

Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 3.- Estudio capilaroscópico de la microarquitectura ósea

Capillaroscopic Classification of Bone Health. Part 3.- Capillaroscopic study of bone microarchitecture

VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Ciudad de México, México

abuadili@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0009-0004-5466-1880>

Recibido: 03-Ago-2026

| Aceptado: 03-Ago-2026

| Publicado: 05-Ago-2026

*Autor de correspondencia: abuadili@yahoo.com.mx

Cómo citar este artículo: Abuadili Garza, V. A (2026). Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 3.- Estudio capilaroscópico de la microarquitectura ósea. México. *Revista IECCMEXICO*, 5(2, Tomo I) 383-400. Quality Consulting Instituto de Educación Capacitación y Certificación de México. <https://ieccmexico.com/publishing>

Copyright (c) 2026 Abuadili Garza, V. A.; Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Attribution 4.0 International ([CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)) Revista IECCMEXICO, México / Vol. 5, N. 2 / pp. 383-400/ Julio-Diciembre, 2026 / E-ISSN: 3061-8045, P-ISSN: 3061-8517. Artículo de Investigación.

RESUMEN

La evaluación de la calidad ósea tradicionalmente se ha basado en métodos de imagen que miden la densidad mineral ósea o la microarquitectura; sin embargo, se requieren herramientas no invasivas para evaluar la estructura ósea y el cambio estructural para un análisis en la vida real. **Objetivo:** Desarrollar un modelo mecanicista y una clasificación capilaroscópica operativa para la evaluación de la microarquitectura ósea utilizando capilaroscopia digital fundamentada en la metodología iterativa del Sistema ATDM. **Metodología:** Se realizó un estudio observacional, propositivo intencionado y mecanicista utilizando capilaroscopia digital en una proyección oblicua con ángulo de 45°. **Determinamos** la estructura de la densidad y el patrón capilar óseo, la integridad de los vasos corticales y la perfusión trabecular y de la médula ósea. **Resultados:** Encontramos patrones capilaroscópicos consistentes que se ajustan a la estructura ósea cortical y trabecular y establecimos una secuencia de cinco niveles de deterioro: Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo. La combinación de las tres etapas explicó la transición de una microarquitectura preservada a una pérdida severa de la organización vascular y estructural del tejido óseo y apoyó las hipótesis discutidas en el estudio observacional. **Concluimos** que la Capilaroscopia utilizando la metodología del Sistema ATDM ha sido capaz de producir una clasificación operativa de la microarquitectura ósea para la evaluación de la calidad ósea in vivo.

PALABRAS CLAVE

Capilaroscopia digital; microarquitectura ósea; calidad ósea; Sistema ATDM; hueso cortical; hueso trabecular; microcirculación; perfusión medular; metodología mecanicista; clasificación capilaroscópica.

ABSTRACT

Bone quality assessment has traditionally relied on imaging methods that measure bone mineral density or microarchitecture; however, non-invasive tools are needed to evaluate bone structure and structural changes for real-life analysis. Objective: To develop a mechanistic model and an operational capillaroscopic classification for assessing bone microarchitecture using digital capillaroscopy based on the ATDM System's iterative methodology. Methodology: An observational, purposive, and mechanistic study was conducted using digital capillaroscopy with a 45° oblique projection. We determined the density structure and bone capillary pattern, the integrity of cortical vessels, and trabecular and bone marrow perfusion. Results: We identified consistent capillaroscopic patterns corresponding to cortical and trabecular bone structures and established a five-level sequence of deterioration: Normal Pattern, Mild Deterioration, Moderate Deterioration, Severe Deterioration, and Very Severe Deterioration. The combination of these stages explained the transition from preserved microarchitecture to severe loss of vascular and structural organization in bone tissue and supported the hypotheses discussed in the observational study. We conclude that capillaroscopy using the ATDM System methodology has successfully produced an operational classification of bone microarchitecture for the *in vivo* assessment of bone quality.

KEYWORDS

Digital capillaroscopy; bone microarchitecture; bone quality; ATDM System; cortical bone; trabecular bone; microcirculation; marrow perfusion; mechanistic methodology; capillaroscopic classification.

INTRODUCCIÓN

El tejido óseo es un órgano metabólicamente dinámico que no solo es responsable de la salud estructural, sino también de mantener el equilibrio de calcio, fósforo y otros minerales en todo el cuerpo. Este equilibrio es una función del acoplamiento fisiológico entre la formación ósea impulsada por los osteoblastos y la resorción ósea (llevada a cabo por los osteoclastos), lo cual es un proceso llamado remodelación ósea.(Abuadili Garza V.A., 2026b)

La pérdida de estos mecanismos homeostáticos en el tejido óseo conduce a una disminución de la masa ósea (densidad, función) y de la microarquitectura trabecular y cortical, y con ello la mineralización ósea, lo que lleva a la osteopenia y la osteoporosis, entre otras enfermedades, y es un grave problema de salud pública, tanto en términos de su prevalencia como de las fracturas por fragilidad, para lo cual se ha usado comúnmente técnicas como la densitometría ósea, pero recientemente este autor ha propuesto a la Capilaroscopia como herramienta para determinar la densidad ósea.(Abuadili Garza V.A., 2026c)

Determinar la salud ósea en base a un estudio de densitometría no es suficiente, ya que un estudio reciente ha demostrado que la densidad no lo es todo. Artículos especializados como "¿Qué significa la calidad ósea?" de Elsevier España miden la salud ósea según propiedades fisicoquímicas, mecánicas y estructurales como la microarquitectura, la mineralización y la geometría del tejido óseo.(Mellibovsky Saidler L, Díez Pérez A., 2006)

La calidad ósea es un nuevo concepto en la medicina moderna basada en la evidencia que no solo determina la masa o densidad ósea, sino también la calidad ósea, condicionada por la geometría, la microarquitectura, la ultraestructura ósea, la homeostasis mineral y las características de la matriz proteica.(Mellibovsky Saidler L, Díez Pérez A., 2006)

Actualmente, la "Calidad Ósea" solo puede verificarse utilizando una serie de herramientas que nos permiten medir aspectos parciales y complementarios. Para ello, es necesario: histomorfometría a través de biopsia ósea marcada con tetraciclinas, marcadores bioquímicos de remodelación en sangre y orina y tomografía por emisión de positrones; para la microarquitectura, histomorfometría, resonancia magnética (RM) y microtomografía computarizada (μCT) in vivo e in vitro, entre otros, que nos permiten evaluar el hueso más allá de lo cuantitativo, y serán aplicables en la clínica muy pronto.(Donnelly E., 2011)

Uno de los componentes de estudio de la Calidad Ósea es el estudio de la microarquitectura ósea, que es uno de los principales determinantes de la resistencia mecánica del esqueleto y es uno de los impulsores clave del concepto contemporáneo de calidad ósea. A diferencia de la densidad mineral ósea (DMO), que cuantifica la cantidad de mineral presente en el tejido, la microarquitectura describe la estructura tridimensional del hueso cortical y trabecular, en términos de grosor, número, separación, conectividad y orientación espacial de las trabéculas, así como la porosidad y el grosor cortical.(Cortet B. & Marchandise X., 2001) Estas son las propiedades de los procesos de modelado y remodelado óseo en los que los osteoblastos, osteoclastos y osteocitos están en interacción sincronizada con factores mecánicos, endocrinos y metabólicos.(Carballido-Gamio J, Majumdar S., 2006)

Figura 1.- Características de la Microarquitectura ósea.

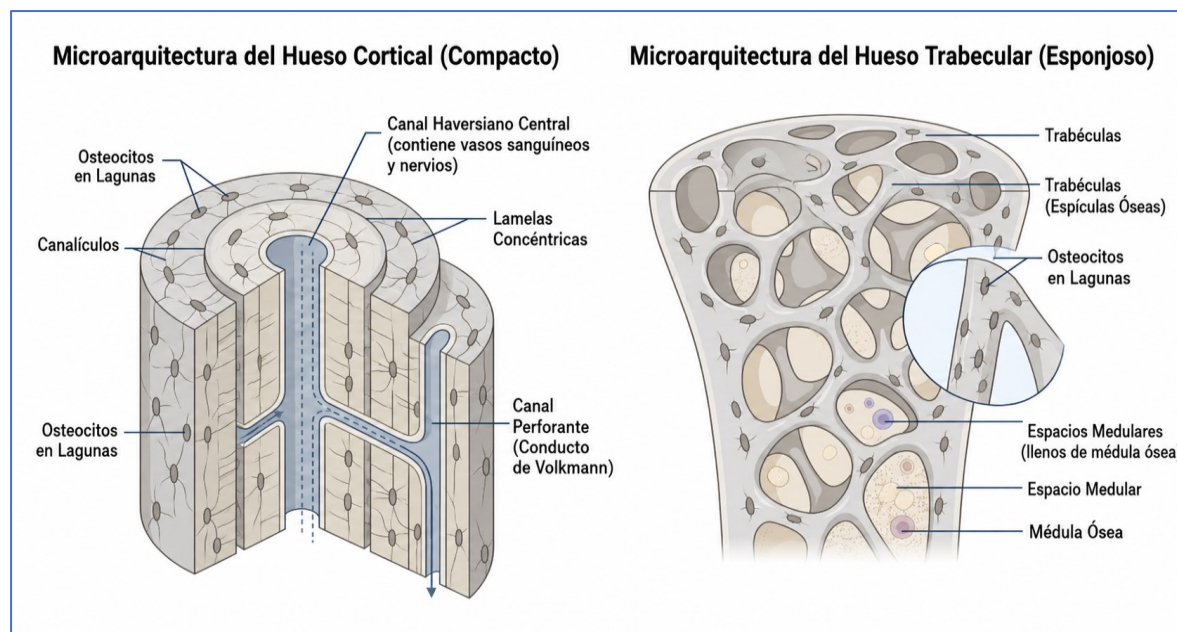


Imagen Propia.

