ahora ambas líneas de conocimiento han avanzado en este tema.

En la década de los noventa el médico italiano Francesco Rónchese sugirió que la etiología de los marcadores de estrés ocupacional era diferente a las marcas por enfermedad infecciosa o genética como se pensaba, tales huellas eran producto de los hábitos de vida. Rónchese fue quien propuso el nombre de marcadores de estrés ocupacional (MOS)

Desde la antropología los marcadores óseos de actividad tomaron importancia hacia los finales del siglo XIX con la introducción del análisis de patologías y marcadores óseos de actividad en la bioantropología norteamericana. Fue Ales Hrdlcka (1903) quien reconoció el desarrollo diferencial de los marcadores de acuerdo con la lateralidad y el dimorfismo sexual (Kennedy, 1998). Una de las figuras pioneras que más ha contribuido al desarrollo y estudio estos marcadores aplicados al estudio de restos esqueléticos fue J. Lawrence Ángel, quien por primera vez intentó estandarizar métodos para los marcadores musculoesqueléticos; Desde entonces existen algunos esfuerzos de investigadores para establecer patrones e identificar relaciones entre las marcas encontradas y las posibles actividades. Con el interés de recopilar dichos esfuerzos Kennedy (1997) realizó una recopilación de documentos presentados en el simposio patrones de actividad y marcadores de estrés musculoesquelético realizado en 1996. Allí se expusieron diversos avances metodológicos para la materia, entre los cuales resaltan el trabajo de Cynthia Wilczak (1998), quien abordó observaciones de asimetría esquelética, las diferencias del tamaño corporal y los factores hormonales en el desarrollo ontogénico. El propósito de esta metodología es evaluar la

robustocidad muscular en hombres y mujeres de diferentes edades. Wilczak concluye que la asimetría encontrada en este estudio del uso diferencial de los grupos musculares no necesita producir expresiones hipertróficas en el mismo lado de la extremidad superior para todas las inserciones, y que los tamaños de los sitios de inserción pueden no expresarse de manera que refleje consistentemente destreza. Apoyados en el estudio de Wilczak los investigadores Steven Churchill y Alan Morris se cuestionan sobre la utilidad de analizar las variaciones en el marcado esquelético y la robusticidad como una medida de la intensidad del trabajo y sugieren que los esfuerzos máximos de actividad pueden aumentar la robusticidad de manera más intensa que las contracciones habituales. A su vez plantean que las diferencias bióticas entre regiones tuvieron un mayor efecto sobre el trabajo de subsistencia masculino que femenino, asumiendo una división sexual del trabajo en la población estudiada.

Entre las metodologías presentadas en este simposio se encuentra una evaluación de marcadores de estrés musculoesquelético y actividades habituales en esqueletos de dos poblaciones esquimales de Alaska de la región de Norton Sound, realizadas por Susan Steen y Robert Lane, quienes concluyen que los machos y las hembras se involucraron en diferentes prácticas para cosechar recursos alimenticios de plantas y animales disponibles estacionalmente. Este estudio destaca la importancia de la estandarización de los procedimientos de registro y puntuación en los análisis de los marcadores relacionados con la actividad, así como la demostración de diferencias morfológicas entre las poblaciones que habitan en entornos ecológicos similares. En este simposio Jhon Robb concluye que el empleo de métodos bivariados y multivariados demuestra cómo las marcas superficiales en los huesos son susceptibles a este enfoque. Se recomiendan las comparaciones entre las poblaciones con equilibrio de edad porque las marcas musculares son expresiones de los cambios esqueléticos en curso desde la edad adulta hasta la edad avanzada. Robb propone así un enfoque cuantitativo para medir la variabilidad en el interior de una misma muestra (Kennedy, 1998b)

6.3 Marcadores óseos de actividad en bioarqueología

Los marcadores de actividad ósea brindan información sobre la reacción del tejido ante la presión física que se ejerce sobre el hueso. Son producto de una fuerza o posición que excede la elasticidad del material óseo, provocando modificaciones en la morfología del tejido y estimulando

la formación de hueso nuevo, siendo interpretados como una respuesta de adaptación fisiológica del hueso a las cargas mecánicas (Mazza y Fabra, 2017).

Su análisis permite reconstruir y estimar patrones de actividades cotidianas y repetitivas, probablemente laborales, que los individuos o poblaciones pudieron haber realizado de forma habitual ya que refleja los movimientos, posturas y esfuerzos que fueron necesarios para la ejecución de dichas actividades.

El estudio de los marcadores óseos de actividad correlacionado con la biomecánica permite la recolección de información complementaria de gran utilidad para los estudios bioarqueológicos, esto es gracias a que las actividades habituales o cotidianas son producto de actos socialmente puntuados, haciendo posible inferir sobre los estilos de vida de individuos y poblaciones arqueológicas (Scabuzzo, 2012).

Para su determinación, los cambios observables en la estructura ósea han sido clasificados en seis categorías: osteoartritis, musculoesquelética, posturales, por desgaste, modificaciones dentales y fracturas por estrés, sin embargo, es de aclarar que todos éstos cambios no están directamente relacionados con una influencia primaria de actividades, puesto que la respuesta del tejido óseo frente a los estímulos es compleja y en ella influyen factores fisiológicos, biomecánicos y patológicos que pueden afectar su morfología (Jurmain, 2012)

Entre los marcadores que se hallan con más frecuencia en los restos bioarqueológicos están las enfermedades degenerativas articulares, causada por factores como la anatomía, la fisiología, la función biomecánica de las articulaciones, la edad, el estrés mecánico y la actividad física, (Rodríguez, 1998).

Se trata de una patología degenerativa no inflamatoria y crónica que afecta las áreas articulares, degenera el tejido y produce una reducción del espacio articular. Se expresa con el deterioro del tejido óseo y con la formación de hueso nuevo, se pueden observar en el hueso esponjoso y en el hueso subcondral, pero es en la margen donde se observan con mayor frecuencia la generación de hueso nuevo, deterioro que se expresa con porosidades, eburnado y desgaste del tejido óseo (Scabuzzo, 2012).

En la actualidad son identificables cuatro cambios en el tejido óseo producto de esta enfermedad: porosidades en el centro de la superficie ósea, aparición de osteofitos, desgaste y eburnación y anquilosis de la articulación (Neves, 1984).

Otro marcador que se observa con frecuencia es el de estrés músculo esquelético. Se basa en que las zonas de inserción de los músculos, tendones y ligamentos al hueso son zonas que se encuentran bajo situaciones de estrés. Su extensión y rigurosidad son proporcionales a la actividad y tamaño del músculo. Estas zonas son denominadas entesis y muestran una correlación entre estructura – función ya que las situaciones de estrés aumentan el flujo sanguíneo que a su vez estimula la actividad osteoblástica, causando una hipertrofia en las zonas de inserción y una estimulación del periostio que genera una mayor cantidad de tejido en la superficie. Todo este proceso se expresa en un hueso más robusto con mayor cantidad de tejido cortical y menor espacio medular. Los marcadores óseos músculo esquelético permiten determinar grados de sobrecarga en una actividad, como los causados por microtraumatismos repetitivos (Ruff, 2006).

El trastorno o enfermedad en el sitio de inserción en el hueso, de un músculo o ligamento se ha definido como entesopatía, (Dutour, 1998; Steen, 1998) condición que no sólo puede ser relacionada con el uso regular, sino que puede estar asociada a una condición patológica (Steen, 1998). Por lo tanto, el empleo del término entesopatía no es apropiado para describir las actividades normales que causan la remodelación del hueso a nivel de la entesis, pero sí las respuestas anómalas a los micro traumas (Freemont, 2002).

Entre los marcadores no tan frecuentes, pero si presentes en los estudios bioarqueológicos están la fractura por estrés y los desgastes dentales. La fractura por estrés puede ser relacionadas con actividades específicas en las que se fuerza la carga mecánica en una zona concreta del hueso. Inicia como una pequeña disrupción de la cortical. El proceso fisiopatológico incluye una reacción osteogénica que se traduce en una reacción perióstica (Marcha o saltos de larga distancia) (Galtes et al; 2007).

Los patrones de desgaste dental son provocados por actividades extramasticatorias como el ayudarse de los dientes para manejar materiales duros o utilizar los dientes para sostener objetos. El uso parafuncional de la boca puede ocasionar cambios importantes en la forma y el volumen del diente (Mariotti et al; 2004), son observables zonas oclusales e incisivas comprometidas selectivamente a modo de surcos y muescas definidas, también muestran una pérdida o desgaste excesivo localizado en piezas anteriores y un desgaste selectivo por actividades de ocio.

Todos estos marcadores son una útil herramienta para la caracterización de comportamientos de las poblaciones humanas, pero se debe tener muy presente que no existe una relación rotunda entre cada tipo de ocupación con marcadores definidos de actividad; aunque no sea posible una

identificación de la ocupación o actividad en concreto en todos los casos, si es posible acceder a patrones generales del uso del cuerpo. Los análisis sistemáticos de actividad han abierto la posibilidad de plantearse preguntas sobre las dinámicas sociales, económicas y culturales a nivel grupal e individual, posibilitando establecer patrones poblacionales en temas como la división de tareas, las diferentes exigencias físicas entre grupos o la determinación de algunas tareas específicas (Mendoza de Souza, 1992). Existen otros marcadores que requieren el uso de equipos de imágenes como las modificaciones en sección del hueso (Kennedy 1989).

6.4. Marcadores óseos de actividad en Suramérica y Colombia

Las investigaciones de carácter bioarqueológico en el sur del continente emergen cerca de los años 50 y 60 de la década de los noventa. En su mayoría los artículos publicados se enfocaban fundamentalmente en paleopatologías y no tenían una fuerte divulgación. Para finales de los 80, incentivados por la fundación de la Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica, surge una generación de profesionales interesados en el estudio sistemático de los restos humanos provenientes de sitios arqueológicos y posteriormente se consolidará la creación de programas universitarios de pregrado en bioantropología y posgrados en bioarqueología (Luna, Aranda, y Suby, 2014).

