Research article /Artículo de investigación

Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 8.- Estudio de Biosemiómica Clínica y Estadística Aplicada de la Calidad Ósea conforme a la Metodología del Sistema ATDM)

Applied Clinical Biosemiomics for Bone Health. (Part 8 – Clinical and Statistical Applied Biosemiomic Study of Bone Quality by the ATDM System Methodology).

VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México
abuadili@yahoo.com.mx ORCID https://orcid.org/0009-0004-5466-1880

Recepción: 08 de noviembre de 2026 - Aceptado: 08 de noviembre de 2026 - Publicado: 10 de noviembre de 2026
Received: Nov 08, 2026 - Accepted: Nov 08, 2026 - Published: Nov 10, 2026

¿Cómo citar este artículo?
Abuadili Garza V. A. (2026). Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 8.- Estudio de Biosemiómica Clínica y Estadística Aplicada de la Calidad Ósea conforme a la Metodología del Sistema ATDM). Axiom Research, 2(2)

Copyright: © 2026 Abuadili Garza V. A; This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

ABSTRACT:
Bone quality is a multidimensional property determined by the interaction between the density, microarchitecture, remodeling, and mineralization of bone tissue. Its comprehensive assessment poses a challenge for identifying structural and metabolic alterations. Objective: To characterize the prevalence of the four morphofunctional components of bone quality and explore their potential associations using the ATDM System methodology and Applied Clinical Biosemiomics. Methodology: An observational, descriptive, analytical, and proposal-oriented study was conducted, supplemented by *in silico* hypothetical statistical modeling, using data from 5,383 metabolic assessments recorded on the ATDM System's Big Data platform. The components were classified into five categories and analyzed using descriptive statistics, the chi-square goodness-of-fit test, and Cohen's *w* effect size. Additionally, six synthetic association scenarios were constructed using 5 × 5 contingency tables and Cramér's *V*. Results: A decrease in bone density was identified in 92% of the records, microarchitectural loss in 79%, and mineralization alterations in 89% (with demineralization predominating at 63%). Remodeling was categorized as degenerative in 31% of cases, homeostatic in 39%, and regenerative in 30%. All four components showed significant deviations from a uniform distribution (*p* < 0.001), with effect sizes ranging from 0.412 to 0.530. In the hypothetical model, Cramér's *V* values ranged from 0.178 to 0.390, with the association between density and microarchitecture being particularly notable. Conclusions: The results characterize heterogeneous distributions of bone components and provide an exploratory model of morphofunctional association. These simulated associations do not constitute clinical evidence and require validation through individual patient records and reference diagnostic methods.

KEY WORDS: Bone quality; bone density; bone microarchitecture; bone remodeling; bone mineralization; capillaroscopy; ATDM system; Applied Clinical Biosemiomics; prevalence; in silico modeling; chi-square; Cramér's V.

RESUMEN
La calidad ósea constituye una propiedad multidimensional determinada por la interacción entre densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización del tejido óseo. Su evaluación integral representa un desafío para la identificación de alteraciones estructurales y metabólicas. Objetivo: Caracterizar la prevalencia de los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea y explorar sus posibles asociaciones mediante la metodología del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada. Metodología: Se desarrolló un estudio observacional, descriptivo, analítico y propositivo, complementado con modelado estadístico hipotético in silico, utilizando las frecuencias de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. Los componentes se clasificaron en cinco categorías y se analizaron mediante estadística descriptiva, chi-cuadrado de bondad de ajuste y tamaño del efecto w de Cohen. Adicionalmente, se construyeron seis escenarios sintéticos de asociación mediante tablas de contingencia 5 × 5 y V de Cramér. Resultados: Se identificó disminución de densidad ósea en el 92% de los registros, pérdida microarquitectónica en el 79% y alteraciones de mineralización en el 89%, predominando la desmineralización (63%). El remodelado presentó 31% de categorías degenerativas, 39% homeostáticas y 30% regenerativas. Los cuatro componentes mostraron desviaciones significativas respecto de una distribución uniforme ($p < 0.001$), con tamaños del efecto entre 0.412 y 0.530. En el modelo hipotético, V de Cramér osciló entre 0.178 y 0.390, destacando densidad–microarquitectura. Conclusiones: Los resultados caracterizan distribuciones heterogéneas de los componentes óseos y proporcionan un modelo exploratorio de asociación morfofuncional. Las asociaciones simuladas no constituyen evidencia clínica y requieren validación mediante registros individuales y métodos diagnósticos de referencia.