El hueso trabecular se caracteriza por una estructura altamente anisotrópica, con las trabéculas orientadas en línea recta según las principales líneas de tensión de la ley de Wolff. Esta estructura permite una resistencia óptima con una masa ósea mínima, facilitando la absorción y redistribución de cargas mecánicas. Sin embargo, el envejecimiento, la menopausia, la inflamación crónica, los trastornos endocrinos y una variedad de trastornos metabólicos alteran gradualmente esta estructura 3D, lo que resulta en adelgazamiento trabecular, pérdida de conectividad, separación de las trabéculas y deterioro de la red estructural. (Lespessailles E., Chappard C., Bonnet N. & Benhamou C.L., 2006)

Estos cambios pueden ocurrir antes de que la densidad mineral ósea se haya reducido significativamente, y por lo tanto, muchos pacientes tienen fracturas por fragilidad con valores densitométricos dentro de rangos considerados normales u osteopénicos. La Organización Mundial de la Salud ahora reconoce que la osteoporosis está asociada con la pérdida de masa ósea y la pérdida de microarquitectura, y está asociada con el riesgo de fracturas. (Chang, G., Boone, S., e.t. A.I., 2017)

En los últimos 20 años, la microarquitectura ósea ha ganado importancia ya que es responsable de una gran proporción de la resistencia esquelética independientemente de la densidad mineral. Se estima que la DMO es responsable de solo el 60%–70% de la resistencia mecánica del hueso, y el resto de la calidad ósea está determinada por la microarquitectura, el remodelado, la mineralización y las propiedades del colágeno. (Carballido-Gamio J, Majumdar S., 2006) Como resultado, la evaluación estructural del tejido óseo ha progresado mucho en la comprensión fisiopatológica de enfermedades como la osteoporosis, la osteopenia, la osteomalacia y diversas enfermedades esqueléticas metabólicas, de modo que el riesgo de fractura y la respuesta a la terapia son mucho mejores. (Cortet B. & Marchandise X., 2001)

Los métodos utilizados para estudiar la microarquitectura incluyen la histomorfometría ósea, que ha sido considerada durante décadas el estándar de oro para el análisis microscópico del tejido óseo, y técnicas de imagen 3D de alta resolución como la microtomografía computarizada (micro-CT), la resonancia magnética de alta resolución (HR-MRI), la tomografía computarizada cuantitativa periférica de alta resolución (HR-pQCT) y la microtomografía de radiación sincrotrón. (Adams, J., 2013) Estas herramientas pueden usarse para medir el volumen óseo trabecular (BV/TV), el grosor trabecular (Tb.Th), el número trabecular (Tb.N), la separación trabecular (Tb.Sp), la conectividad y la anisotropía estructural. Sin embargo, muchas de estas técnicas están restringidas al campo experimental o requieren equipos especializados, altos costos y, en algunos casos, exposición a radiación ionizante para ser utilizadas en la evaluación dinámica del estado estructural del tejido óseo in vivo. (Wehrli, F.W., 2007)

Dadas estas limitaciones, hay un interés creciente en desarrollar técnicas de diagnóstico que puedan evaluar dinámicamente, de manera no invasiva y en tiempo real la microarquitectura ósea. (Chang, G., Boone, S., Martel, D., e.t. A.I., 2017) Los biomarcadores estructurales que están correlacionados con la organización trabecular, la integridad cortical, el remodelado tisular y el estado metabólico del hueso podrían ser un paso importante hacia la medicina preventiva y personalizada. Los nuevos métodos basados en imágenes ópticas y funcionales tienen el potencial de complementar los métodos convencionales y proporcionar información sobre la calidad ósea más allá de la densidad

mineral. La incorporación de estas herramientas en modelos fisiopatológicos y plataformas de análisis estructural podría comprender mejor los mecanismos de pérdida de resistencia ósea y apoyar estrategias diagnósticas para identificar el deterioro microestructural antes de las fracturas clínicas. (Adams, J., 2013)

Sin embargo, es por esto que este autor propone un enfoque diferente, en tiempo real, no invasivo y sin riesgo de radiación para el paciente, para determinar la "Calidad Ósea" utilizando la capilaroscopia como una herramienta capaz de identificar no solo la densidad ósea, sino también de ver, en tiempo real, la Calidad Ósea, identificando diferentes patrones de imagen. (Abuadili Garza V.A., 2026b).

DESARROLLO

La capilaroscopia digital presenta una tecnología novedosa que es elegible para complementar el examen convencional del tejido óseo al lograr una evaluación en vivo y en tiempo real de las características de la microcirculación periférica que no requiere procedimientos invasivos ni exposición a radiación ionizante. (Abuadili Garza V.A. 2026b)

La estrecha conexión fisiológica de la perfusión microvascular (Smith, V., Ickinger, C., Hysa, E., Snow, M., Frech, T., Sulli, A., & Cutolo, M., 2023) con la remodelación ósea indica además que los cambios en la arquitectura capilar y los patrones de bioreflectancia del tejido podrían servir como biomarcadores funcionales de alteraciones en la densidad ósea antes de que sean detectables por técnicas estructurales tradicionales. (Abuadili Garza V.A. 2026b)

En términos de Capilaroscopia, la Calidad ósea se describe como un conjunto de patrones que identifican una perfusión tisular adecuada, mediante una bioreflectancia uniforme, que deberá estar en consonancia con la incorporación adecuada de minerales y la ausencia de patrones degenerativos debido a la desmineralización progresiva.

En ese orden de ideas, para hacer un adecuado diagnóstico de la Calidad Ósea, mediante la Capilaroscopia, en la Figura 1 establecemos los 4 patrones capilaroscópicos que se deben de evaluar:

Figura 1: Patrones capilaroscópicos a evaluar en la Calidad Ósea.

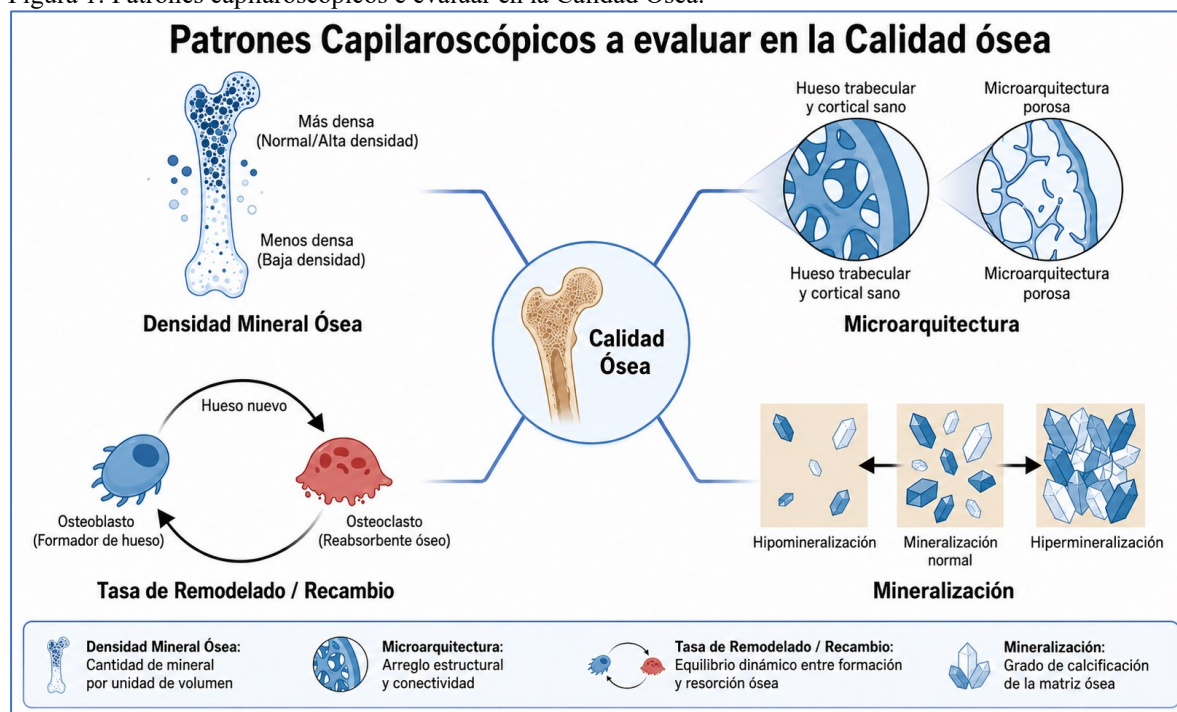


Figura propia

En este artículo corresponde hacer el estudio del segundo patrón corresponde a la disposición de la microarquitectura trabecular y cortical. Con la inspección visual, se podían identificar patrones compatibles con una red trabecular ordenada y continua en los pacientes con mejor calidad ósea, mientras que en etapas posteriores se observaban modificaciones compatibles con una disminución de la conectividad trabecular, adelgazamiento cortical y aumento de los espacios intertrabeculares. (Bouxsein, M. L., 2003)

Estas modificaciones se asociaban con una mayor heterogeneidad en la distribución de la bioreflectancia, indicando el remodelado continuo del microambiente tisular. La pérdida de microarquitectura es uno de los factores más fundamentales que influyen en el riesgo de fractura, independientemente de la densidad mineral ósea. (Seeman, E., & Delmas, P. D., 2006)

Este estudio reveló una progresión de perfiles ópticos compatibles con la degradación estructural que describió el HR-pQCT, indicando que la capilaroscopia puede ofrecer información funcional sobre el estado del tejido óseo. Sin embargo, necesita ser validada en estudios comparativos con técnicas de imagen tridimensionales. (Sims, N. A., & Martin, T. J., 2010)

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

General.