El interés por el estudio de la variabilidad morfológica de las entesis y articulaciones se hace más notorio en la época de los 90, donde surgen las bases para el desarrollo de diferentes, metodologías macroscópicas, cuantitativas y cualitativas bajo la premisa de que las expresiones morfológicas son un correlato de la acumulación de estrés en las articulaciones y entesis (Mazza y Fabra, 2017).

Desde entonces se han realizado estudios enfocados en temas como la división sexual del trabajo, la determinación de tareas específicas y las diversas exigencias físicas entre grupos.

En la recopilación de trabajos que elaboran Barbara Mazza y Mariana Fabra en el 2017 se discuten métodos para el análisis estadístico de marcadores óseos que puedan brindar información acerca de niveles de actividad física y sus implicaciones sociales, culturales y adaptativas. Entre estos trabajos se encuentra el de Viviana Llagostera, donde a través de la enfermedad articular degenerativa, analiza la organización social de una población jerárquica agrícola y pastoril en Chile.

Para este estudio se analizó una muestra de 49 individuos divididos en dos grupos, el primero compuesto por 31 individuos diferenciados según su contexto cultural; el segundo grupo trataba de 18 individuos pertenecientes a un contexto elite.

Luego de diferenciar a los individuos se establecen rangos de edad, estas son diversas y van de 20-30 años, 35-44 años y mayores de 25 años. Para la evaluación de la presencia de la enfermedad degenerativa articular se implementaron los criterios del manual de procedimientos y análisis osteológico de Neves, Costa y Santos (1988), en donde la presencia del marcador se categoriza de 0 a 4, siendo 0 ausencia y 4, grado extremo, este último hace referencia a una superficie articular desfigurada con signos de eburnación y anquilosis. Es de anotar que para esta investigación solo se tomaron en cuenta las articulaciones apendiculares de hombros, codos, muñecas, caderas, rodillas y tobillos.

Al tener una muestra de individuos con diferentes rangos de edad, compararon la frecuencia de la enfermedad por sexo y grupo de elite o no elite. En sus resultados se establece que no hay diferencias en el desarrollo de la enfermedad degenerativa articular entre los entierros de estatus alto y bajo, concluyendo que el estatus social no estaría relacionado con el desarrollo de la enfermedad articular degenerativa. Sin embargo, los individuos femeninos de la muestra, si estaban significativamente más afectadas que el resto de los individuos de la colección.

Con respecto al análisis de la enfermedad articular degenerativa, podemos decir que no es un indicador preciso de actividades culturalmente pautadas, pero que permite un acercamiento a la inferencia de comportamientos y posturas relacionadas con la actividad corporal. También permite deducir la calidad de vida biológica de individuos arqueológicos, esto es, cuanto más se exige a una parte del cuerpo en el desempeño de las actividades diarias, mayor la posibilidad de desarrollar esta enfermedad de origen funcional en las articulaciones involucradas (Llagostera, 2017).

Estas investigaciones nos muestran la capacidad de los MOA para proporcionar información detallada sobre las actividades cotidianas de las sociedades precolombinas, lo que podría ayudar a los arqueólogos a comprender mejor las estrategias de subsistencia, identificar patrones de actividad en diferentes grupos humanos, incluyendo diferencias entre hombres y mujeres, adultos y niños, y miembros de diferentes estratos sociales, a comprender mejor su organización social. También pueden proporcionar información valiosa sobre la salud y el bienestar de las sociedades precolombinas y el cambio a lo largo del tiempo de las sociedades que habitaron el continente en

el pasado. Mostrando así lo valiosos que son estos datos para el desarrollo y el futuro de la bioarqueología y la arqueología en Suramérica.

En particular, los estudios basados en los marcadores óseos de actividad tienen el potencial de contribuir significativamente al estudio de la arqueología laboral y a la comprensión de las tareas y actividades realizadas por las sociedades precolombinas, así como a la identificación de patrones de desgaste y lesiones relacionadas con la actividad ocupacional.

En conclusión, el estudio de los marcadores óseos de actividad es una herramienta valiosa para la arqueología y la bioarqueología de Suramérica, ya que proporciona una comprensión más completa de las sociedades precolombinas y su relación con el medio ambiente, la economía, la tecnología y la salud. La investigación continua en este campo es fundamental para avanzar en nuestra comprensión de las sociedades precolombinas de la región.

La bioarqueología en Colombia se ha desarrollado en las últimas décadas como un campo interdisciplinario que combina la arqueología, la antropología biológica y la paleontología para estudiar las sociedades humanas del pasado. Los primeros estudios se centraron en el estudio de los restos humanos y su relación con el contexto cultural y ambiental, pero con el tiempo se ha ampliado su alcance a otros campos de estudio y se han desarrollado nuevas técnicas y herramientas para el estudio de restos humanos y faunísticos.

Para el caso de Colombia el esfuerzo por el desarrollo de trabajos interesados en marcadores óseos de actividad (MOA) ha sido algo escaso debido al desconocimiento de los alcances y su metodología (Acosta, 2012). Sin embargo, varios estudios han sido llevados a cabo para analizar los marcadores óseos de actividad en contextos arqueológicos.

Uno de los estudios más relevantes fue llevado a cabo por el equipo de investigación liderado por Santiago Giraldo en el sitio arqueológico de San Agustín. En este estudio, se analizaron los marcadores óseos de actividad en restos humanos enteros y fragmentados recolectados de tumbas precolombinas. Se encontró una gran cantidad de marcadores en huesos de las manos y los pies, lo que sugiere un gran uso de estos en actividades repetitivas, como el tejido y la cerámica. Además, se encontró una gran variedad de marcadores óseos de actividad en los huesos largos, lo que sugiere una economía basada en la agricultura, la caza y la pesca.

Los resultados sugirieron que estas sociedades se dedicaban principalmente a la agricultura, pero también participaban en la caza y la pesca.

Entre los estudios realizados en el país se destaca el de Paola Niño, quien en su artículo Metodología para el registro de marcadores de estrés musculoesquelético realiza una síntesis de información sobre la estandarización metodológica del registro y análisis de los MOA. También es pertinente resaltar los análisis bioarqueológicos en el país y su esfuerzo por integrar el análisis de los MOA a su metodología, ya que estos han adquirido gran importancia para identificar patrones de actividad en poblaciones pasadas y su relación con la estratificación social y la división sexual del trabajo.

Entre estas investigaciones se destacan Rodríguez Cuenca quien estudia diversas poblaciones prehispánicas de los Andes orientales (Rodríguez, 1999), el valle del Cauca (Rodríguez, 2005, 2006, 2007) y el valle del Magdalena (Rodríguez, 2006; Rodríguez, et al. 2003), en los cuales relaciona la presencia de rasgos óseos con actividades cotidianas (Etxeberria, Campo y Rodríguez, 1997, Rodríguez, 2006, 2007, Rodríguez, et ál. 2005). Adicionalmente, se han realizado pocas tesis de pregrado y posgrado que se ocupan de establecer relaciones entre la configuración de las estructuras óseas y las actividades cotidianas (Acosta, 2010; Gómez, 1999; Rojas, 2004; Velasco, 1999).

En resumen, estos estudios han proporcionado importantes informaciones sobre las actividades económicas y sociales de las sociedades precolombinas en Colombia. Sin embargo, es importante seguir investigando y desarrollando metodologías específicas para el estudio de estos marcadores en contextos arqueológicos colombianos. Esto incluiría el desarrollo de una metodología estandarizada para la medición y clasificación de los marcadores, así como la realización de estudios experimentales para mejorar la interpretación de estas lesiones.

La aplicación y elaboración de metodologías de marcadores óseos de actividad en la bioarqueología en Colombia se ha convertido en una herramienta fundamental para comprender las prácticas y estilos de vida de las sociedades del pasado. Estas metodologías se basan en la observación y medición de las lesiones y modificaciones en los huesos, y permiten inferir información sobre la economía, la estructura social y la organización de las sociedades humanas del pasado.

Sin embargo, aún existen limitaciones en el estudio de estos marcadores, como la falta de una metodología estandarizada y la dificultad en la interpretación de estas lesiones, así como la falta de evidencias experimentales.

6.5. Metodología para el registro de marcadores óseos de actividad.

Las modificaciones en la morfología del tejido óseo están estrechamente ligadas a factores hormonales y ambientales como la nutrición, condiciones patológicas, genéticas y epigenéticas, el sexo, la edad, el tamaño corporal y muscular. las condiciones culturales son un factor que someten el hueso a presiones externas. Como respuesta adaptativa a estos factores el tejido aumenta o decrece según la cantidad de presión funcional ejercida (Pearson y Lieberman 2004).

Los marcadores óseos de actividad difieren en su expresión debido a tantas variables, Hawkey y Merbs en 1995 tratan de categorizarlos con el fin de realizar referencias estandarizadas de las expresiones morfológicas divididas en tres categorías: robustez, defectos corticales y exostosis osificadas. (Hawkey, 1998).

Para cada categoría asignaron un valor que va de 0 a 3, siendo 0= ausente y 3= fuerte. Estos valores son asignados en función del tamaño del marcador, pero en la última categoría, osificación o exostosis, se mide el tamaño que sobresale de la superficie ósea.

Robustez: reacción normal del hueso a las actividades diarias y al uso habitual del músculo. En esta categoría son observables marcas rugosas en los puntos de inserción y bordes agudos o crestas en el hueso, siendo esta última una expresión de robustez severa.

Defectos corticales (lesiones de tensión): hoyos o surcos en la corteza del hueso en los sitios de inserción muscular. Parece ser inducida por microtraumas continuos producidos por la actividad en el sitio de inserción.

Exostosis osificadas: desarrollo del hueso resultado de un macrotrauma abrupto. La formación del hueso puede incorporarse al ligamento o al tejido muscular “espuela del hueso”.

Este método tiene algunos inconvenientes, tales como no hacer una distinción entre los marcadores musculares y los del ligamento. Esto aumenta considerablemente el rango de error, ya que los músculos difieren de los ligamentos tanto en función anatómica como en su origen embrionario.