PALABRAS CLAVE: Calidad ósea; densidad ósea; microarquitectura ósea; remodelado óseo; mineralización ósea; Capilaroscopía; Sistema ATDM; Biosemiómica Clínica Aplicada; prevalencia; modelado in silico; chi-cuadrado; V de Cramér.

INTRODUCCIÓN

La clasificación médica y científica de la "**SALUD ÓSEA"** se rige de manera universal por los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), basados en la Densidad Mineral Ósea (DMO) obtenida mediante una densitometría DXA. Los artículos científicos clasifican el estado de los huesos utilizando el T-score (para adultos

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

mayores de 50 años o postmenopáusicas) o el Z-score (para jóvenes, niños y mujeres premenopáusicas). (World Health Organization, 1994)

Sin embargo, una investigación contemporánea indica que la densidad no lo es todo. En consecuencia, si partimos de la hipótesis de que:

"Dos estructuras con densidad mineral semejante,
pueden presentar comportamientos biomecánicos diferentes."

Artículos especializados como *¿Qué significa la calidad ósea?* de Elsevier España clasifican la salud del hueso según sus propiedades fisicoquímicas, mecánicas y estructurales, evaluando la microarquitectura, el grado de 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 evidencias, que determina no sólo la masa o densidad ósea, sino también la calidad ósea, condicionada por la geometría, la microarquitectura, la ultraestructura ósea, la homeostasis de minerales y las características de la matriz proteínica. (Seeman, E., & Delmas, P. D., 2006)

La calidad ósea constituye un concepto multidimensional que trasciende la medición aislada de la densidad mineral ósea e integra propiedades estructurales, materiales y biológicas que, en conjunto, determinan la competencia mecánica y la resistencia del hueso frente a las cargas fisiológicas. La calidad ósea es un compuesto de propiedades estructurales, materiales y biológicas que determinan la resistencia mecánica y la resistencia del hueso al estrés fisiológico. (Donnelly E., 2011).

La densidad y distribución mineral, la microarquitectura cortical y trabecular, la remodelación, el grado y la heterogeneidad de la mineralización, la acumulación de microdaños y la matriz orgánica son algunas de las dimensiones que se consideran.(Seeman, E., & Delmas, P.D., 2006) Así, dos individuos con densidad mineral similar pueden tener diferente susceptibilidad a fracturas, lo que ha llevado al desarrollo de modelos integrativos para estudiar la resistencia y calidad del tejido óseo.(Bouxsein, M.L., 2003)

En términos de Capilaroscopía, 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.

Esta definición entrelaza la regulación endocrina de la hormona paratiroidea (PTH), la calcitonina y la vitamina D y la co-localización fisiológica de osteoblastos, osteocitos y osteoclastos con su papel en la remodelación ósea moderna, donde la homeostasis mineral está ligada a un intercambio continuo con la comunicación celular y las modificaciones metabólicas. En ese orden de ideas, para hacer un adecuado diagnóstico de la Calidad Ósea, mediante la Capilaroscopía, en la Figura 1 establecemos los 4 patrones capilaroscópicos que se deben de evaluar:

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

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

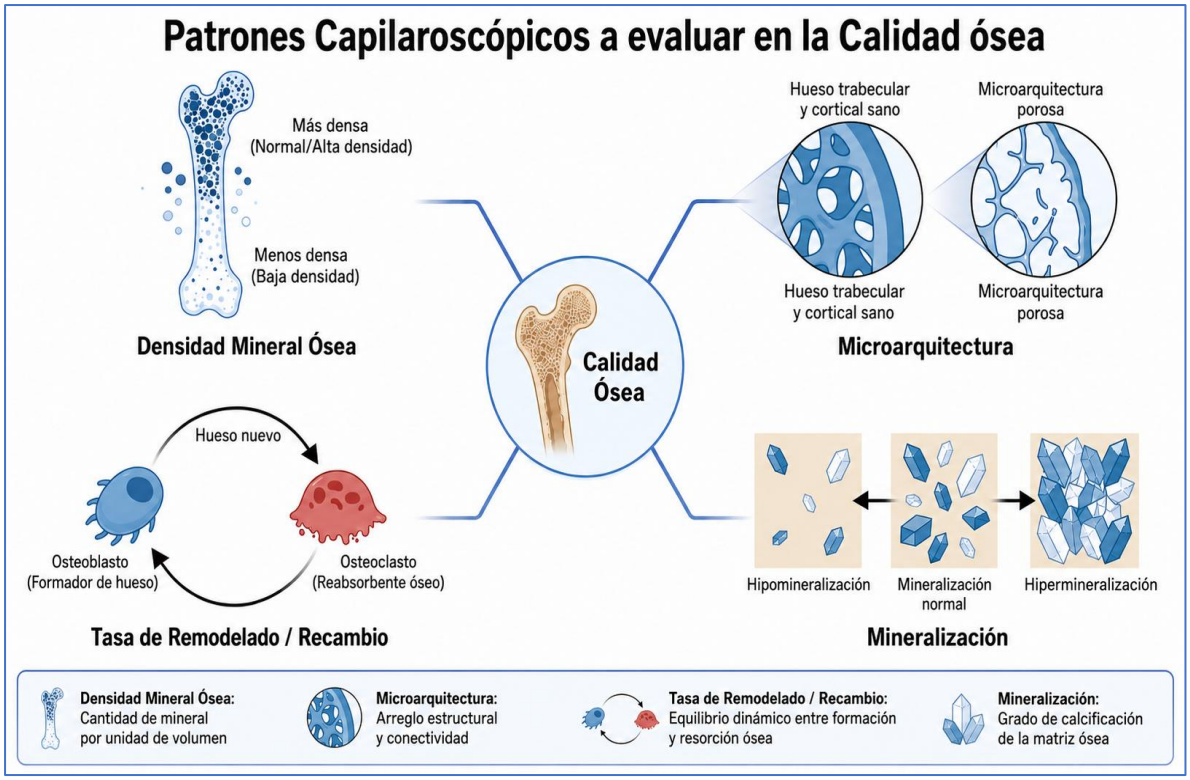


Figura tomada de Abuadili Garza V.A., 2026a

Conforme al anterior marco conceptual, el Dr. Victor Abuadili propuso en la revista IECC Mèxico una **definición capilaroscópica operativa de la calidad ósea**, entendida como:

"*El conjunto integrado de patrones ópticos, estructurales y tisulares identificables mediante Capilaroscopía y susceptibles de ser clasificados sistemáticamente para realizar una aproximación multiparamétrica al estado de la densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización del tejido óseo*".

En este sentido, nuestro estudio propone de manera proactiva y exploratoria que la capilaroscopia del enfoque iterativo del Sistema ATDM (Abuadili Garza V.A., 2025e) con Biosemiómica Clínica Aplicada puede ser utilizada como una herramienta para estudiar patrones visuales y morfofuncionales que pueden asociarse con la formación del tejido óseo.(Abuadili Garza, V.A, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j) Desde este punto de vista, las características ópticas, microcirculatorias y del tejido no deben considerarse de forma aislada y no deben considerarse iguales a la densidad, mineralización o actividad celular; más bien, deben entenderse como signos que pueden integrarse y distinguirse dentro de un modelo mecanicista.(Abuadili Garza V.A, 2026l, 2026m) Esta distinción es esencial para diferenciar una hipótesis diagnóstica emergente de una herramienta clínicamente validada.