Desarrollar una clasificación capilaroscópica operativa de los cambios en la microarquitectura ósea mediante un estudio observacional, proposicional y mecanicista basado en capilaroscopia digital con proyección oblicua a 45°, permitiendo en vivo, en tiempo real y sin procedimientos invasivos la identificación de patrones correspondientes a la densidad ósea y el patrón capilar, la integridad de los vasos corticales, y la perfusión trabecular y de la médula ósea como componentes de la medida de la calidad ósea.

Específicos.

- Describir la técnica de capilaroscopia digital en una proyección oblicua de 45° para el análisis de la microarquitectura ósea y delinear el procedimiento de foto-visualización y la forma de usar la imagen para interpretarla. Identificar y describir los patrones capilaroscópicos de la densidad y el patrón capilar del tejido óseo, que se definen por su organización, distribución y continuidad vascular.
- Describir la morfología de los vasos corticales mediante capilaroscopia y analizar su continuidad, estructura y organización como un signo de la arquitectura ósea compacta.
- Comprender la perfusión del hueso trabecular y los espacios medulares identificando patrones de irrigación que sean compatibles con el metabolismo del tejido óseo.
- Modelar la microcirculación observada en la capilaroscopia a los procesos fisiológicos de remodelación, mantenimiento y el deterioro gradual de la microarquitectura ósea.
- Proponer una clasificación capilaroscópica integrada de cinco niveles de deterioro progresivo de la microarquitectura ósea (Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo) basada en la evaluación conjunta de los tres componentes estructurales del estudio.
- Desarrollar la base conceptual para usar la clasificación propuesta como una herramienta complementaria para la evaluación de la calidad ósea a través de la capilaroscopia digital.

Hipótesis General

La evaluación capilaroscópica con proyección oblicua a 45° permite identificar patrones microvasculares compatibles con la organización de la microarquitectura ósea. Así, la evaluación combinada de la densidad y el patrón capilar, los vasos corticales y la perfusión trabecular y de la médula ósea permite identificar una clasificación operativa del deterioro progresivo de la calidad ósea.

Hipótesis Específicas

1. Existe una relación directa entre la densidad y la organización de la red capilar observada por capilaroscopia y el grado de preservación de la microarquitectura ósea.
2. La continuidad estructural de los vasos corticales identificados por capilaroscopia disminuye con el deterioro de la microarquitectura ósea cortical.
3. La perfusión de los espacios trabeculares y medulares disminuye gradualmente a medida que cambia la microarquitectura ósea, reflejando una pérdida de viabilidad metabólica del tejido.
4. La combinación de las tres partes capilaroscópicas permite categorías de deterioro progresivo que pueden utilizarse para evaluar la calidad estructural del hueso.

Hipótesis Nula (H0)

No existe asociación entre los patrones capilaroscópicos de densidad vascular, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular con el estado de la microarquitectura ósea, por lo que estos componentes no permiten el desarrollo de una clasificación útil para la evaluación de la calidad ósea.

OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio lo constituye la evaluación de la microarquitectura ósea mediante el análisis de los tres componentes capilaroscópicos: densidad y patrón capilar, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular y medular, a partir de imágenes obtenidas de la plataforma *big data* del Sistema ATDM. Su finalidad es desarrollar un modelo mecanicista que integre estos hallazgos con la fisiopatología del deterioro óseo, para proponer una clasificación operativa que sirva como herramienta complementaria en el diagnóstico *in vivo* y en tiempo real de la calidad ósea. (Marenzana, M. & Arnett, T., 2013; Cardoso, L. et al., 2013)

METODOLOGÍA

Se diseñó un estudio observacional, propositivo intencionado y mecanicista para describir patrones capilaroscópicos compatibles con la microarquitectura ósea normal y sus grados de deterioro, y proponer una clasificación operativa.

1. Diseño y tipo de estudio: El estudio se estructuró en dos fases integradas: una fase observacional, consistente en la recopilación y análisis descriptivo de imágenes capilaroscópicas de la plataforma *big data* del Sistema ATDM (Abuadili Garza, V.A.; Sánchez Olivera, F. & Escalante Mendoza, D., 2026); y una fase propositiva y mecanicista, orientada a establecer la relación fisiopatológica entre los hallazgos microvasculares y la estructura ósea, para desarrollar una clasificación diagnóstica.

2. Selección de la muestra: Muestra intencionada, no probabilística, basada en la disponibilidad y calidad técnica de imágenes. Se incluyeron registros de adultos (≥ 18 años) con imágenes en proyección oblicua a 45° y calidad adecuada. Se excluyeron imágenes con artefactos o lesiones locales que interfirieran, y se eliminaron registros incompletos o que no cumplieran con los criterios mínimos de análisis.

3. Procedimiento de evaluación capilaroscópica: La adquisición de imágenes se realizó con capilaroscopia digital de alta resolución y bioreflectancia multispectral en proyección oblicua a 45° (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026), con parámetros estandarizados de iluminación, enfoque y aumento.

4. Análisis de imágenes: Se efectuó un análisis morfológico y comparativo para identificar patrones en los tres componentes predefinidos: densidad y patrón capilar, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular y medular. La interpretación se realizó de manera descriptiva y objetiva, categorizando los hallazgos según su grado de preservación o deterioro.

5. Desarrollo del modelo mecanicista y clasificación: Se integró la evidencia científica sobre vascularización, remodelación ósea y homeostasis tisular con los hallazgos capilaroscópicos, para establecer un modelo explicativo. Con base en este, se desarrolló una clasificación capilaroscópica de cinco niveles de deterioro progresivo (Patrón Normal, Deterioro Leve, Moderado, Severo y Muy Severo).

6. Aspectos éticos: El estudio se basó en el análisis de imágenes de una base de datos anonimizada, respetando la confidencialidad de los participantes y los principios de la Declaración de Helsinki, con consentimiento informado para la realización de la capilaroscopia.

FASES DEL DESARROLLO

Se diseñó un estudio observacional, intencionado y mecanicista para describir patrones capilaroscópicos compatibles con la microarquitectura ósea normal y sus diversos grados de deterioro, y proponer una clasificación capilaroscópica operativa de alteraciones microarquitectónicas óseas para comprender la calidad ósea *in vivo*. La parte observacional consistió en recopilar y analizar imágenes capilaroscópicas utilizando un método estándar de adquisición; la parte mecanicista fue establecer la fisiopatología de los hallazgos microvasculares y el proceso estructural del tejido óseo en términos de la literatura científica y para desarrollar una clasificación diagnóstica basada en patrones capilaroscópicos para ser utilizada en el diagnóstico de la calidad ósea.

Técnica de adquisición de imágenes

Las imágenes se obtuvieron desde la plataforma *big data* del Sistema ATDM, (Abuadili Garza, V.A.; Sánchez Olivera, F. & Escalante Mendoza, D., 2026) de las 6711 valoraciones metabólicas reportadas en dicha plataforma, para lo cual se seleccionaron aquellas imágenes de observación del tejido óseo utilizando una técnica de proyección oblicua de 45° que aumenta el campo óptico de observación de estructuras subepiteliales y puede identificar simultáneamente la organización microvascular, la continuidad de los canales vasculares corticales y patrones ópticos compatibles con hueso cortical, hueso trabecular y espacios medulares. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A. 2026)

Las imágenes se adquirieron bajo una configuración estandarizada de iluminación, enfoque y aumento para reducir artefactos de movimiento y mantener la misma orientación del eje óptico con respecto al tejido. Las imágenes se

interpretaron utilizando la metodología de capilaroscopia empleada en el análisis estructural y funcional de la microcirculación y adaptada al estudio de la microarquitectura ósea.

Desarrollo del modelo mecanicista.

Desarrollamos un modelo mecanicista para explicar el vínculo entre la organización de la microcirculación y la preservación de la microarquitectura ósea. Para este propósito, la información disponible sobre vascularización cortical, perfusión trabecular, remodelación ósea, mecanotransducción de osteocitos y homeostasis tisular se integró con los hallazgos capilaroscópicos.

Como los parámetros fisiopatológicos del grado de preservación o degradación de la microarquitectura ósea, establecimos tres puntos de control estructurales:

- 1) densidad y patrón capilar óseo,
- 2) la integridad de los vasos corticales, y
- 3) perfusión trabecular y de la médula ósea.

Análisis de imágenes

Las imágenes se analizaron con un análisis morfológico y comparativo de los tres componentes en cuestión. Para cada imagen, se identificaron la densidad y distribución de la red capilar, la continuidad de los canales vasculares corticales, la organización del tejido cortical, la conectividad aparente de la estructura trabecular y el patrón de perfusión de los espacios medulares.

Los resultados se analizaron de manera descriptiva para identificar patrones repetitivos adecuados para diferentes tipos de cambios estructurales. La interpretación de las imágenes se realizó considerando la fisiopatología de un deterioro gradual de la calidad ósea y dejando las conclusiones diagnósticas individuales de lado, describiendo los patrones en la imagen de manera objetiva.