Tabla 2

Grados de presencia del marcador.

Robustez	R0	Ausencia
	R1	Leve, difícil de apreciar, pero presente
	R2	Moderada, con elevación de la zona de inserción muscular
	R3	Fuerte, aparecen rugosidades o crestas
Lesión de estrés	S0	Ausencia
	S1	Leve, menos de 1 mm de profundidad
	S2	Moderada, de 1 a 3 mm de profundidad
	S3	Fuerte, más de 3 mm de profundidad
osificación	OS0	Ausencia
	OS1	Leve, menos de 2 mm de proyección
	OS2	Moderada, entre 2 y 5 mm de proyección
	OS3	Fuerte, más de 5 mm de proyección

Nota: Adaptado de Hawkey and Merbs. (1995)

Para el año de 1998, Kennedy realiza un resumen de los trabajos presentados en el simposio #66 de la asociación americana de antropólogos físicos celebrada en el año de 1997. Aquí se presentaron nuevos enfoques metodológicos y estadísticos que tomaron como referencia la investigación de marcadores óseos específicos y grados de robustez en el tejido óseo y dental, permitiendo elaborar la siguiente tabla donde se muestra posibles actividades según el marcador óseo.

Tabla 3

Posibles actividades según el marcador óseo

ESTRUCTURA ÓSEA	MARCADOR	POSIBLES ACTIVIDADES
Clavícula	Impresión costo - clavicular	Carga de peso sobre hombros y brazos extendidos
Húmero	Tuberosidad deltoidea	Carga de peso por encima de la cabeza
Húmero	Tuberosidad del pectoral mayor	Cargas sobre la espalda
Cúbito	Cresta del supinador	Recolección de frutos

Cúbito	Borde interesóseo	Transporte de peso con brazos extendidos o flexionados
Radio	Tuberosidad bicipital	Carga de objetos pesados con brazos flexionados
Fémur	Tuberosidad glútea	Levantarse de posición sedente, subir escaleras, mantenerse de pie en condiciones inestables
Fémur	Línea áspera	Levantarse de posición sedente o canchillas, mantenerse de pie en condiciones inestables.
Rotula	Peine superior	Posición en canchillas
Calcáneo	Tendón de Aquiles	Espolón plantar. Caminar por terrenos difíciles
Columna Vertebral	Espondilitis de vértebras lumbares inferiores, compresión de discos y desarrollo de osteofitos	Flexión de la columna con inmovilidad de la pelvis y extremidades inferiores
Columna Vertebral	Cifosis predominante con escoliosis ligera y poca lordosis compensatoria	Flexión y torsión lateral
Columna Vertebral	Fractura por compresión en vértebras cervicales con luxación en cuerpos inferiores, particularmente C-6 y C-7	Hiperflexión en los cuerpos cervicales
Columna Vertebral	Osteoartritis torácica con espondilosis; incremento de los procesos articulares, escoliosis y expansión de los cuerpos	Flexión y torsión lateral de la región torácica

Nota: Adaptado de Kennedy, 1998 y Vergara 2012

Para el 2004, basado en la propuesta metodológica de Hawkey y Merbs, Mariotti et al, proponen dividir la variable de entesopatía entre lesión proliferativa (osteofítica) y lesión erosiva (osteolítica). En una nueva publicación (2007) Mariotti, expone con detalle el método de recolección de datos de la variable de robustez. Aquí plantea un total de cuatro grados, subdividiendo el grado 1 en tres categorías, con el fin de lograr una mayor flexibilidad y adaptabilidad a la experiencia del investigador.

En una nueva publicación (2007), Mariotti, expone con detalle el método de recolección de datos de la variable de robustez. Plantea un total de cuatro grados, subdividiendo el grado uno en tres categorías, esto con el fin de adquirir una mayor flexibilidad y adaptabilidad en los procesos de investigación.

Tabla 4
Grados de presencia del marcador

Mariotti et al. (2005)	Lesión osteofítica	OF0	Ausencia	
		OF1	Leve, exostosis que sobresale menos de 1mm de la superficie ósea	
		OF2	Moderada, clara exostosis de entre 1 y 4 mm	
		OF3	Fuerte, exostosis muy desarrollada, de más de 4mm. Puede ser una cresta o una zona especialmente elevada	
	Lesión osteológica	OL0	Ausencia	
		OL1	Leve, exostosis que sobresale menos de 1mm de la superficie ósea	
		OL2	Moderada, porosidad dispersa de 1mm de diámetro	
		OL3	a	Fuerte, varias pequeñas zonas de erosión de 4mm de longitud o diámetro
b			Fuerte. Honda depresión	
Mariotti et al. (2007)	Robustez	R0	Ausencia	
		R1	a	Leve, ligera robustez o un desarrollo de la zona extremadamente bajo
			b	Leve, poco desarrollado
			c	Leve, pero con un desarrollo medio
		R2	Moderada, bastante desarrollo de la zona, con elevación	
		R3	Fuerte, mucho desarrollo de la zona, con rugosidades o crestas	

Nota: Adaptado de Mariotti y 2005,2007.

Con el deseo de crear un nuevo método desde el enfoque médico, en el año de 2006, Villotti, contempla dos tipos de entesis en función de las áreas de inserción y divide en cuatro grupos los procesos de remodelación de la entesis según su similitud.

El primero de los tipos de entesis son la fibrosas (se unen a las metáfisis y diáfisis de huesos largos) y las fibrocartilaginosas (se unen a la epífisis y apófisis del tarso y metatarso, las vértebras y a los huesos largos) que están clasificados en cuatro categorías que van desde la A hasta la C, siendo A: ausencia, B: presencia leve y C: presencia fuerte (Delgado García et al. 2016).

Tabla 5
Grados de presencia del marcador.

Villote (2006)			
Grupo I	Contorno	0	Ausencia
		1	Contorno saliente irregular
		2	Entesopatía
	Ente	0	Ausencia

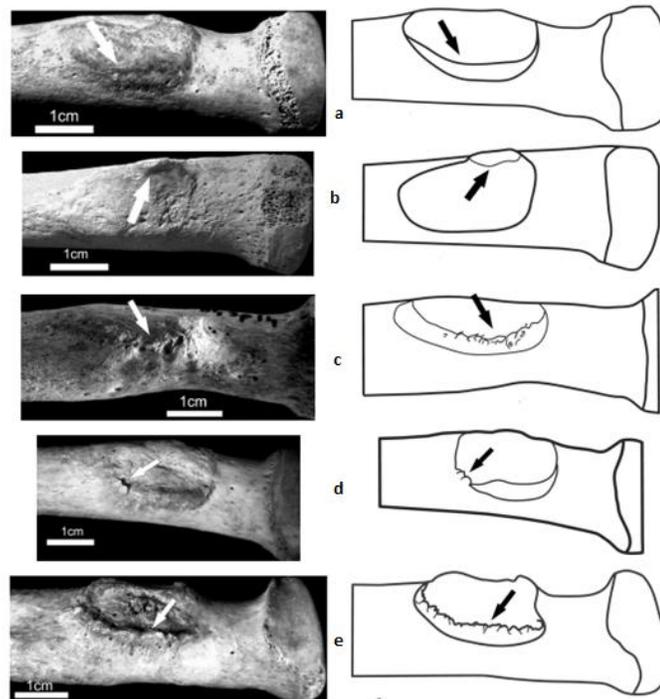
		1	a	Leve, menos de la mitad de la superficie presenta osificación		
			b	Leve, toda la superficie presenta una irregularidad ligera		
		2	Más de la mitad de la superficie de la inserción presenta modificaciones importantes			
		Grupo 2		A	Ausencia	
		B	a	Presencia en la periferia de una o varias pequeñas entesopatías separadas de menos de 2mm de longitud		
			b	Presencia en el centro de erosión. Su superficie es inferior o igual a la mitad de la superficie total de la inserción		
		C	a	Aparición en la periferia de una o varias entesopatías bien desarrolladas, con más de 2mm de longitud		
			b	Presencia en el centro de erosión. Su superficie es mayor de la mitad de la superficie total de la inserción		
Grupo 3	Inserción proximal	A	Ausencia de entesopatía o de menos de 1mm de longitud			
		B	Presencia de una o varias entesopatías de 1 a 4mm de longitud			
		C	Presencia de una o varias entesopatías de más de 4mm de longitud			
	Inserción distal	A	Ausencia de entesopatía o de menos de 1mm de longitud			
		B	a	Presencia de una o más entesopatías de 1 a 4mm de longitud		
			b	Presencia de una lámina ósea en la superficie o una cresta irregular de 1 a 4mm de longitud		
		C	a	Presencia de una o más entesopatías de más de 4mm de longitud		
			b	Presencia de una lámina ósea en la superficie o una cresta irregular de más de 4mm de longitud		
Grupo 4			A	Ausencia, superficie totalmente regular		
			B	a	Presencia de una irregularidad relativa a la mayor parte de la zona de inserción. Ausencia de producción ósea con elevación en zonas de inserción	
				b	Presencia de una laguna local de hueso cortical de una longitud inferior a 20mm	
			C	a	Presencia irregular relativa a la mayor parte de la zona de inserción. Presencia de un relieve grande o varas pequeñas que se distinguen de la zona de inserción	
				b	Presencia de una laguna local de hueso cortical de una longitud igual o superior a 20mm	

Nota: En el grupo 1 para obtener los estadios se tienen en cuenta los valores numéricos de las dos variables (contorno y centro): 0= Estadio A, 1-2= Estadio B, 3-4= Estadio C. Adaptado de Villotte, 2006.

En el primer grupo se hallan las inserciones fibrocartilaginosas apendiculares en las que su remodelación se presenta en el centro del contorno de la entesis. La remodelación del contorno suele presentarse como entesopatía, lo que dificulta su medición.

Figura 1

Entesis del grupo 1: Remodelación del contorno, ejemplo de la inserción del músculo bíceps braquial en el radio.