La propuesta de esta investigación (integrada en 8 partes a saber) propone un modelo multivariable que permitiría determinar qué características aportan información independiente y cuáles simplemente reflejan procesos concomitantes, donde la integración mediante Biosemiómica Clínica Aplicada, puede resultar científicamente útil precisamente si mantiene esta distinción: el signo observable no equivale automáticamente al mecanismo que se pretende estudiar. (Abuadili Garza V.A., 2025j)

Luego entonces, al entremezclar los factores de riesgo donde una persona sometida durante décadas a obesidad, alteraciones metabólicas, tabaquismo, inactividad física, sueño deficiente, estrés y exposiciones ambientales puede acumular múltiples perturbaciones sobre los mismos sistemas de mantenimiento celular, podemos inferir que la convergencia, y no necesariamente un único agente, podría determinar la velocidad de deterioro,(Abuadili Garza V.A. 2025a) que se relacionará con los signos capilaroscópicos, lo que a su vez generará una hipótesis para el desarrollo de este estudio mecanicista (Parte 1 de 8) cuyos resultados nos permitirán correlacionarla los estudios experimentales in vivo e in silico, (Parte 2 de 8) o longitudinales, nos permiten aproximarnos a la causalidad prevalencia y estadística más exacta sobre la salud ósea (Parte 3 de 8), que al corroborarlos con biomarcadores fortalecerán la temporalidad

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

(Parte 4 de 8) y en consecuencia, el siguiente paso científico debería consistir en correlacionar patrones capilaroscópicos cuantitativos con el deterioro del hueso (Parte 5 de 8), planteando una metodología integradora capaz de organizar la información dentro de secuencias causa–efecto, y así establecer las bases de un modelo propositivo para desarrollar un **Índice Integrado de Calidad Ósea.**(Parte 6 de 8) con lo cual poder hacer una revisión de la aplicación de ciencias ómicas para la realización de formulaciones farmacológicas o nutracéuticas (Parte 7 de 8) que a su vez nos permitan integrar una serie de intervenciones sinérgicas para promover la salud ósea (parte 8 de 8) ya que el modelo mecanicista inicial nos permitirá ir desarrollando de etapa en etapa para identificar múltiples niveles potencialmente modificables.

Estas intervenciones podrán describirse e integrarse en nutracéuticos capaces de "revertir el envejecimiento de manera general". Bajo una perspectiva enfocada en la prevención de enfermedad, la conservación funcional y modificación de determinados biomarcadores que permitan una reversión global de la edad biológica. (Mohan1 Suman, Abuadili Garza Victor Alfonso, Kaliyaperumal Viswanathan, Mahendra Baban Datir, Saraswat Pranit, Das Animesh, 2026)

Para desarrollar esta investigación, se realizó un modelado de integración morfofuncional y capilaroscópica del tejido óseo con el fin de conectar los cambios observados en el tejido con cuatro dimensiones de la calidad ósea: densidad ósea, microarquitectura, remodelación y mineralización.(Abuadili Garza V.A, 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e, 2026f) El modelo se basa en la idea de que los cambios producidos por factores internos y externos generarán secuencias fisiopatológicas que pueden expresarse en posibles cambios estructurales, microcirculatorios y ópticos sistematizables. La metodología iterativa del Sistema ATDM proporciona el marco para organizar estos hallazgos en patrones reproducibles. (Abuadili Garza, V.A., 2025e) La Biosemiómica Clínica Aplicada propone interpretar estos patrones como signos biológicos dentro de relaciones de estructura, función y mecanismo. (Abuadili Garza, V.A., 2026j)

Desde esta perspectiva, diseñamos un estudio observacional, proactivo y mecanicista de la Calidad Ósea.(Abuadili Garza V.A, 2026l) La parte observacional tiene como objetivo identificar y describir patrones capilaroscópicos y morfofuncionales, la parte proactiva desarrollar criterios operativos para la integración y clasificación, y la parte mecanicista establecer hipótesis de relación entre factores de riesgo, alteraciones en la homeostasis ósea y los patrones revelados.(Abuadili Garza V.A, 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e, 2026f) Nuestro objetivo no es reemplazar las tecnologías diagnósticas existentes, sino desarrollar un modelo de investigación complementario que se pruebe posteriormente frente a métodos de referencia y biomarcadores independientes.