Desarrollo de la clasificación capilaroscópica (aspecto intencionado)

Para el propósito de nuestro estudio, hemos desarrollado una clasificación capilaroscópica de los cambios en la microarquitectura ósea basada en nuestras observaciones y modelo mecanicista.

La clasificación consta de cinco etapas: Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo, que son los cambios en el volumen del tejido capilar en el sitio y la calidad de los vasos corticales y la perfusión trabecular y medular. Cada tipo de la clasificación representa el aumento en el deterioro estructural y funcional del tejido óseo y es una forma de establecer una clasificación de la calidad ósea en la capilaroscopia digital.

Informe de resultados

Para facilitar la interpretación sistemática de los hallazgos, el informe de resultados se organizó en tres partes complementarias:

- a) Describir la técnica de capilaroscopia, el procedimiento de adquisición de imágenes de proyección oblicua de 45°, las condiciones de observación y los fundamentos ópticos utilizados para identificar componentes de la microarquitectura ósea.
- b) Descripción de las imágenes capilaroscópicas, donde se presentan e interpretan los hallazgos observados en términos de densidad y patrón capilar, preservación de los vasos corticales y perfusión trabecular y medular, y se relacionan con la organización anatómica y funcional del tejido óseo.
- c) Clasificación capilaroscópica de los cambios en la microarquitectura ósea para medir la calidad ósea. Esto es lo que hacemos con el propósito del estudio, proponer cinco niveles de deterioro progresivo con los tres componentes capilaroscópicos y crear un sistema para medir la calidad ósea in vivo sin necesidad de intervención quirúrgica o radiación ionizante.

Criterios de Inclusión

- Individuos adultos de ambos sexos (≥ 18 años). Sujetos que den su consentimiento informado para la realización de capilaroscopia.
- Aquellos con condiciones clínicas para las cuales se puedan tomar imágenes capilaroscópicas de calidad suficiente para el análisis.

- Individuos con y sin antecedentes de enfermedad osteometabólica y para los cuales existe una amplia gama de patrones de microarquitectura ósea.
- Sujetos que estén disponibles para completar el procedimiento de evaluación capilaroscópica según el procedimiento.
- Imágenes obtenidas del protocolo estandarizado de capilaroscopia digital en proyección oblicua a 45° con buena resolución, enfoque y calidad técnica.

Criterios de Exclusión.

- Personas que no expresen su consentimiento. Imágenes con grandes artefactos debido a movimiento, desenfoque, iluminación inadecuada o baja resolución, que no permiten una interpretación confiable.
- Posibles lesiones cutáneas, infecciones, heridas abiertas o cambios locales que interfieran con las imágenes capilaroscópicas.
- Sujetos con procedimientos quirúrgicos recientes o traumatismos en el área de estudio que puedan provocar cambios en la microcirculación local temporalmente.
- Si el protocolo no puede obtener la proyección oblicua estandarizada de 45° y no se cumplen los parámetros técnicos.

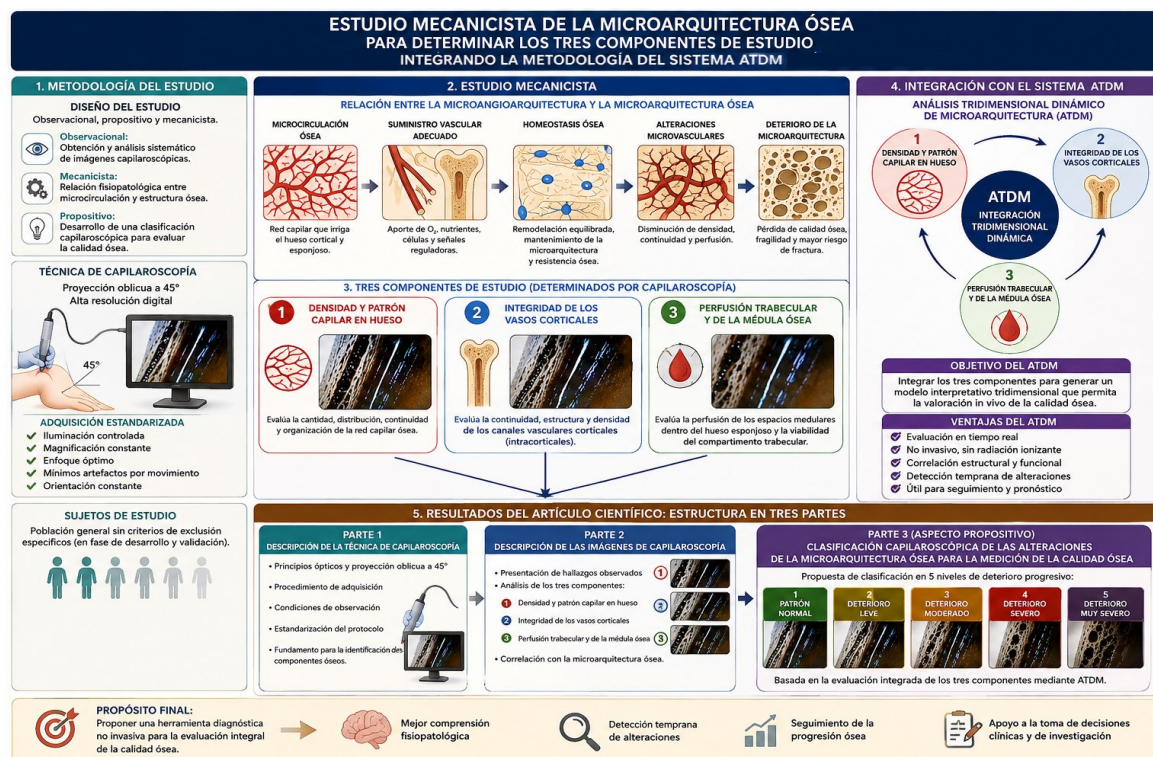
Criterios de Eliminación.

- Participantes que soliciten retirarse del estudio antes de que se haya completado la adquisición de imágenes.
- Estudios capilaroscópicos incompletos o pérdida de información durante el procesamiento de las imágenes.
- Las imágenes que, tras la evaluación de calidad, no cumplan con los criterios mínimos para los tres componentes del estudio (densidad y patrón capilar, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular y medular).
- Registros con inconsistencias metodológicas que impidan su clasificación en la propuesta capilaroscópica desarrollada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para reportar los resultados del presente estudio Capilaroscópico de la microarquitectura ósea, tal y como lo describimos en la metodología, se desarrolló primeramente un estudio observacional a la imagenología de las pruebas de Capilaroscopia realizadas a 6711 personas en México, Estados Unidos, Puerto Rico, República Dominicana, Colombia y Guatemala, identificando aquellas imágenes de la Valoración Metabólica relacionadas con el hueso, lo que nos permitió integrar un estudio mecanicista sobre la arquitectura ósea, mismo que resumimos en la Figura 2.

Figura 2.- Estudio mecanicista de la Capilaroscopia mediante la metodología iterativa del Sistema ATDM, para el diagnóstico de la Microarquitectura ósea.



Derivado de este estudio, ahora procedemos a describir los resultados en tres partes a saber:

1.- DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA DE CAPILAROSCOPIA:

Para poder realizar la visualización de la microarquitectura ósea, es necesario aplicar una técnica especial de Capilaroscopia mediante una proyección oblicua a 45°, la cual puede ser con o sin proyección de lente multispectral patrón multispectral, (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026) que en la Figura 3, describimos a continuación:

Figura 3.- Descripción de la técnica y componentes a estudiar de la microarquitectura ósea.

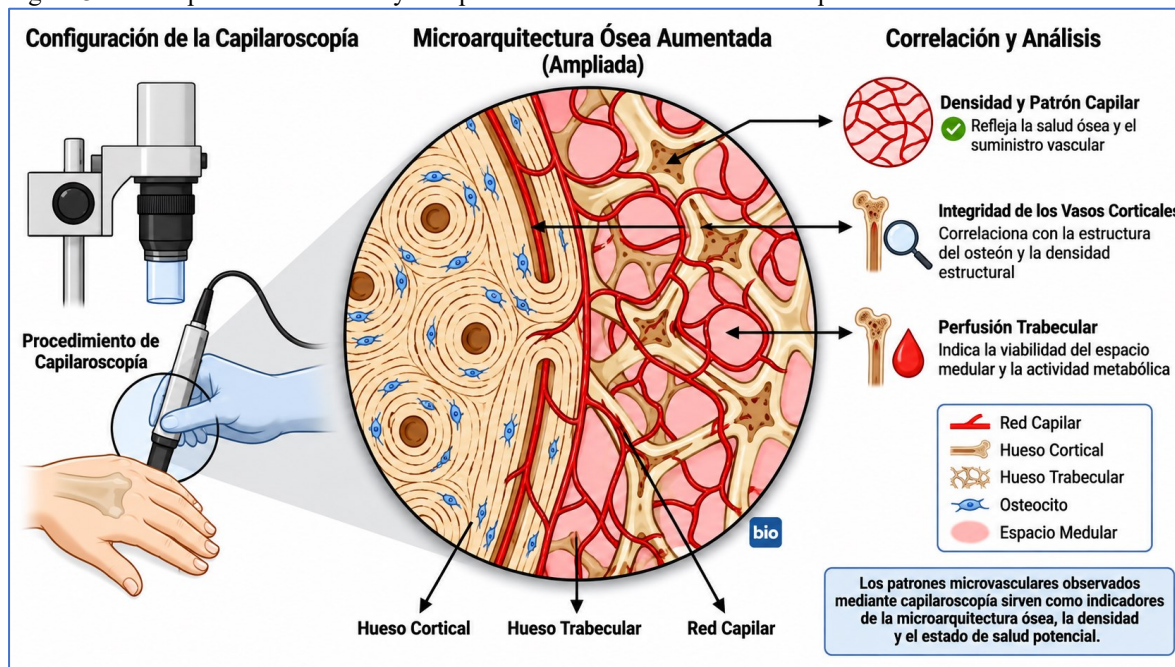


Imagen Propia.