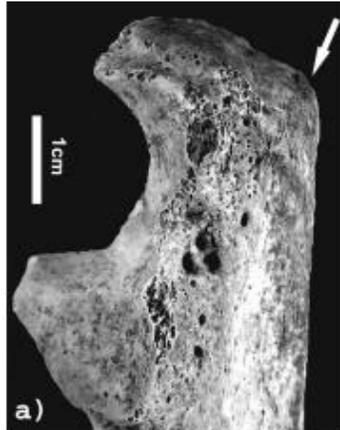
Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

El contorno de la inserción (a) que se muestra la figura 1 es regular donde el rastro de remodelación que señala la flecha no tiene modificaciones. El contorno de la inserción (b) señalado por la flecha, forma una pequeña protuberancia regular. El contorno de la inserción (c) señalado por la flecha, muestra un aspecto irregular, sin producción de hueso. El contorno de la inserción (d) señalado por la flecha, muestra la presencia de un entesofito distinto. El contorno de la inserción (e) señalado por la flecha, muestra una cresta irregular clara (Villotte, 2006).

El segundo grupo es en el que la remodelación de las inserciones fibrocartilaginosas está presente en el contorno y en el centro. Por lo general las señales de remodelación por entesopatía del contorno son más comunes y fáciles de medir que los del centro.

Figura 2

Inserción del músculo tríceps braquial sobre el cúbito.

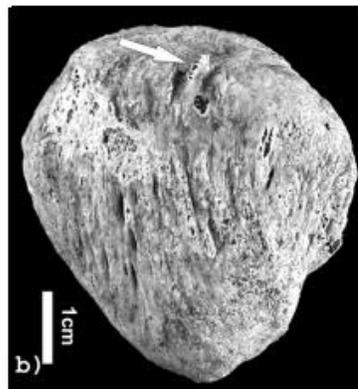


Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

La flecha que señala el contorno de la figura 2 muestra que la superficie de su inserción no presenta área de erosión, por lo que se evalúa como una categoría A.

Figura 3

Inserción del músculo cuádriceps femoral en la rótula.

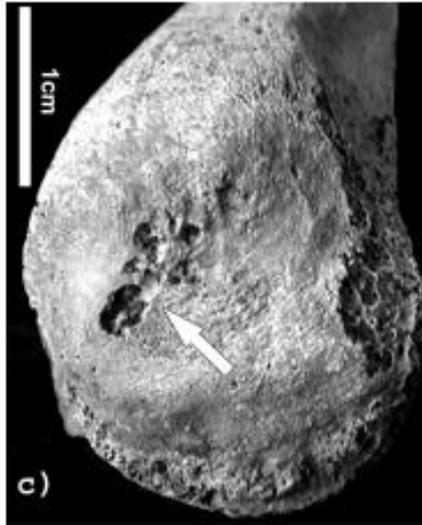


Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

En el caso de la inserción señalada en la Figura 3, el contorno muestra una sola entesis simple de 2mm. Como la superficie no muestra rastro de erosión, es asignada a la categoría B

Figura 4

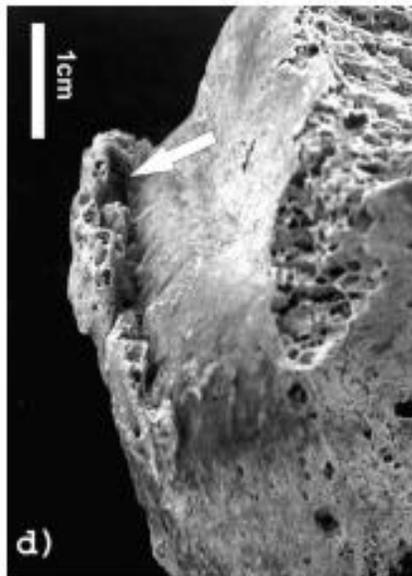
Inserción de un músculo tríceps braquial sobre el cúbito. La superficie muestra un área de erosión restringida localizada, por lo que es asignada a la categoría B.



Nota: Adaptado de Villotte, 2006

Figura 5

Inserción del músculo tríceps sural en el calcáneo.



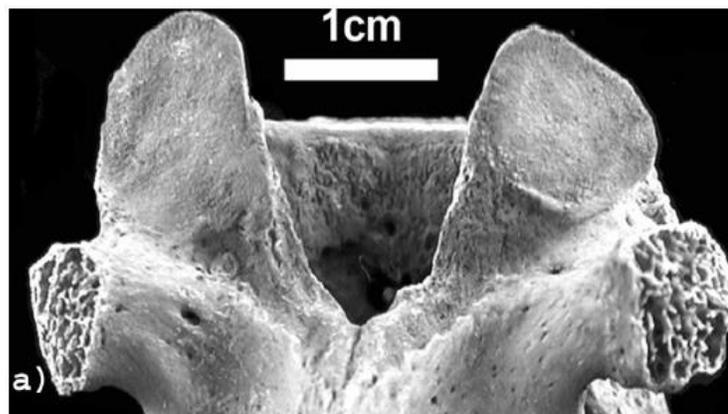
Nota: Adaptado de Villotte, 2006

El contorno de la inserción que se observa la Figura 5, muestra una amplia entesis de 2 mm y su superficie no deja ver rastros de erosión, por lo cual es evaluada dentro de la categoría C.

En el grupo tres están las inserciones fibrocartilaginosas espinales. En una vértebra el ligamento se une mediante la entesis, por lo que no es posible distinguir inserciones de la periferia o en el centro. La alteración que suele encontrarse se da por entesopatía.

Figura 6

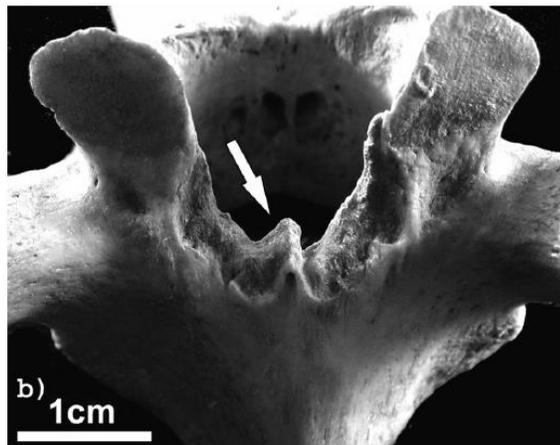
Ausencia de entesofito.



Nota: Adaptado de Villotte, 2006

Figura 7

Entesofito en la unión de las láminas.

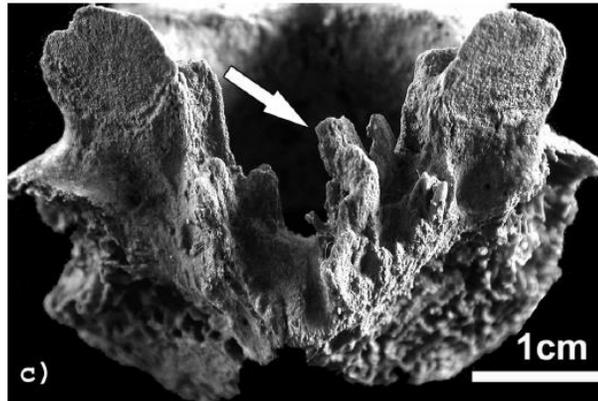


Nota: Adaptado de Villotte, 2006

La flecha en la figura 7 señala la presencia de un entesofito con una medida aproximada entre 1 mm y 4mm. Las entesis de grupo tres con esta apariencia son asignadas como una etapa o categoría B.

Figura 8

Enstesofito en lámina derecha.



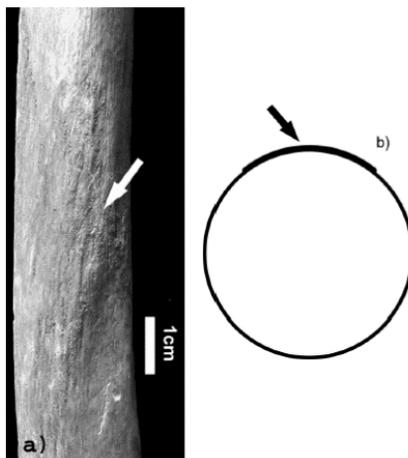
Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

La figura 8 muestra la presencia de un entesofito mayor a 4 mm a nivel de la lámina vertebral derecha. A este tipo de entesis se le asigna un grado C.

Por último, el grupo 4 cuatro presenta inserciones diafisarias consideradas como fibrosas. Su remodelación se distingue por una irregularidad creciente de la superficie ósea. En casos excepcionales se puede ver hueso cortical.

Figura 9

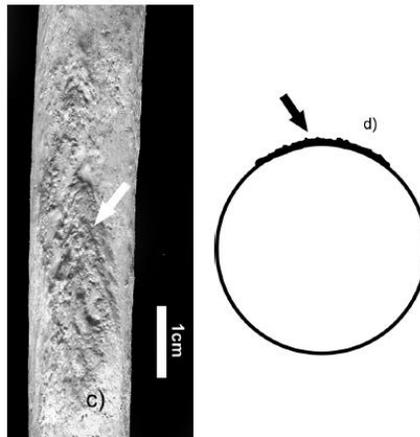
Inserción del músculo deltoides en el húmero



Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

Figura 10

Inserción del músculo pronador redondo sobre la rótula.



Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

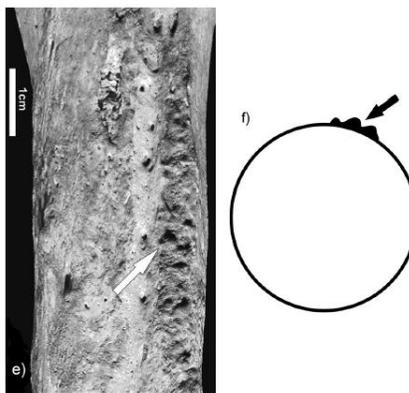
En la figura 9 se presenta un esquema de la sección transversal de la inserción, donde muestra que la superficie es en general regular, sin asperezas, protuberancias o relieves, a la cual se le asigna una categoría A.

En la sección transversal esquemática, se muestra que la superficie de la entesis es irregular, pero sin aposición, lo que hace que la inserción se levante. Para una inserción del grupo cuatro con este aspecto se asigna una categoría B.