Esta combinación nos permite conceptualizar la calidad ósea como un sistema complejo de interacción entre el exposoma, la regulación metabólica, la microcirculación, la estructura y función del tejido.(Abuadili Garza V.A, 2026i) La integración en un estudio in silico con el uso de IA que conjunte los resultados de la Capilaroscopia (Abuadili Garza V.A., 2026k) bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM(Abuadili Garza V.A., 2025e) y la técnica de investigación de la Biosemiótica Clínica Aplicada, (Abuadili Garza V.A, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j) puede servir como una herramienta para investigar cómo los muchos factores presentados en la Figura 1 que pueden converger en el tejido óseo y generar patrones morfofuncionales. El análisis de estos patrones, podrá ser validado en futuras investigaciones, con DXA, parámetros bioquímicos de remodelación, técnicas de evaluación microestructural y parámetros clínicos será clave para determinar su reproducibilidad, sensibilidad, especificidad e importancia biológica.

Esta hipótesis se encuentra bien respaldada por la literatura internacional sobre calidad ósea y biomecánica; Donnelly (2011) propuso entender la calidad ósea mediante la integración de propiedades geométricas y materiales relacionadas con la resistencia a la fractura, mientras que Hunt y Donnelly (2016) ampliaron este concepto mediante una aproximación multiescala que comprende desde la geometría macroscópica hasta la composición y comportamiento mecánico microscópicos.(Donnelly E., 2011; Hunt H.B. & Donnelly E., 2016) De manera concordante, Boskey e Imbert demostraron que envejecimiento y enfermedad producen modificaciones de arquitectura, porosidad, composición mineral y matriz, estableciendo que la edad constituye un modificador fundamental de la calidad del tejido.(Boskey A.L. & Imbert L., 2017)

Desde la perspectiva biomecánica, una modificación clínicamente relevante de la calidad ósea debe expresarse finalmente como una modificación del desempeño mecánico del hueso. La resistencia, rigidez, elasticidad, tenacidad, absorción de energía y resistencia a la propagación de fracturas emergen de la interacción entre cantidad, distribución espacial y propiedades intrínsecas del material óseo.(Lee T.C., Staines A. & Taylor D., 2002) Sobre este fundamento, se sitúa la serie de investigaciones publicadas en la revista IECC México, en la edición número 5 correspondiente a julio - diciembre del 2026, por el Dr. Victor Abuadili, que nos sirven como marco conceptual y un precedente para

integrar diferentes dimensiones de la evaluación capilaroscópica y de la calidad ósea estableciendo además el antecedente conceptual de la clasificación Capilaroscópica de calidad ósea sobre la cual se construye el modelado morfofuncional.(Abuadili Garza V.A, 2026a, 2026b, 2026c, 2026c, 2026d, 2026e, 2026f)

DESARROLLO:

Tal y como lo describe el investigador y filósofo argentino-mexicano Enrique Dussel, que dice: "No es nada descubrir algo nuevo, hay que descubrir para qué se descubre".(Dussel, E., 2019, 2024) y respecto al tema que --nos ocupa, podemos hablar que la alteración de la calidad ósea, puede deberse a muchos procesos, traumáticos, metabólicos, hormonales, etcétera; pero pocos investigadores han estudiado estadísticamente esta interrelación que existe en los procesos que determinan la salud ósea.

La investigación clínica del Sistema ATDM,(Abuadili Garza, V. A., 2026e 2026f) se ha llevado a cabo desde el año 2009 y continúa hasta la fecha, ha realizado más de 6,780 "Valoraciones Metabólicas" (n= 6786) a personas de ambos géneros, de entre 2 y 90 años, sin hacer alusión específica a su estado de salud, en México, Estados Unidos, República Dominicana, Guatemala, Puerto Rico y Colombia; que cuenta con una base de datos que se actualiza diariamente y reporta sus estadísticas correspondientes reportadas en la página web del Sistema ATDM. (www.sistemaatdm.com) (García Súchil, M., Cruz Monrroy, V., & Castellanos Gordillo, L.D.R., 2026) donde utilizando las pruebas de Bioimpedancia (Hoffer E, Meador C, Simpson D.,1969) y Capilaroscopia (Franz Klein-Weigel, P., Sunderkötter, C. & Sander, O., 2016) determinan el estado de salud de las personas en tiempo real.