La evaluación capilaroscópica en **proyección oblicua a 45°** se realizó mediante un sistema de Capilaroscopia digital de alta resolución, orientando el eje óptico con una inclinación aproximada de 45° respecto al plano del tejido, y con bioreflectancia multiespectral, con el propósito de ampliar el campo de observación hacia estructuras subepiteliales y optimizar la visualización simultánea de la red microvascular y de los patrones tisulares profundos.

Esta proyección permite obtener una representación óptica que facilita la correlación entre la densidad y organización de los capilares, la integridad estructural del tejido cortical, la distribución del entramado trabecular y la perfusión de los espacios medulares, integrando dichos hallazgos como biomarcadores indirectos de la microarquitectura ósea. De acuerdo con la metodología descrita en el trabajo de referencia, el análisis se efectuó mediante la interpretación sistemática de patrones morfológicos, de perfusión y de organización vascular, estableciendo una correlación entre las características microvasculares observadas y el estado funcional del tejido óseo, lo que permite generar una valoración estructural **in vivo**, en tiempo real, sin exposición a radiación ionizante y potencialmente útil para la identificación temprana de alteraciones de la calidad ósea.

Figura 4.- Imagen capilaroscópica de la microarquitectura ósea, donde se observan las estructuras trabecular y cortical.



Imagen obtenida de la Plataforma Big Data del Sistema ATDM.

2.- DESCRIPCIÓN DE LAS IMÁGENES DE CAPILAROSCOPIA:

En ese orden de ideas, en la Figura 4 hacemos la identificación de los tres componentes capilaroscópicos para evaluar la microarquitectura ósea:

- 1.- Identificación de la densidad y patrón capilar en hueso,
- 2.- Identificación de la integridad de los vasos corticales,
- 3.- Perfusión trabecular y de la médula ósea.

Figura 4.- Identificación de los componentes de la Evaluación Capilaroscópica de la Microarquitectura Ósea.

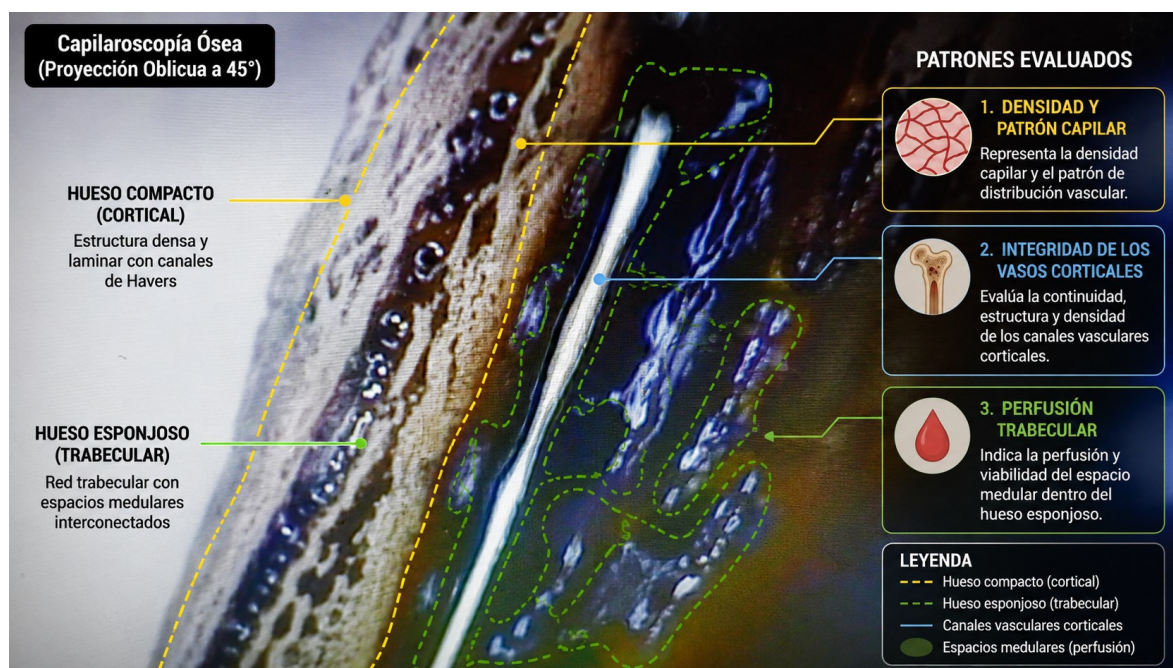


Imagen propia, adaptada de la Figura 3.

Ahora bien, respecto de estos tres componentes, establecemos los siguientes considerandos:

1.- Respecto a la identificación del patrón y densidad capilar en el hueso:

El análisis Capilaroscópico de la densidad y el patrón capilar reveló la organización espacial de la microcirculación de la microarquitectura ósea. Basado en una proyección oblicua a 45°, la red vascular era uniforme en las áreas compatibles con el hueso cortical intacto, mientras que las regiones de hueso trabecular mostraban una ramificación y complejidad más extensas en las imágenes capilaroscópicas (el tejido esponjoso tiene altas demandas metabólicas). (Marenzana, M., Arnett, T., 2013) Los vasos eran consistentes, densos, y la orientación de los vasos era un indicador indirecto de la estructura del tejido óseo y el suministro de sangre, por lo tanto, la arquitectura vascular y la calidad de la microarquitectura ósea estaban relacionadas de manera funcional. Estos resultados son consistentes con el hecho de que la vascularización es una parte esencial del mantenimiento, remodelación y reparación del tejido óseo. (Chappard, D., Baslé, M. F., Legrand, E., & Audran, M., 2008)

2.- Respecto de la integridad de los vasos corticales:

La integridad de los vasos corticales nos permitió identificar la continuidad y organización de los canales vasculares que atraviesan el hueso compacto y que son lineales y continuos, lo que indica una buena preservación de la microestructura cortical. El mapeo óptico de los canales y su interacción con el tejido laminar circundante es una indicación indirecta de la organización del sistema osteonal y la porosidad cortical, que está estrechamente relacionada con la resistencia mecánica y el remodelado óseo. (Williams KA, Gostling NJ, Steer JW, Oreffo ROC, Schneider P., 2020) La continuidad vascular en las imágenes indica hasta qué punto se mantiene la circulación endostal y periostal y el oxígeno, los nutrientes y las señales regulatorias pueden fluir a través del hueso para mantener la homeostasis del tejido. (Cooper DM, Kawalilak CE, Harrison K, Johnston BD, Johnston JD., 2016) Estos resultados son consistentes con estudios que sugieren la importancia de medir los canales vasculares corticales como biomarcadores de la microarquitectura intracortical y la calidad ósea y la importancia de los vasos corticales en el diagnóstico de la calidad ósea en términos de su capacidad para comunicarse con la membrana celular. (Marenzana, M., Arnett, T., 2013)

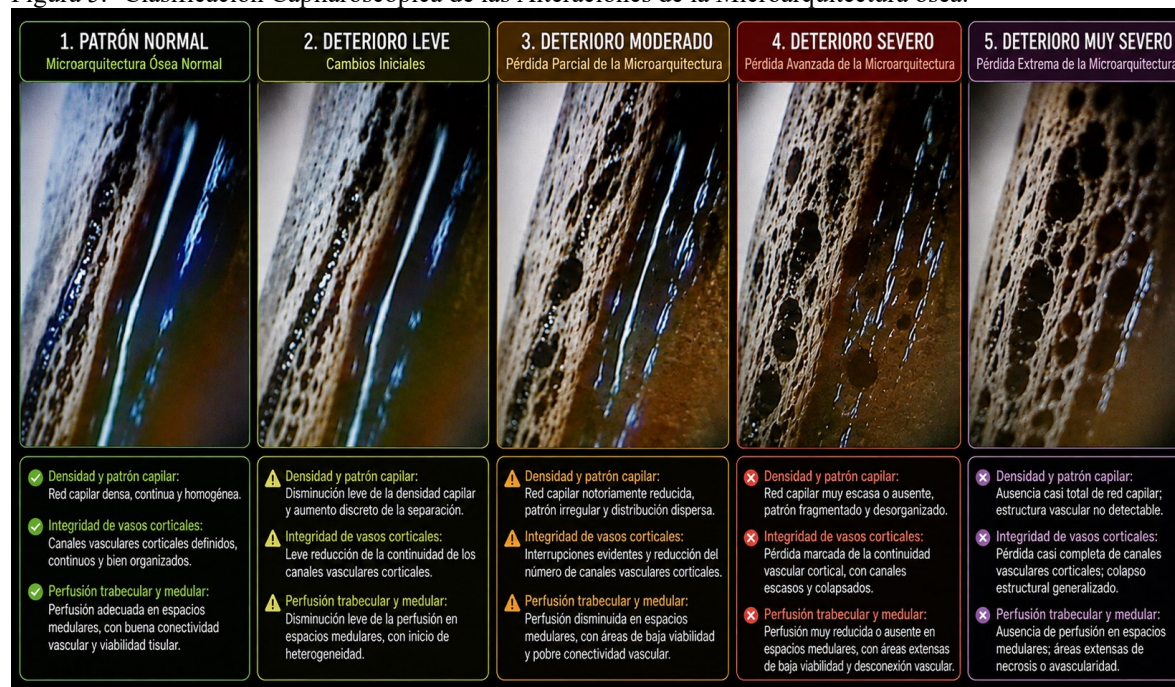
3.- Respecto de la Perfusión Trabecular:

La perfusión trabecular y la médula ósea mostraron un patrón vascular distribuido entre los espacios medulares definidos por la red trabecular, con suficiente irrigación del compartimento esponjoso. La perfusión homogénea en los espacios medulares se interpretó como un signo indirecto de viabilidad metabólica e intercambio eficiente de médula ósea y tejido trabecular, que son componentes clave para la remodelación ósea y la actividad osteoblástica y osteoclástica. La organización exhibida en la imagen refleja la estrecha relación entre la red vascular, la médula ósea y las trabéculas, cuya integridad ayuda a mantener la homeostasis tisular y la adaptación biomecánica de los huesos. (Dyke JP, Aaron RK., 2010)

3.- CLASIFICACIÓN CAPILAROSCÓPICA DE LAS ALTERACIONES DE LA MICROARQUITECTURA ÓSEA PARA EL DIAGNÓSTICO DE CALIDAD ÓSEA:

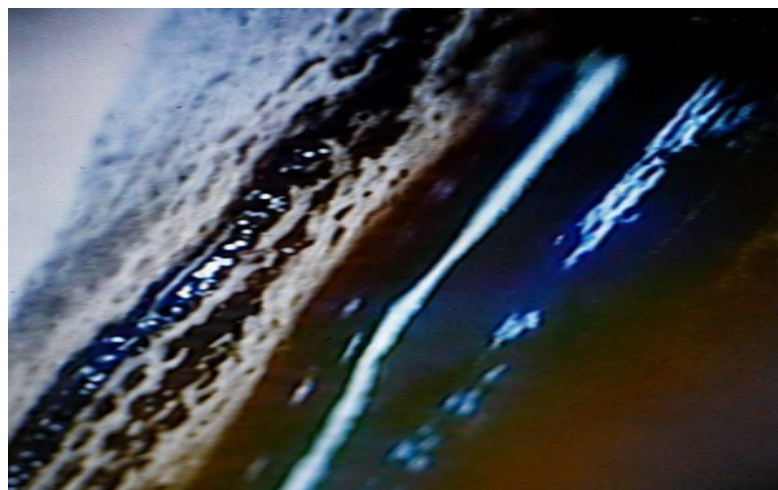
Como estudio preliminar en este estudio, propusimos una clasificación capilaroscópica de los cambios en la microarquitectura ósea con cinco etapas de desarrollo (Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo). La clasificación se construyó basándose en la evaluación de tres componentes de la evaluación capilaroscópica: densidad y patrón de los capilares óseos, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular y de la médula ósea. El objetivo de este documento es establecer una definición funcional de la calidad ósea basada en procedimientos in vivo, en tiempo real y no invasivos, como una forma de entender la microarquitectura ósea como un continuo de deterioro y como base para la futura validación clínica, fiabilidad diagnóstica y monitoreo de la salud ósea mediante capilaroscopia digital.

Figura 5.- Clasificación Capilaroscópica de las Alteraciones de la Microarquitectura ósea.



Etapas I. Patrón normal de microarquitectura ósea

La evaluación capilaroscópica del Patrón Normal indicó una microarquitectura ósea bien organizada con alta densidad capilar, una red vascular bien definida y suficiente continuidad en los vasos corticales. La región en la que se podía encontrar hueso cortical era una estructura compacta con vías vasculares continuas y bien definidas, mientras que el compartimento trabecular tenía una perfusión uniforme de los espacios medulares sin áreas de hipoperfusión o interrupciones vasculares aparentes.

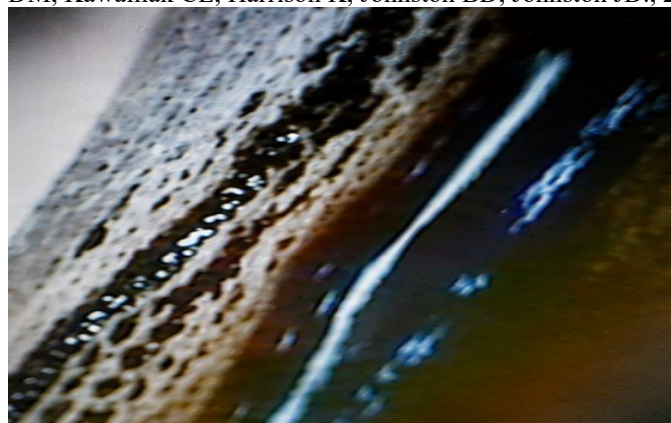


Estos hallazgos sugieren que la homeostasis microvascular y la adecuada comunicación de los sistemas vasculares cortical y medular son necesarias para el intercambio de nutrientes, oxígeno y señales biomecánicas que regulan la remodelación ósea. (Cardoso, L., Fritton, S.P., Gailani, G., Benalla, M., & Cowin, S.C., 2013)

Desde una perspectiva funcional, esta es una microarquitectura compatible con tejido óseo estructuralmente sano y metabólicamente activo, al igual que la organización para la porosidad vascular y el sistema lacuno-canalicular del hueso sano. (Williams KA, Gostling NJ, Steer JW, Oreffo ROC, Schneider P., 2020)

Etapla II. Deterioro leve de la microarquitectura ósea.

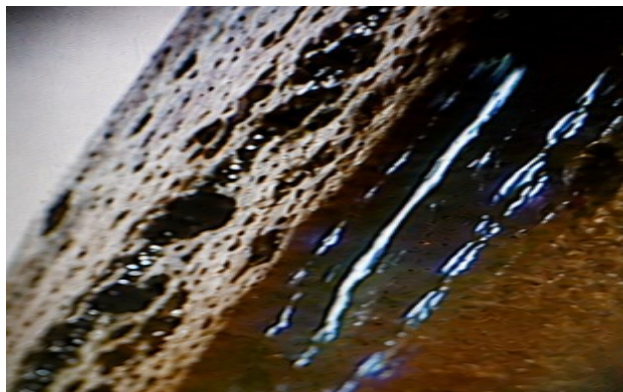
En el deterioro leve, se observó una pequeña disminución en la densidad capilar, junto con un ligero aumento en la separación de los vasos y una pérdida inicial de la continuidad vascular cortical. Aunque la arquitectura general permanecía intacta, se observaron pequeñas diferencias en la distribución capilar y una ligera disminución en la perfusión en los espacios medulares, compatibles con un cambio temprano en el intercambio microvascular. (Cooper DM, Kawalilak CE, Harrison K, Johnston BD, Johnston JD., 2016)



Estos son los primeros cambios que ocurren con el aumento de la porosidad cortical y el remodelado desequilibrado, antes del cambio estructural mayor que se describió en la pérdida de calidad ósea. En este punto, la mayor parte de la conectividad vascular aún está presente, por lo que los cambios que vemos podrían ser reversibles debido a la restauración de la homeostasis tisular. (Cardoso, L., Fritton, S.P., Gailani, G., Benalla, M., & Cowin, S.C., 2013)

Etapla III. Deterioro moderado de la microarquitectura ósea

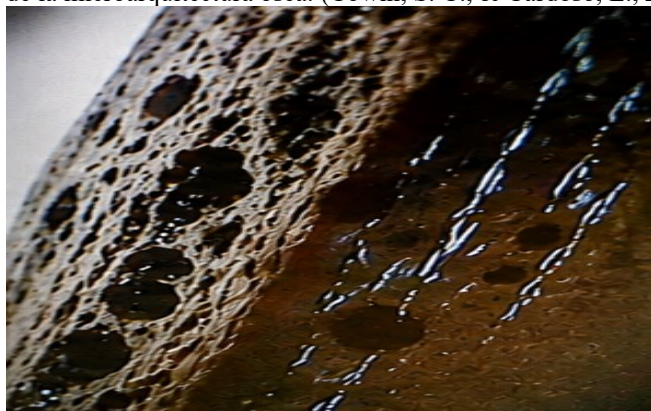
En el deterioro moderado, se observó una reducción en la densidad vascular con un patrón capilar irregular y heterogéneo y una pérdida parcial de continuidad de los vasos corticales. Los espacios medulares se perfundieron menos y se reportaron áreas con niveles más bajos de viabilidad vascular y menos conexiones trabeculares. (Cooper, D.M.L., Kawalilak, C.E., Harrison, K., Johnston, B.D., & Johnston, J.D., 2016) A medida que el deterioro continúa, la porosidad cortical y el sistema vascular intracortical se vuelven más desorganizados, lo que es consistente con cambios en la remodelación ósea y el debilitamiento de la resistencia mecánica del tejido. (Chappard, D., Baslé, M. F., Legrand, E., & Audran, M., 2008)



Este patrón es la unión de los dos en un momento en el que el deterioro estructural está comenzando a debilitar la estructura cortical y la función metabólica del hueso esponjoso.