En la figura 10, la sección esquemática transversal muestra que la superficie de esta entesis es irregular con un relieve interrumpido producido por una pequeña porción de hueso que eleva toda la inserción. A una inserción con estas características se le asigna a una categoría C.

Figura 11

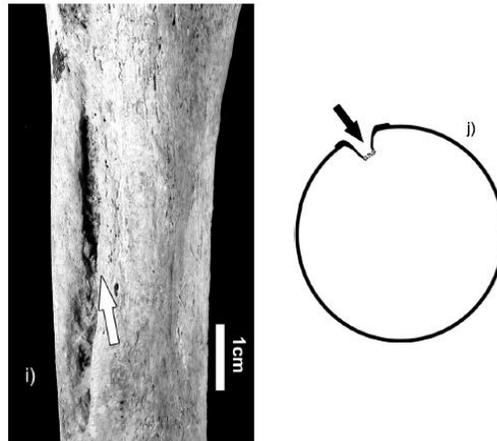
Inserción del músculo pectoral mayor sobre el húmero.



Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

Figura 12

Inserción de músculo pectoral sobre el húmero.



Nota: Adaptado de Villotte, 2006.

La figura 12 nos muestra la presencia de un defecto cortical con un tamaño menor a 2 mm, donde es observable el hueso esponjoso. A una inserción con estas características se le asigna a una categoría C. Este es un método detallado y con un índice de 10% de error interobservador. Aunque este sea un margen no muy amplio, al seleccionar este método para una investigación se debe tener en cuenta que la distinción entre entesis no es sencilla por lo que no está exenta de problemas.

La metodología que propuso Villotte resulta muy útil y efectiva a la hora de caracterizar el aspecto sano y patológico según la presencia de la capa de fibrocartílago calcificado tras la desaparición de los tejidos blandos. Es un método reproducible, rápido y fácil de aplicar ya que distingue diferentes grupos de entesis según su naturaleza y el tipo de remodelación observada

Ignasi Galtés junto con su equipo presenta una nueva clasificación en su artículo Marcadores de estrés en restos óseos (2007), donde distingue dos tipos de respuesta de hueso ante la actividad continuada.

La primera respuesta es osteogénica- osteolítica y son las que se unen a la metáfisis y diáfisis de los huesos largos. La segunda respuesta es la fibrocartilaginosa y son las que se unen a la epífisis y apófisis de los huesos largos, los huesos cortos de manos y pies y la columna.

Para una fácil aplicación del método separo en siete grupos los de marcadores óseos de actividad:

Desgaste dental:

Patrones de desgaste provocados por actividades extramasticatorias como el ayudarse de los dientes para manejar materiales duros o utilizar los dientes para sostener objetos. El uso parafuncional de la boca puede ocasionar cambios importantes en la forma y el volumen del diente.

Patrones para considerar:

- Pérdida o desgaste excesivo localizado en piezas anteriores
- Zonas oclusales e incisivas comprometidas selectivamente a modo de surcos y muescas bien definidas.
- *Desgaste selectivo por actividades de ocio.*

Figura 13

Desgaste de las caras linguales y oclusal de las piezas anteroposteriores. Presencia de un surco a nivel del tercio medio del grupo incisal y de la cara lingual del canino inferior izquierdo.



Nota: Adaptado de Galtés 2007.

Cambios articulares degenerativos:

La artrosis secundaria puede ser causada por traumatismos, infecciones, enfermedades sistémicas, articulación sometida a una sobre carga; esta última puede causar microtraumatismo cónico sobre la superficie articular sometida a la sobrecarga. Los cambios morfológicos que se pueden observar son: osteofitos en el margen articular, eburnación y aparición de fenómenos osteolíticos en la superficie de la articulación.

Cambios morfológicos de carácter funcional:

Readaptación funcional de una parte del hueso, la regeneración de epífisis, entre otros, pueden darse por cambios secundarios a la actividad como también pueden ser de caracteres epigenéticos

Figura 14

Cambios artrósicos a nivel de la articulación escápulo humeral derecha



Nota: Adaptado de Galtés 2007.

Figura 15

Faceta articular accesoria lateral a nivel de la epífisis distal de tibia izquierda.



Nota: Adaptado de Galtés 2007

Fracturas por sobrecarga:

Tipología de fractura que pueden ser relacionadas con actividades específicas en las que se fuerza la carga mecánica en una zona concreta del hueso. Inicia como una pequeña disrupción de la cortical. El proceso fisiopatológico incluye una reacción osteogénica que se traduce en una reacción perióstica (Marcha o saltos de larga distancia).

Figura 16

Fractura del “cavador”. La flecha señala la fractura de parte del proceso espinoso de la primera vértebra torácica.



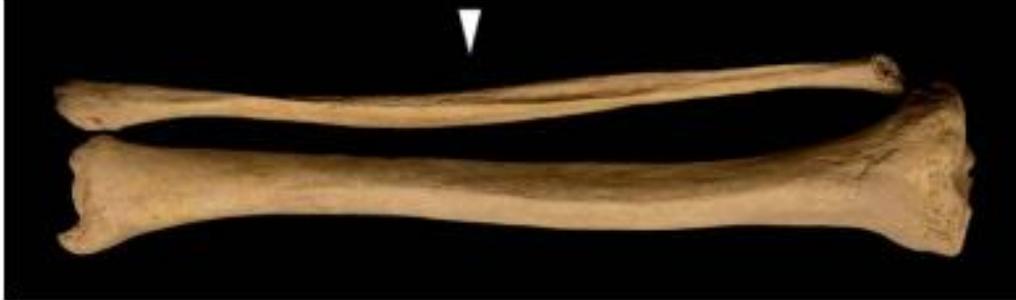
Nota: Adaptado de Galtés 2007.

Cambios en la estructura del hueso:

Cambios en la estructura funcional de huesos largos. Asimetrías por robustez ósea (ejercitación excesiva o sobre ejercitación, ya sea por entrenamiento físico o a causa de una actividad laboral repetitiva específica).

Figura 17

Deformación medial de la diáfisis del peroné. Descrito en sujetos que tenían el hábito de cruzar las piernas cuando estaban sentados.



Nota: Adaptado de Galtés 2007

Figura 18

Asimetría humeral. Mayor robustez del húmero derecho.



Nota: Adaptado de Galtés 2007.

Osificaciones y calcificaciones:

- Mitosis osificante: formación de hueso metaplástico en el tejido muscular
- Estímulos repetidos aplicados sobre el periostio puede conducir a la aparición de lesiones que lleva a la formación de osificaciones subperiósticas
- Calcificación y osificación de tendones y ligamentos fuera de las áreas de entesis. Con frecuencia implica antecedentes de microtraumatismo acumulado.

Figura 19

Miositis osificante a nivel de la bifurcación de la línea áspera del fémur izquierdo.



Nota: Adaptado de Galtés 2007.

Cambios a nivel de entesis:

Se refiere al desarrollo óseo excesivo a nivel de las inserciones musculares y ligamentosas. Este marcador permite determinar grados de robustez o sobrecarga de una actividad, como lo son los causados por microtraumatismos repetitivos. Se ha definido la entesopatía como una condición de trastorno o enfermedad en el sitio de inserción en el hueso, de un músculo o ligamento (Dutour, 1998; Steen, 1998; Mariotti, 2004; Freemont, 2002), que no sólo puede ser relacionada con el uso regular, sino que puede estar asociada a una condición patológica (Steen, 1998). Por lo tanto, el empleo del término entesopatía no es apropiado para describir las actividades normales que causan la remodelación del hueso a nivel de la entesis, pero sí las respuestas anómalas a los microtraumas.

Figura 20

Grados de robustez a nivel de una entesis de tipo tendinoso (inserción del bíceps braquial a nivel del radio). De grado 0 (G0) a grado 4 (G4) o entesopático, definido por la formación de exóstosis y/o lesiones líticas.



Nota: Adaptado de Galtés 2007.

El hecho de que el hueso humano tenga dos posibles respuestas frente a determinadas demandas dificulta la atribución de una lesión específica a una ocupación en concreto, pero la información que brindan estos marcadores permite generar hipótesis sobre determinados antecedentes de la vida de un individuo.

Otra propuesta metodológica que me parece pertinente agregar es la de Anna Myszka y Janusz Piontek publicada en el 2012 donde estudiaron un registro óseo de una población medieval en Polonia. Los autores proponen en vez de categorías cuantitativas, categorías con calificación visual.

Para su desarrollo tuvieron en cuenta factores como la ocurrencia de marcadores en los estudios de los autores que menciono en este apartado y el grado de conservación del material óseo. Así los autores presentan once tipos de marcadores y los grados que asignan de complejidad de la morfología de los sitios de inserción muscular van de G1 para ausencia, G2 para presencia leve-moderada y G3 para presencia fuerte. Solo se incluyeron los cambios en la robustez ya que los cambios como lesiones por estrés u osificaciones en los métodos de clasificación de marcadores óseos de actividad son discutibles.

Figura 21

Grados de robustez en tuberosidad bicipital- inserción del bíceps. A: G1, B: G2 y C: G3.

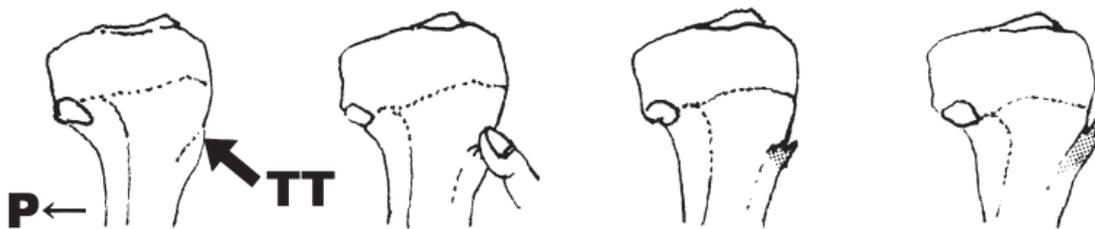


Nota: Adaptado Myszka et al 2012

Concluyendo con este inciso de metodologías quiero hacer mención del trabajo de Takigawa publicado en el 2014. Esta es una investigación que centro sus esfuerzos en examinar los cambios en relación con la edad de quince marcadores óseos de actividad, para lo cual propone cuatro fases que indican ausencia y presencia. Lo interesante de este trabajo es que, a diferencia de investigaciones anteriores, busca identificar una correlación entre los marcadores (se centra sólo en marcadores musculares, a excepción del ligamento rotuliano) y la edad, al tiempo que explora las diferencias en la expresión de los marcadores en poblaciones con economías de subsistencia diferentes (Takigawa, 2014).