Gracias a la aplicación de esta metodología, surge la "Biosemiómica Clínica Aplicada", un nuevo concepto científico, que realiza el estudio, en tiempo real, de los procesos causales, los signos y síntomas que un individuo puede tener antes de que se desarrolle una enfermedad (Abuadili Garza V.A., 2025h, 2025i, 2025j), la gestión de los sistemas vivos involucrados en esa enfermedad,(Favareau, D.,2010) los procesos y mecanismos por los cuales los procesos biológicos donde los seres vivos podrían interactuar con la fisiología para desarrollar una enfermedad, incluidos los factores de riesgo(Senado Dumoy, Justo., 1999) y los procesos metabólicos que ocurren en el cuerpo humano (Abuadili Garza V.A., 2026ª, 2026b), con una visión de la vida, es decir, la historia natural de todos los actos y eventos que ocurren antes del diagnóstico clínico, según la definición alopática. (Abuadili Garza V.A., 2026b)

La Biosemiómica Clínica Aplicada es un método que permite la investigación de la Transición Salud-Enfermedad (Abuadili Garza, V.A. 2025h, 2025i, 2025j), diseñada como un método de evaluación que permite, evaluar tanto cualitativa como cuantitativamente, las manifestaciones clínicas que una persona presenta, antes de manifestar signos o síntomas que son típicos de una enfermedad según su definición alopática(Favareau, D., 2010); con un enfoque no invasivo, pudiéndose identificar múltiples condiciones, hasta con 10 años de anticipación, antes del inicio de la enfermedad. (García Súchil, M., Cruz Monrroy, V., & Castellanos Gordillo, L.D.R., 2026) Esta metodología de investigación ha permitido hacer una Clasificación Mecanicista de la Calidad Ósea.

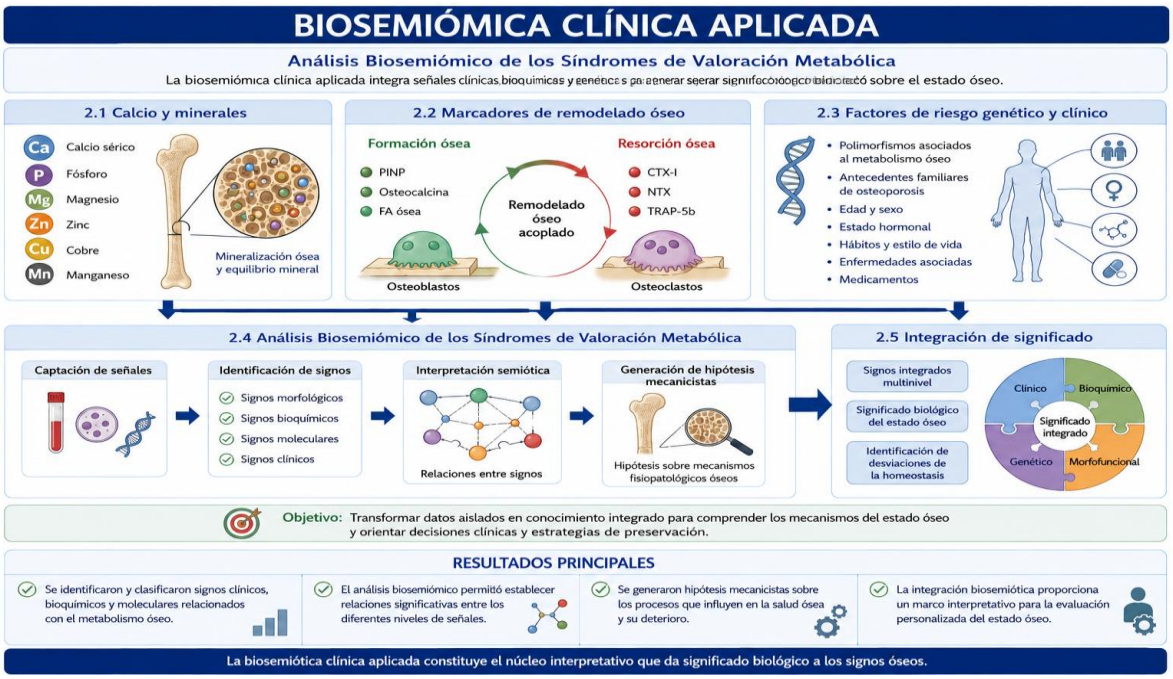
En este orden de ideas esta investigación de Biosemiómica Clínica Aplicada, en su parte 1, de esta serie de artículos publicada en la revista Axiom Research, se desarrolló que la integración morfofuncional de la calidad ósea, es un enfoque para trasladar de lo cualitativo a lo cuantitativo la Calidad Ósea, buscando relacionar la forma, estructura y arquitectura del tejido óseo, con sus funciones y propiedades biomecánicas.