Etapa IV. Deterioro severo de la microarquitectura ósea

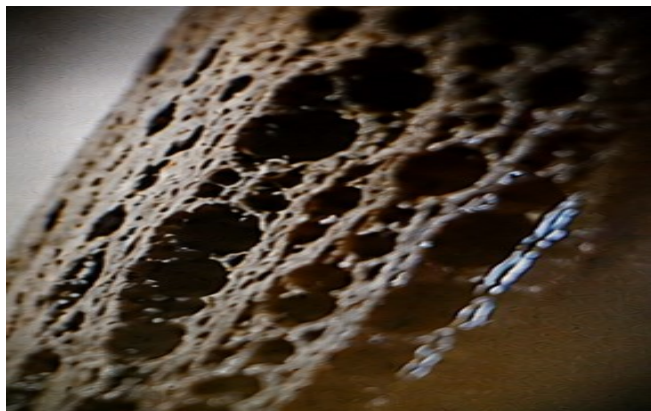
Muy deteriorada, la red capilar estaba severamente comprometida con vasos corticales escasos, fragmentados e interrumpidos y grandes áreas de hipoperfusión medular. La pérdida de continuidad vascular se asoció con un cambio drástico en la estructura del hueso cortical y una disminución en la conectividad trabecular, lo que reflejó el deterioro de la microarquitectura ósea. (Cowin, S. C., & Cardoso, L., 2015)



Desde un punto de vista fisiopatológico, estos cambios son consistentes con un gran aumento en la porosidad cortical, flujo intersticial reducido y cambios en la mecanotransducción de los osteocitos y parecen favorecer la pérdida progresiva de resistencia estructural y aumentar el riesgo de fragilidad ósea. La pérdida simultánea del suministro vascular cortical y medular sugiere que el tejido es menos capaz de reparar y remodelar. (Cooper, D.M.L., Kawalilak, C.E., Harrison, K., Johnston, B.D., & Johnston, J.D., 2016)

Etapa V. Deterioro muy severo de la microarquitectura ósea

La fase de Deterioro Muy Severo se caracterizó por la mayor extensión de alteración, con prácticamente ninguna red vascular, canales vasculares corticales colapsados y perfusión en los espacios medulares eliminada. La microarquitectura mostró una ruptura completa de la continuidad estructural y grandes áreas compatibles con avascularidad y un deterioro extremo de la estructura trabecular. (Cowin, S. C., & Cardoso, L., 2015)



Este patrón representa el compromiso simultáneo de los componentes vasculares, estructurales y metabólicos del tejido óseo y un marcado deterioro de la homeostasis ósea. (Cooper, D.M.L., Kawalilak, C.E., Harrison, K., Johnston, B.D., & Johnston, J.D., 2016) La incapacidad para irrigar los osteocitos conduce al agotamiento de nutrientes y oxígeno y dificulta la remodelación fisiológica, favoreciendo el desarrollo del colapso estructural más frágil y la necrosis ósea en los casos más avanzados. (Cardoso, L., Fritton, S.P., Gailani, G., Benalla, M., & Cowin, S.C., 2013)

DISCUSIÓN:

La calidad ósea se ha evaluado en el pasado basándose en la medición de la densidad mineral ósea o la microarquitectura a través de métodos de imagen de alta resolución como la microtomografía computarizada (micro-CT), HR-pQCT y resonancia magnética. Estos métodos han permitido comprender la estructura tridimensional del tejido óseo en la práctica, pero no son baratos, son escasos, requieren exposición a radiación ionizante y pueden no realizar una evaluación dinámica en tiempo real in vivo. En este artículo, intentamos desarrollar un enfoque diferente basado en la capilaroscopia digital y el Sistema ATDM para detectar patrones microvasculares de la microarquitectura ósea. (Abuadili Garza V.A., 2026b, 2026c)

El resultado principal de este trabajo es el desarrollo de un modelo mecanicista que integra tres componentes capilaroscópicos (densidad y patrón capilar óseo, integridad de los vasos corticales y perfusión trabecular y de la médula ósea) como elementos para interpretar la microarquitectura ósea. La selección de estos componentes se basó en la evidencia de que la vascularización está involucrada en el mantenimiento de la homeostasis ósea, la remodelación, la mecanotransducción de los osteocitos y el intercambio metabólico del hueso cortical y el compartimento medular. (Cardoso, L., Fritton, S. P., Gailani, G., Benalla, M., & Cowin, S. C., 2013) Combinando estos tres componentes de una manera que proporciona una progresión lógica del deterioro de la microarquitectura con respecto a las razones fisiopatológicas para el aumento de la porosidad cortical, la pérdida de conectividad trabecular y la reducción del flujo intersticial óseo. (Marenzana, M. & Arnett, T., 2013)

Los resultados presentados aquí apoyan las hipótesis al inicio del trabajo. En primer lugar, se encontraron patrones capilaroscópicos similares en torno a la densidad y organización de la red vascular, y se observó que la continuidad y complejidad de los capilares disminuían con el aumento de la degeneración propuesta de la microarquitectura del hueso compacto. También se demostró que la integridad de los vasos corticales disminuía con la disminución de la estructura del hueso compacto, y la perfusión trabecular y medular disminuía a medida que el tejido se comprometía. Aunque nuestro estudio es observacional y no clínico y no debe considerarse como un estándar de referencia, los hallazgos de este estudio estaban en línea con la fisiopatología de la remodelación ósea y la vascularización esquelética y, por lo tanto, eran consistentes con las hipótesis de trabajo en el marco desarrollado.

El Sistema ATDM fue una herramienta importante para comprender los hallazgos de este trabajo, al proporcionar un sistema tridimensional de información capilaroscópica basado en la interacción fisiopatológica entre la microcirculación y la estructura del tejido. (Abuadili Garza V.A., 2025b, 2025c) A diferencia de un análisis único de parámetros vasculares, el enfoque ATDM podría evaluar simultáneamente la organización cortical, la viabilidad trabecular y la red capilar como un sistema completo y, por lo tanto, una interpretación mecanicista del deterioro de la calidad ósea. Este método fue adecuado para construir una clasificación operativa de los cinco niveles de alteración - Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo - utilizando los criterios morfológicos previos, y así fue un paso adelante en la evolución del análisis capilaroscópico de la microarquitectura ósea.

La clasificación propuesta, desde una perspectiva clínica, proporciona un medio de evaluación no invasiva de la calidad ósea mediante la observación in vivo y en tiempo real. Su principal ventaja es que, sin exposición a radiación ionizante, se integra la información estructural y funcional de la microcirculación, y la evaluación de esta información podría

repetirse durante estudios de seguimiento o longitudinales. No obstante, este artículo es un paso inicial en el desarrollo de la metodología. La utilidad diagnóstica, reproducibilidad, sensibilidad y especificidad de los datos, así como la relación con los métodos existentes como DXA, HR-pQCT, micro-CT o parámetros histomorfométricos, deben explorarse en ausencia de estudios analíticos y de validación externos y si podría ser aplicable a una clínica.

Para resumir, podemos concluir que al combinar la capilaroscopia digital con la metodología iterativa del Sistema ATDM, (Abuadili Garza V.A., 2025d, 2025e, 2025f) pudimos proporcionar un modelo mecanicista coherente para estudiar la microarquitectura ósea y una clasificación operativa basada en tres parámetros capilaroscópicos fundamentales. Tanto en su estudio observacional como proposicional, este enfoque pudo responder a las hipótesis propuestas y que la integración de la densidad y el patrón capilar, la integridad de los vasos corticales y la perfusión trabecular y medular nos permite describir un deterioro progresivo de la microarquitectura ósea y proporcionar una base para una futura herramienta para medir la calidad ósea. La prueba de esta propuesta y su comparación con métodos de referencia será el próximo paso para verificar su potencial diagnóstico y evaluarlo en la práctica clínica e investigación de la salud ósea. (Cruz Monroy, V., García Súchil, M., Castellanos Gordillo, L.D.R. & Abuadili Garza, V.A., 2026)

CONCLUSIÓN

El presente trabajo ha proporcionado un modelo mecanicista para la evaluación de la microarquitectura ósea a través de la capilaroscopia digital, implementando el enfoque del Sistema ATDM para comprender la relación entre la microcirculación y la estructura ósea. Al realizar un análisis sistemático de las imágenes desde una proyección oblicua a 45°, pudimos identificar tres elementos principales de la evaluación: densidad y patrón capilar del hueso, integridad de los vasos corticales, y perfusión trabecular y de la médula ósea, los cuales están vinculados de manera coherente en un sentido fisiopatológico para describir el estado de la microarquitectura ósea desde una perspectiva estructural y funcional. Dentro de la dimensión observacional y proposicional del estudio, estos hallazgos están en línea con las hipótesis y pueden ser fácilmente utilizados para caracterizar patrones en diferentes grados de preservación o deterioro de la calidad ósea utilizando capilaroscopia in vivo.

Como principal contribución, hemos presentado una clasificación capilaroscópica de los cambios en la microarquitectura ósea que se subdivide en cinco niveles evolutivos (Patrón Normal, Deterioro Leve, Deterioro Moderado, Deterioro Severo y Deterioro Muy Severo) basada en la evaluación conjunta de los tres componentes capilaroscópicos. Esta clasificación es una definición operativa de la calidad ósea basada en características morfológicas y funcionales obtenidas en tiempo real y sin radiación ionizante. Se pretende proporcionar un enfoque común para interpretar la microarquitectura ósea y será la base para futuras investigaciones sobre los procesos de deterioro óseo, monitoreo terapéutico y medicina preventiva.