Este trabajo integra ilustraciones y descripciones específicas para cada marcador, señalando la importancia de individualizar los marcadores, como un intento de reforzar la única presencia de valores observables macroscópicamente. También propone asignar valores de una décima en casos ambiguos, así se le asignaría a un marcador entre una fase u otra un valor de punto cinco, esto como una posible solución a los métodos que no plantean categorías intermedias (Delgado et al, 2016).

Figura 22
Esquema de puntuación para la tuberosidad radial



Nota: Adaptado Takigawa, 2014.

Tabla 6
Ubicación de los marcadores óseos de actividad, el músculo y los criterios correspondientes para la puntuación.

N	Elemento	Rasgos de MOA	Músculos correspondientes	Criterios de puntuación para el marcador			
				Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3
1	Húmero	Cresta de mayor tuberosidad	Pectoral mayor	Cresta normal y sin depresión	Depresión longitudinal irregular por debajo de 3 mm en el	Depresión longitudinal irregular de más de 3 mm, por debajo de 5	Depresión irregular longitudinal mayor de 5 mm a nivel

						nivel inferior de la cresta	mm en el nivel inferior de la cresta	inferior de la cresta
2	Húmero	Cresta de menor tuberosidad	Redondo mayor ancho dorsal	Cresta normal y sin depresión	Depresión longitudinal irregular por debajo de 3 mm en el nivel inferior de la cresta	Depresión longitudinal irregular de más de 3 mm, por debajo de 5 mm en el nivel inferior de la cresta	Depresión irregular longitudinal mayor de 5 mm a nivel inferior de la cresta	
3	Húmero	Tuberosidad deltoidea	Deltoides	Tuberosidad poco clara y contorno lateral es casi recto	Tuberosidad ligeramente desarrollada, pero contorno lateral apenas curvado	Tuberosidad desarrollada a contorno lateral suavemente curvado	Tuberosidad bien desarrollada y contorno lateral claramente cuadrado	
4	Radio	Tuberosidad radial	Tendón de bíceps brachii	La tuberosidad no es prominente y su contorno es plano.	La tuberosidad está ligeramente desarrollada y forma parte del contorno medial de la diáfisis.	El contorno de la tuberosidad es prominente y la superficie de la tuberosidad se inclina medialmente	Toda la tuberosidad es prominente y se inclina medialmente, el entesofito está algo formado	
5	Cubito	Olecranon	Tendón de tríceps brachii	El borde superior del olécranon es liso y sin protuberancias.	El borde superior del olécranon es liso y sin protuberancias.	La inserción del tendón del olécranon se afila ligeramente más de 3 mm, por debajo de 5 mm de altura	La inserción del tendón del olécranon está desarrollada a más de 5 mm de altura.	
6	Cubito	Cresta supinadora	supinador	El borde superior del olécranon es liso y sin protuberancias.	La inserción del tendón del olécranon se desarrolla suavemente por debajo de los 3 mm de altura	Unión tendinosa del olécranon se afila ligeramente más de 3 mm, por debajo de 5 mm de altura	La inserción del tendón del olécranon está muy desarrollada a más de 5 mm de altura.	
7	Cubito	Tuberosidad cubital	Braquial	La superficie de la línea áspera es lisa	La tuberosidad es ligeramente	La tuberosidad está	Se desarrolla toda la tuberosidad y	

				y los labios lateral y medial son lisos y se pueden distinguir	prominente por debajo de los 3 mm de altura	claramente desarrollada y forma una prominencia irregular de más de 3 mm, por debajo de los 5 mm de altura	forma algunos entesófitos
8	Fémur	Trocáncer mayor	Glúteo medio y mínimo	La superficie del trocáncer mayor es lisa y sin entesófitos	Ligeros entesófitos en la superficie del trocáncer mayor se confirman por palpación	Entesófitos claros de menos de 3 mm de longitud, en la superficie del trocáncer mayor	Entesófitos severos de más de 3 mm de longitud, en la superficie del trocáncer mayor
9	Fémur	Trocáncer menor	Iliopsoas	Superficie de menor el trocáncer es liso y sin entesófitos	Ligeros entesófitos en la superficie del trocáncer menor se confirman por palpación	Entesófitos claros por debajo de 3 mm de longitud, en la superficie del trocáncer menor	Entesófitos severos más de 3 mm de longitud, en la superficie del trocáncer menor
10	Fémur	Tuberosidad glútea	Glúteo mayor	La superficie es lisa y plana, tuberosidad poco clara	Toda la tuberosidad es ligeramente rugosa pero aún plana.	La tuberosidad es rugosa y se proyecta por debajo de 3mm de altura	Toda la tuberosidad se proyecta más de 3 mm de altura, ocasionalmente el tercer trocáncer
11	Fémur	Línea áspera; labios lateral y medial	Aductor mayor, largo y corto medial y lateral del cuádriceps femoral, cabeza corta del bíceps femoral	La superficie de la línea áspera es lisa y los labios lateral y medial son lisos y se pueden distinguir	Ambos labios se proyectan ligeramente como líneas quebradas, el labio lateral se separa del labio medial	Proyección de línea áspera por debajo de 3mm de altura, en parte un labio está cerca del otro labio	Proyección de línea áspera de más de 3mm de altura, ambos se conectan y es difícil distinguirlos
2	1 Rótula	Base rotuliana	Tendón del cuádriceps femoral	Borde superior de la base de la rótula es lisa y sin entesófitos	ligeros entesófitos en el borde superior de la base de la rótula se confirma por palpación	Entesófitos claros por debajo de 3mm de longitud, en el borde superior de la base de la rótula	Entesófitos severos de más de 3 mm de longitud, en el borde superior de la base de la rótula
3	1 Tibia	Línea soleal	Sóleo en tríceps sural	Sin línea soleal o	Línea soleal clara, pero sin prominencia.	Línea soleal clara y prominente	Línea soleal notable y prominente de

					línea quebrada, la superficie posterior de la tibia es plana		por debajo de 3 mm de altura	más de 3 mm de altura
4	1	Tibia	Tuberosidad de la tibia	Ligamento rotuliano unido a cuádriceps femoral	Borde superior de la tuberosidad es lisa y sin entesófitos	Ligeros entesófitos en el borde superior son confirmados por palpación	Entesófitos claros por debajo de 3 mm de longitud, en el borde superior	Entesófitos severos más de 3 mm de longitud, en el borde superior
15		Calcáneo	Calcáneo	Tendón calcáneo en tríceps sural	La parte posterior de la tuberosidad del calcáneo es lisa y sin entesófitos	ligeros entesófitos en la zona posterior de la tuberosidad se encuentran confirmado por palpación	Entesófitos claros menos de 3 mm de longitud, en la zona posterior de la tuberosidad	Entesófitos severos de más de 3 mm de longitud, en la zona posterior de la tuberosidad

Nota: Adaptado de Takigawa, 2014

Las anteriores metodologías fueron las pioneras en la materia y se basan principalmente en la observación, medición, valoración y clasificación.

En la actualidad se han desarrollado diversas metodologías que nos permiten estudiar con más precisión el material óseo, metodologías que se sustentan en diferentes herramientas tecnológicas. A continuación, hare mención de algunas de estas, tomando en cuenta que las últimas tres son utilizadas especialmente para el estudio de muestras del presente.

La primera de estas metodologías se refiere a la microscopía óptica, esta es una técnica utilizada para observar y analizar los marcadores óseos de actividad a nivel microscópico. A través de la microscopía óptica se pueden observar detalles de los huesos como microfracturas y zonas de remodelado, que son indicativos de actividad física. Esta técnica se utiliza para analizar huesos humanos y animales, y ha sido una herramienta valiosa en la arqueología para el estudio de los patrones de actividad en sociedades prehispánicas (Ubrero Pascal, 2008).

La segunda metodología es la microscopía electrónica de barrido (SEM), una técnica que, a diferencia de la microscopía óptica, utiliza electrones en lugar de luz para producir una imagen. La técnica es útil para analizar la estructura y composición de los huesos a nivel submicroscópico, y es especialmente útil para identificar los marcadores óseos de actividad debido a su capacidad para detectar microfracturas y otras alteraciones en la estructura ósea (Sánchez y Arias, 2015).

El análisis de micro-CT es una técnica utilizada para producir imágenes tridimensionales de huesos y otras estructuras. A través del análisis de micro-CT se puede observar la estructura interna

de los huesos y detectar las alteraciones en la densidad ósea y la microestructura, que son indicativas de actividad física. Esta técnica es especialmente útil para el estudio de los marcadores óseos de actividad en huesos que son difíciles de analizar mediante microscopía óptica o electrónica de barrido. El análisis de micro-CT también permite la medición precisa de la densidad ósea y la estructura trabecular, lo que es esencial para el estudio de la osteoporosis y otros trastornos óseos relacionados con la actividad física (Giraldo Gutiérrez, 2022).

Otro método que quiero agregar es el del análisis de la densidad mineral ósea (BMD). Este método mide la cantidad de minerales, como el calcio, presentes en el hueso. Se utiliza principalmente para detectar la osteoporosis y se puede realizar mediante una serie de técnicas, como la densitometría de absorción dual de rayos X (DXA) o la densitometría periférica de rayos X (pDXA). Uno de los principales autores en este campo es John A. Kanis, quien desarrolló un algoritmo llamado FRAX (Fracture Risk Assessment Tool) para evaluar el riesgo de fractura en pacientes con osteoporosis (Guichón y Suby, 2004).