Finalmente, aunque la propuesta presentada es un desarrollo conceptual y metodológico, su aplicación clínica necesitará ser validada. La reproducibilidad intra e interobservador, sensibilidad, especificidad y precisión diagnóstica de la clasificación propuesta, junto con su comparación con métodos de referencia como la absorciometría dual de rayos X (DXA) y la tomografía computarizada periférica de alta resolución (HR-pQCT), la microtomografía computarizada y la histomorfometría, deben ser verificadas. Esto ayudará a definir el papel de la capilaroscopia digital y la metodología del Sistema ATDM en la evaluación de la calidad ósea de una manera más holística y abrirá nuevas líneas de investigación en el estudio in vivo de la microarquitectura del tejido óseo.

REFERENCIAS

1. Abuadili Garza V.A. (2025)a Entendiendo las Diez Causas que Originan Todas las Enfermedades. (2025). *IECCMEXICO*, 3(1). <https://doi.org/10.64784/080>
2. Abuadili Garza V.A. (2025)b. Capilaroscopia, una nueva manera de entender la Salud humana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(4), 11474-11517. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19752
3. Abuadili Garza, V. A. (2025)c. Capilaroscopia, La Herramienta Diagnóstica De Una Nueva Medicina Individualizada Basada En Evidencias. *Sapiens in Medicine Journal*, 3(3), 1-28. <https://doi.org/10.71068/gp4gja29>
4. Abuadili Garza, V.A. (2025)d. Metodología Iterativa del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM). *Atlas Research Journal*, 3(1), 67-96. <https://doi.org/10.65305/arj.v3n1.2025.32>

5. Abuadili Garza, V.A. (2025)e. Biosemiómica Clínica Aplicada; Una Nueva Metodología de Investigación que Revoluciona la Medicina Actual. *Journal of Multidisciplinary Novel Journeys & Explorations*. Vol 3, No 1 DOI: <https://doi.org/10.63688/faryz258>
6. Abuadili Garza, V. A. (2025)f. Definición / Herramienta / Metodología de la Biosemiómica y el Sistema ATDM como la Nueva forma de Investigar la Medicina Basada en Evidencias. *ASCE MAGAZINE*, 4(4), 2992–3021. <https://doi.org/10.70577/asce.v4i4.559>
7. Abuadili Garza, V. A. (2026)a. Determinación capilaroscópica de minerales de transición en los tejidos. *Impact Research Journal*, 4(2), 53-76. <https://doi.org/10.63380/irj.v4n2.2026.395>
8. Abuadili Garza V.A. (2026)b. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 1.- Definición Capilaroscópica Operativa. *IECCMEXICO*, 5(2). <https://doi.org/10.64784/279>
9. Abuadili Garza V.A. (2026)c. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 2.- Identificación Capilaroscópica de la Densidad Ósea *IECCMEXICO*, 5(2). <https://doi.org/10.64784/280>
10. Abuadili Garza, V. A. (2026)d. Estudio del Hambre Oculta Desde la Perspectiva Causa Efecto; Cuando el Exceso, Esconde la Escasez. *Ibero Ciencias - Revista Científica Y Académica - ISSN 3072-7197*, 5(1), 148-171. <https://doi.org/10.63371/ic.v5.n1.a641>
11. Abuadili Garza, V.A.; Sánchez Olivera, F. & Escalante Mendoza, D. (2026). Construcción heurística en la salud digital de la plataforma del sistema de aplicación de técnicas para el diagnóstico metabólico (Sistema ATDM). (2026). *Revista Ingenio Global*, 5(1), 51-80. <https://doi.org/10.62943/rig.v5n1.2026.449>
12. Adams, J. (2013). Advances in bone imaging for osteoporosis. *Nat Rev Endocrinol* 9, 28–42. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.217>
13. Bouxsein, M. L. (2003). Bone quality: Where do we go from here? *Osteoporosis International*, 14(Suppl. 5), S118–S127. <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1489-x>
14. Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A. (2026). Proyecciones Ópticas de la Capilaroscopia Metabólica. (2026). *Revista Hambatu Science*, 1(3). 412-431. <https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-412-431-2026>
15. Carballido-Gamio J, Majumdar S. (2006). Clinical utility of microarchitecture measurements of trabecular bone. *Curr Osteoporos Rep.*;4(2):64-70. <https://doi.org/10.1007/s11914-006-0004-7>. PMID: 16822405.
16. Cardoso, L., Fritton, S. P., Gailani, G., Benalla, M., & Cowin, S. C. (2013). Advances in assessment of bone porosity, permeability and interstitial fluid flow. *Journal of biomechanics*, 46(2), 253–265. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.10.025>
17. Chang, G., Boone, S., Martel, D., Rajapakse, C. S., Hallyburton, R. S., Valko, M., Honig, S., & Regatte, R. R. (2017). MRI assessment of bone structure and microarchitecture. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*, 46(2), 323–337. <https://doi.org/10.1002/jmri.25647>
18. Chappard, D., Baslé, M. F., Legrand, E., & Audran, M. (2008). *Trabecular bone microarchitecture: A review. Morphologie*, 92(299), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2008.10.003>
19. Cooper DM, Kawalilak CE, Harrison K, Johnston BD, Johnston JD. (2016). Cortical Bone Porosity: What Is It, Why Is It Important, and How Can We Detect It? *Curr Osteoporos Rep.* 14(5):187-98. <https://doi.org/10.1007/s11914-016-0319-y>. PMID: 27623679.
20. Cortet B. & Marchandise X., (2001). Bone microarchitecture and mechanical resistance, *Joint Bone Spine.*; 68 (4), 297-305. ISSN 1297-319X, [https://doi.org/10.1016/S1297-319X\(01\)00283-4](https://doi.org/10.1016/S1297-319X(01)00283-4). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1297319X01002834>)
21. Cowin, S. C., & Cardoso, L. (2015). Blood and interstitial flow in the hierarchical pore space architecture of bone tissue. *Journal of biomechanics*, 48(5), 842–854. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.12.013>
22. Cruz Monrroy, V., García Súchil, M., Castellanos Gordillo, L.D.R. & Abuadili Garza, V.A. (2026). Estudio biosemiómico de la alteración de la homeostasis de los minerales de transición, basado en la metodología iterativa del SISTEMA ATDM.(Parte 1.- La Homeostasis de los minerales de transición). *Prosperus*, 3(3), 100-126. <https://doi.org/10.63535/jw2q7k11>
23. Dyke JP, Aaron RK. (2010). Noninvasive methods of measuring bone blood perfusion. *Ann N Y Acad Sci.*;1192(1):95-102. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05376.x>. PMID: 20392223; PMCID: PMC2894463.
24. Donnelly E. (2011). Methods for assessing bone quality: a review. *Clinical orthopaedics and related research*, 469(8), 2128–2138. <https://doi.org/10.1007/s11999-010-1702-0>
25. García Súchil, M., Cruz Monrroy, V., & Castellanos Gordillo, L. D. R. (2026). Evolución Cronológica del Sistema ATDM y su Consolidación Científica en el Diagnóstico Preventivo - Predictivo: Análisis Integral 2008–2025. *Emergentes - Revista Científica*, 5(4), 1078–1112. <https://doi.org/10.60112/erc.v5.i4.649>

26. Lespessailles E., Chappard C., Bonnet N. & Benhamou C.L., (2006). Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture, *Joint Bone Spine*, 73(3), 254-261, ISSN 1297-319X, <https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2005.12.002>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1297319X05002216>)
27. Marenzana, M. & Arnett, T. (2013). The Key Role of the Blood Supply to Bone. *Bone Res* 1, 203–215. <https://doi.org/10.4248/BR201303001>
28. Mellibovsky Saidler L, Díez Pérez A. (2006). Qué significa la calidad ósea. *Semin Fund Esp Reumatol.*;7:165-176. [https://doi.org/10.1016/S1577-3566\(06\)75096-5](https://doi.org/10.1016/S1577-3566(06)75096-5)
29. Seeman, E., & Delmas, P. D. (2006). Bone quality—the material and structural basis of bone strength and fragility. *New England Journal of Medicine*, 354(21), 2250–2261. <https://doi.org/10.1056/NEJMr053077>
30. Sims, N. A., & Martin, T. J. (2010). Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. *Journal of Biological Chemistry*, 285(33), 25103–25108. <https://doi.org/10.1074/jbc.R109.041087>
31. Smith, V., Ickinger, C., Hysa, E., Snow, M., Frech, T., Sulli, A., & Cutolo, M. (2023). *Nailfold capillaroscopy*. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 37, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2023.101849>
32. Wehrli, F.W. (2007). Structural and functional assessment of trabecular and cortical bone by micro magnetic resonance imaging. *J. Magn. Reson. Imaging*, 25: 390-409. <https://doi.org/10.1002/jmri.20807>
33. Williams KA, Gostling NJ, Steer JW, Oreffo ROC, Schneider P. (2020). Quantifying intracortical bone microstructure: A critical appraisal of 2D and 3D approaches for assessing vascular canals and osteocyte lacunae. *J Anat.*;238(3):653–668. <https://doi.org/10.1111/joa.13325>. Epub ahead of print. PMID: 33090473; PMCID: PMC7855084.

CONFLICTO DE INTERÉS:

El autor reporta que no hay ningún conflicto de interés en el presente Artículo.

Este artículo es la parte 3 de 6.

BIOGRAFÍA DEL AUTOR:

Médico Cirujano egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Licenciado en Derecho por la Universidad Mexicana, Master in Health and Business Administration, Doctorado Honoris Causa por su investigación sobre las 10 causas de las enfermedades y nuevas técnicas para el diagnóstico metabólico.