Quisiera finalizar este apartado con dos metodologías más, la primera se trata de análisis de la micro arquitectura ósea y la segunda, el análisis de la histomorfometría ósea.

EL análisis de la microarquitectura ósea es un método que se centra en la estructura interna del hueso, utilizando técnicas como la tomografía por emisión de positrones (PET) o la microscopía óptica para examinar la trabeculación y el estado de la matriz ósea. El profesor R. R. Recker de la Universidad de Missouri es uno de los principales investigadores en este campo y ha desarrollado el método de análisis de la microarquitectura ósea basado en la técnica de microtomografía de haz cónico (CB-CT) (Giraldo Gutiérrez, 2022).

Por último, está el análisis de la histomorfometría ósea: Este método se basa en el análisis cuantitativo de las células y la estructura del hueso utilizando técnicas de microscopía. El Dr. L. J. Melton III de la Universidad de Rochester es uno de los principales investigadores en este campo y ha desarrollado un método de análisis de la histomorfometría ósea basado en el uso de anticuerpos monoclonales para medir la actividad de las células óseas (Méndez Pinzón, 2013).

Para terminar este apartado, quisiera dar un ejemplo general de los diferentes pasos que suelen incluir varias de las metodologías utilizadas en el registro y análisis de los marcadores óseos de actividad.

El primero de estos pasos es la recolección de datos: lo primero es recolectar los restos humanos necesarios para el estudio. Esto puede incluir esqueletos completos o fragmentos óseos

individuales. Estos restos pueden ser recolectados en sitios arqueológicos o en colecciones museísticas.

El segundo paso es la identificación de los marcadores de actividad: Una vez que se han recolectado los restos humanos, se buscan los marcadores óseos de actividad. Esto puede incluir cambios en la arquitectura interna y externa del hueso, como desgaste dental, cambios articulares degenerativos, fracturas por sobrecarga y cambios en la arquitectura del hueso.

Luego sigue un análisis estadístico: Una vez que se han identificado los marcadores de actividad en los restos humanos, se realiza un análisis estadístico para determinar la frecuencia y distribución de estos marcadores en diferentes grupos de individuos. Esto puede incluir la comparación de los marcadores de actividad entre diferentes sexos, edades y grupos culturales.

Interpretación de los resultados: Los resultados del análisis estadístico se interpretan para inferir las actividades diarias de las sociedades estudiadas. Por ejemplo, si se encuentran marcadores de actividad relacionados con la agricultura en un gran porcentaje de los individuos, se puede inferir que esta era una actividad importante en estas sociedades.

Se finaliza realizando una comparación con estudios previos: Los resultados de la investigación se comparan con estudios previos realizados en otros sitios arqueológicos o en sociedades contemporáneas similares para obtener una visión más amplia de las actividades diarias de las sociedades estudiadas y para evaluar la validez de las inferencias.

Es importante mencionar que esta es una metodología general y que cada estudio puede tener ligeras variaciones en función de los objetivos específicos y la disponibilidad de los recursos.

7 Discusión

A lo largo de este documento he argumentado la importancia y el valor que reside en los estudios de los marcadores óseos de actividad para la arqueología, sin embargo, hay que tener en cuenta que existen diferentes limitaciones asociadas con los métodos de análisis de los MOA.

Una de las principales limitaciones es la variabilidad individual. Los marcadores óseos de actividad pueden variar significativamente entre individuos, lo que puede dificultar la interpretación de los resultados. Por ejemplo, un individuo puede tener un alto nivel de desgaste dental debido a una dieta rica en alimentos duros, mientras que otro individuo puede tener un nivel similar de desgaste debido a su uso como una herramienta para la elaboración de canastas. Esta variabilidad individual puede dificultar la interpretación de los resultados y hacer que sea difícil inferir patrones generales.

Otra limitación es la interferencia post-mortem. Los cambios en los huesos después de la muerte pueden afectar la interpretación de los marcadores óseos de actividad. Por ejemplo, el hueso puede ser removido por animales o erosionado por el agua, lo que puede alterar los marcadores óseos de actividad. Esto puede hacer que sea difícil inferir la actividad física durante la vida del individuo.

Además, también hay una falta de estándares para medir y comparar los marcadores óseos de actividad entre estudios. Cada estudio puede utilizar diferentes técnicas y criterios para medir los marcadores óseos de actividad, lo que puede dificultar la comparación de los resultados entre estudios. Esto puede hacer que sea difícil inferir patrones generales y llegar a conclusiones precisas.

Otra limitación es la capacidad técnica para detectar y medir los marcadores óseos de actividad. La calidad y cantidad del material óseo disponible y la precisión de las técnicas utilizadas pueden limitar la capacidad de detectar y medir los marcadores óseos de actividad, esto sumado a la dificultad de identificar y seleccionar los huesos humanos relevantes y la falta de información sobre las actividades y posturas corporales de las personas del pasado.

Además, la interpretación de los resultados puede ser difícil debido a la complejidad de los análisis estadísticos necesarios.

En general, es importante tener en cuenta estas limitaciones al interpretar los resultados de los estudios ya que deben ser consideradas al inferir patrones generales y al llegar a conclusiones precisas.

También es importante combinar los resultados de los estudios de marcadores óseos de actividad con otros tipos de datos, siempre verificar la información y las conclusiones obtenidas en la investigación con fuentes confiables y actualizadas.

La elaboración de metodologías para el estudio de marcadores óseos de actividad en Colombia han tenido un lento desarrollo en las últimas décadas, generalmente, las metodologías que más se usan en el país son las que se basan en la observación y medición de las lesiones y modificaciones en los huesos y se clasifican según su forma, tamaño y distribución en el hueso, siendo las entesopatías los marcadores hallados con más frecuencia debido a que son lesiones producidas por el estrés repetitivo. La falta de una metodología estandarizada y la dificultad en la interpretación de estas lesiones, así como la falta de evidencias experimentales, se convierten en unas de las mayores limitaciones en la aplicación de los MOA en la disciplina arqueológica del país. Por lo tanto, es importante seguir investigando y desarrollando metodologías específicas para el estudio de estos marcadores en contextos arqueológicos colombianos.

Uno de los principales desafíos que tiene el país para la evaluación de estos marcadores es el acceso a una cantidad suficiente de material óseo en buen estado de conservación para llevar a cabo estos estudios. Esto incluiría el desarrollo de una metodología estandarizada para la medición y clasificación de los marcadores, así como la realización de estudios experimentales para mejorar la interpretación de estas lesiones.

Otra limitación es la falta de recursos y experiencia en esta área. Aunque algunos arqueólogos y antropólogos físicos en Colombia están comenzando a desarrollar un interés en los marcadores óseos de actividad, la mayoría de las investigaciones en esta área se llevan a cabo en otros lugares del mundo. Esto significa que los estudios de marcadores óseos de actividad en Colombia no siempre son liderados por expertos en la materia, lo que puede limitar la calidad de los resultados.

Para el avance de la arqueología del país es importante avanzar en el uso de técnicas de imágenes, como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM), estas técnicas permiten la visualización detallada de los huesos internos y la detección de lesiones y anomalías que pueden indicar el uso prolongado o intenso de un hueso en particular. El uso de técnicas de imágenes permite una mayor precisión en la identificación de huesos fragmentados y en la reconstrucción de huesos dañados.

Esto último también es un reto ya que el acceso a tecnologías avanzadas de análisis puede ser limitado.

Es claro que se requiere de una mayor inversión en recursos y en infraestructura para continuar el desarrollo de esta disciplina y poder abordar los retos actuales. A medida que se desarrollan nuevas metodologías y se mejora el acceso a muestras, se espera que estos estudios proporcionen una mejor comprensión de nuestro pasado y permitan una mejor interpretación de los hallazgos arqueológicos

Todavía hay una gran cantidad de sitios arqueológicos en Colombia que no han sido estudiados desde una perspectiva bioarqueológica, lo que representa un gran potencial para futuras investigaciones.

Otro importante factor para tener en cuenta es que la bioarqueología es una disciplina interdisciplinaria y su integración con otras disciplinas puede ser difícil, aunque necesaria, ya que significaría un gran impulso si el estudio de los MOA en el país es integrado con estudios arqueológicos, antropológicos, ecológicos y genéticos, con el fin de obtener una visión más completa de las sociedades prehistóricas. Al trabajar juntos, se puede aprovechar el conocimiento y experiencia de cada disciplina para superar los desafíos y dificultades y obtener una visión más completa de las dinámicas sociales, económicas y culturales de las sociedades prehistóricas.

Además, es importante destacar que los estudios de los marcadores óseos de actividad también son relevantes para la preservación y gestión de patrimonio arqueológico. Al conocer mejor las dinámicas sociales, económicas y culturales de las sociedades prehistóricas, es posible establecer medidas adecuadas para la conservación y protección de los sitios arqueológicos y los restos óseos. Esto es especialmente relevante en el contexto de la bioarqueología, ya que se trata de un campo en constante evolución y cambio, donde siempre se están descubriendo nuevos hallazgos y métodos de análisis.

A pesar de los desafíos y dificultades, el desarrollo continuo de las metodologías, el acceso a muestras adecuadas, la colaboración interdisciplinaria y el énfasis en la investigación permitirá una mejor comprensión de nuestro pasado y una mejor interpretación de los hallazgos arqueológicos.

Referencias

- Álvarez, C. D., y Angulo Carriere, M. T. (2010). Biomecánica del hueso. *Biomecánica del hueso. Reduca (Enfermería, Fisioterapia y Podología)*, (pp.32-48).
- Arenas, C. E. (2010). *Biología celular e histología médica. tejido óseo*. ciudad de México: universidad nacional autónoma de México.
- Baca, L., Fernandez, G., y Penzutti, V. (2001). Síndrome de POEMS, el desafío diagnóstico un caso infrecuente. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, (pp.43-48).
- Bikle, D. D. (2019). Agentes que afectan la homeostasis mineral ósea. En D. D. Bikle, *Farmacología básica y clínica, 14e*. Katzung B.G. Recuperado el 3 de 10 de 2020, de McGraw Hill; Accessed diciembre 15,2020 <https://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2553/content.aspx?bookid=2734§ionid=22819787>
- Cabrera, J. A. (2009 - 2010). Marcadores Óseos de Actividad Física en la Población Aborigen de Gáldar (Siglos XI-XV d.n.e). *Veguetta*, (pp. 101 -122).
- Cajero, J. R., Gonzalez, P., y Guede, D. (2013). Biomecánica hueso. Ensayos en diferentes niveles jerárquicos del hueso y técnicas alternativas para la determinación de la resistencia ósea. *Osteoporos Metab Miner*, (pp.99-108).
- Cano Sanchez, J., Campo Trapero, J., Sanchez Gutierrez, J. J., y Bascones Martinez, A. (2008). Mecanobiología de los huesos maxilares. II Remodelacion ósea. *revista odontostomatol*, (pp.177-186).
- Carrascosa, A., Yeste, D., y Gussinyer, M. (2009). Masa ósea en la infancia y adolescencia. En *Tratado de endocrinología pediátrica, 4e*.
- Delgado García, D., Chaves Rodríguez, C., y Barca Durán, F. J. (2016). *Marcadores musculoesqueléticos de actividad en restos óseos*. Santander: IX Jornadas de jóvenes en la investigación arqueológica.
- Fernandez, I., Hernandez Gil, T., y Alobera Gracia, M. A. (2006). Bases fisiológicas de la regeneración ósea II. El proceso de remodelado. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*.
- Freemont, A. J. (2002). Enthesopathies Mini-Symposium: Non-Neoplastic. *Pathology Current Diagnostic Pathology*, (pp.1-10).
- Galtes, Assumpció, M., Jordana, X., y Garcia, C. (2007). Marcadores de actividad en restos óseos. *Cuadernos de medicina forense*, (pp.179-189).
- Giraldo Gutiérrez, E. (2022). *Histología ósea: Métodos, técnicas y aplicaciones en antropología. Una revisión sistemática*. Medellín: Monografía presentada para optar al título de Antropólogo.
- Gomez Chang, E., Larrea, F., y Martínez Montes, F. (2012). Vías de señalización asociadas a la esteroidogénesis. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, (pp.24-36).

- Gomez-Chang, E., Larrea, F., y Martínez Montes, F. (2012). Vías de señalización asociadas a la esteroidogénesis. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, (pp.25-36).
- González Villalva, A. E., y Carrillo Mora, P. (2017). CAPÍTULO 10: Hematopoyesis. En T. I. Goes, *Histología y biología celular, 3e*. Mc Graw Hill Education.
- Guede, D. G. (2013). Biomechanics and bone (1): Basic concepts and classical mechanical trials. *revista de osteoporosis y metabolismo mineral*, (pp.43-50).
- Guede, D., Gonzáles, P., y Caeiro, J. R. (2013). Biomecánica y hueso: conceptos básicos ensayos mecánicos clásicos. *Osteoporos*, (pp.43-50).
- Guichón, R. A., y Suby, J. A. (2004). Densidad ósea y frecuencias de hallazgos en restos humanos en el Norte de Tierra del Fuego. Análisis exploratorio. *Intersecciones en Antropología*, (pp.95-104).
- Hawkey, D. y. (1998). Activity-induced Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and Subsistence Strategy Changes among Ancient Hudson Bay Eskimos. *Journal of Osteoarchaeology*, (pp.324-338).
- Inmaculada, L. -B. (1999). Marcadores de estrés musculoesquelético en los huesos largos de una población española (Wamba, Valladolid). *Biomecánica*, (pp.94 – 102).
- Kennedy, K. (1998). skeletal markers of occupational stress. En L. Wiley, *reconstruction of life from the skeleton* (pág. 129 160). Nueva york: liss Wiley.
- Luna, L., Aranda, C., y Suby, J. (2014). *Avances recientes de la bioarqueología latinoamericana*. Buenos Aires: Grupo de investigación en bioarqueología.
- Malgosa, A. (2003). Marcadores de estrés ocupacional. En A. isidro, *paleopatología: la enfermedad no escrita* (pp. 221.335). Barcelona: elsevier.
- Mandalunis, P. (2006). Remodelación ósea. *Actualiza Osteología*, (pp.16-18.)
- Mariotti, V., Facchini, F., y Belcastro, M. G. (2004). Enthesopathies – Proposal of a Standardized Scoring Method and Applications. *collegium anthropological journal*, (pp.145-159).
- Martin, R. B. (1992). Determinants of the mechanical propeties of bones. *Journal Biomech*.
- Massimo Baiancardi, c., Bona, R., y Lagos Hausheer, L. (2020). Locomoción humana: Modelos y variables biomecánicas. *Pensar en movimiento: Revista de ciencias del ejercicio y la salud*, (pp.1-30).
- Mazza, B., y Fabra, M. (2017). Introducción al dossier. Marcadores óseos de actividad. Aproximaciones y limitaciones desde los estudios bioarqueológicos. *Revista del museo de antropología. Universidad nacional de Córdoba*, (pp.119-122).
- Medrano, A. (2003). *la actividad ocupacional en la región Chinampira de Xochimilco*. México: Conaculta.
- Mejía, J. G. (2012). análisis de marcadores óseos de estrés en poblaciones del holoceno medio y tardío inicial de la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista colombiana de antropología*, (pp.143-168).

- Mejía, J. G. (2012). salud y cambio social: la bioarqueología y su potencial para interpretar el impacto biológico de la agricultura. *Boletín de antropología*, 192-214.
- Méndez Pinzón, S. (2013). *Método y técnicas histomorfológicas para estimación de la edad en humanos adultos reducidos a restos óseos en muestras de hueso maduro no descalcificado*. Medellín: Monografía de carácter recopilatorio, no experimental, para optar al título de Antropólogo.
- Mesa de trabajo sobre la desaparición forzada, d.-E.-E. (2012). *Desapariciones forzadas en Colombia en búsqueda de la justicia*. Bogotá: Códice Ltda.
- Niño, F. P. (2005). Metodología para el registro de marcadores de estrés musculoesqueléticos. *Boletín de antropología*, (pp.256- 268).
- Okumura, M. (2021). *Bioarqueología en Sudamérica: el presente que tenemos y el futuro que nos queda*. Medellín.
- Ortiz, I. C. (2017). Prevalencia de algunos marcadores de actividad física en una muestra de 20 cadáveres esqueletizados pertenecientes a hombres entre 20 y 45 años de edad. *Morfología*, (pp. 21- 45).
- Pérez, J. (2016). Hematopoyesis. En D. G. José Carlos Jaime Pérez, *Hematología. La sangre y sus enfermedades*, 4e.
- Prieto Perez, L. (2020). Fisiología del hueso. En J. A. Fernandez Tresguerres, *Fisiología humana*. Madrid: Mc graw hill.
- Prieto Rodríguez, S. (2016). Capítulo 81: Fisiología del hueso. En J. Fernández-Tresguerres, C. Ariznavarreta Ruiz, V. Cachofeiro, D. Cardinali, E. Escrich Escriche, P. Gil-Loyzaga, Tamargo Menéndez, *Fisiología humana*, 4e.
- Restrepo Giraldo, L. M., Arévalo Novoa, J., y Toro Ramos, M. (2015). Metabolismo mineral y óseo: visión general y sus métodos de medición. *Medicina y Laboratorio*, (pp. 511- 537).
- Rodríguez Lara, V., González Villalv, A., Caffagi Padilla, D., y Fortoul Van Der Goes, T. (2017). CAPÍTULO 6: Tejido conjuntivo (propriadamente dicho y especializado). En T. F. Goes, *Histología y biología celular*, 3e.
- Rodríguez, Z. L. (2000). *Manual de osteología antropologica, principios de anatomia ósea dental*. Ciudad de México: Colección científica.
- Ruff, C., Holt, B., y Trinkaus, E. (2006). Who's afraid of the big bad wolf? "Wolff's law" and bone functional adaptation. *American journal of physical anthropology*, (pp.484-498.)
- Saavedra, J., y Domínguez, A. (2014). Cartilago y hueso. En *Texto Atlas de Histología. Biología celular y tisular*, 2e.
- Sánchez, M., y Arias, A. C. (2015). Una aplicación experimental de la microscopia electrónica en la investigación arqueológica del Valle Central, Costa Rica. *Cuadernos de antropología*, (pp.109-118).

-
- Scabuzzo, C. (2012). Estudios bioarqueológicos de marcadores de estrés óseo en cazadores recolectores pampeanos del holoceno temprano- medio. análisis de la serie esquelética del arroyo seco 2. *Revista Argentina de antropología Biológica*, (pp.17-31).
- Shoback D.M., S. A. (2019). Enfermedad ósea metabólica. En y. S. Shoback D.M., *Endocrinología básica y clínica*. Greenspan.
- Takigawa, W. (2014). Age change of musculoskeletal stress markers and their inter-period comparisons. *Anthropological Science*, (pp. 7-22).
- Ubelaker, D. (1997). skeletal evidence for kneeling in prehistoric Ecuador. *American journal of physical anthropology*, (pp. 679-686).
- Ubrero Pascal, N. (2008). *Técnicas de microscopía aplicadas a las ciencias forenses*. España: Dpto. de Zoología y Antropología Física.
- Vergara, M. A. (2012). una mirada a los marcadores óseos de actividad: Aproximación al periodo temprano (340 a. C.- 440 d.C.). *Revista Colombiana de antropología*, (pp.169 – 187).
- wilzack, c., y kenneth kennedy. (1998). mostli MOS: technical aspects of identification of skeletal markers of occupational stress. En c. C. Thomas, *forensic osteology. advances in the identification of human remains* (pp.461 490).
- Zuluaga Espinosa, N. A., Alfaro Velázquez, J. M., Balthazar Gonzalez, V., Jimenez Blanco, K., y Cmpuzano Maya, G. (2011). Vitamina D: Nuevos paradigmas. *La clínica y el laboratorio*, (pp. 211-246).