Para la parte 2 de la investigación, también publicada en la Revista Axiom Research, nos enfocamos en construir una representación morfofuncional del tejido óseo, considerando simultáneamente su estructura y su comportamiento funcional. Se integraron como dimensiones de estudio la macroarquitectura ósea microarquitectura cortical y trabecular, distribución y organización del tejido mineralizado, continuidad estructural y propiedades mecánicas relacionadas con resistencia, elasticidad y capacidad de adaptación a las cargas. Esta estrategia se fundamentó en que la competencia mecánica del hueso resulta de la interacción entre cantidad, geometría, arquitectura y propiedades materiales, por lo que la DMO no describe completamente su resistencia.

Y es así como en esta Parte 3, con base en el modelado mecanicista que realizamos en la parte 1 de esta investigación,(Abuadili Garza V.A., 2026) así como la investigación in silico de un modelado morfofuncional de la senescencia celular que presentamos en la parte 2 de este mismo estudio,(Abuadili Garza V.A., 2026), resumimos en la figura 3 el desarrollo de la Biosemiómica Clínica Aplicada para hacer un estudio estadístico en base a los datos recabados en la Plataforma Big Data del Sistema ATDM (Abuadili Garza V.A, Sánchez Olivera F. & Escalante Mendoza D., 2026), para hacer la integración de los Síndromes de Valoración Metabólica y el grado de riesgo que estos representan para la afectación de la Salud Ósea, (Abuadili Garza V.A, 2026)

Figura 2.- Modelo mecanicista del estudio de la Biosemiómica Clínica Aplicada para el estudio de la Calidad Ósea.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH



Esta integración biosemiómica clínica tiene como objetivo relacionar los cambios estructurales con signos clínicos, fisiológicos, metabólicos y moleculares. Las variables como el calcio y otros minerales, los marcadores de remodelación ósea y los factores de riesgo genético se interpretaron como señales biológicas de diferentes niveles del mismo sistema. Nuestro objetivo no fue analizar cada biomarcador de forma aislada, sino combinar su significado en una red funcional que explicara el estado del tejido óseo.

Cabe señalar que estos indicadores Capilaroscópicos asociados a la salud ósea, varían con la edad, el sexo, el ritmo circadiano, la dieta, el ejercicio, las fracturas recientes y las condiciones fisiológicas, por lo que la interpretación necesita estandarizarse en el proceso preanalítico. (Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b) En el modelo propuesto en la figura 1, los significados se integran si una señal morfológica puede relacionarse con su probable base funcional. Por ejemplo, un cambio microarquitectónico asociado con altos marcadores de resorción tendría una interpretación diferente a cuando los marcadores de formación son los mayores. De manera similar, las diferencias minerales y los factores de susceptibilidad genética podrían afectar la interpretación biológica de la misma estructura. Este enfoque hace que el análisis clínico sea un proceso multivariable y no solo descriptivo.

En la Figura 3 hacemos referencia a los marcadores capilaroscópicos de la Calidad Ósea y su clasificación para poder hacer la medición específica de prevalencia conforme a cada uno de ellos.

Figura 3.- Marcadores Capilaroscópicos de la Calidad Ósea.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

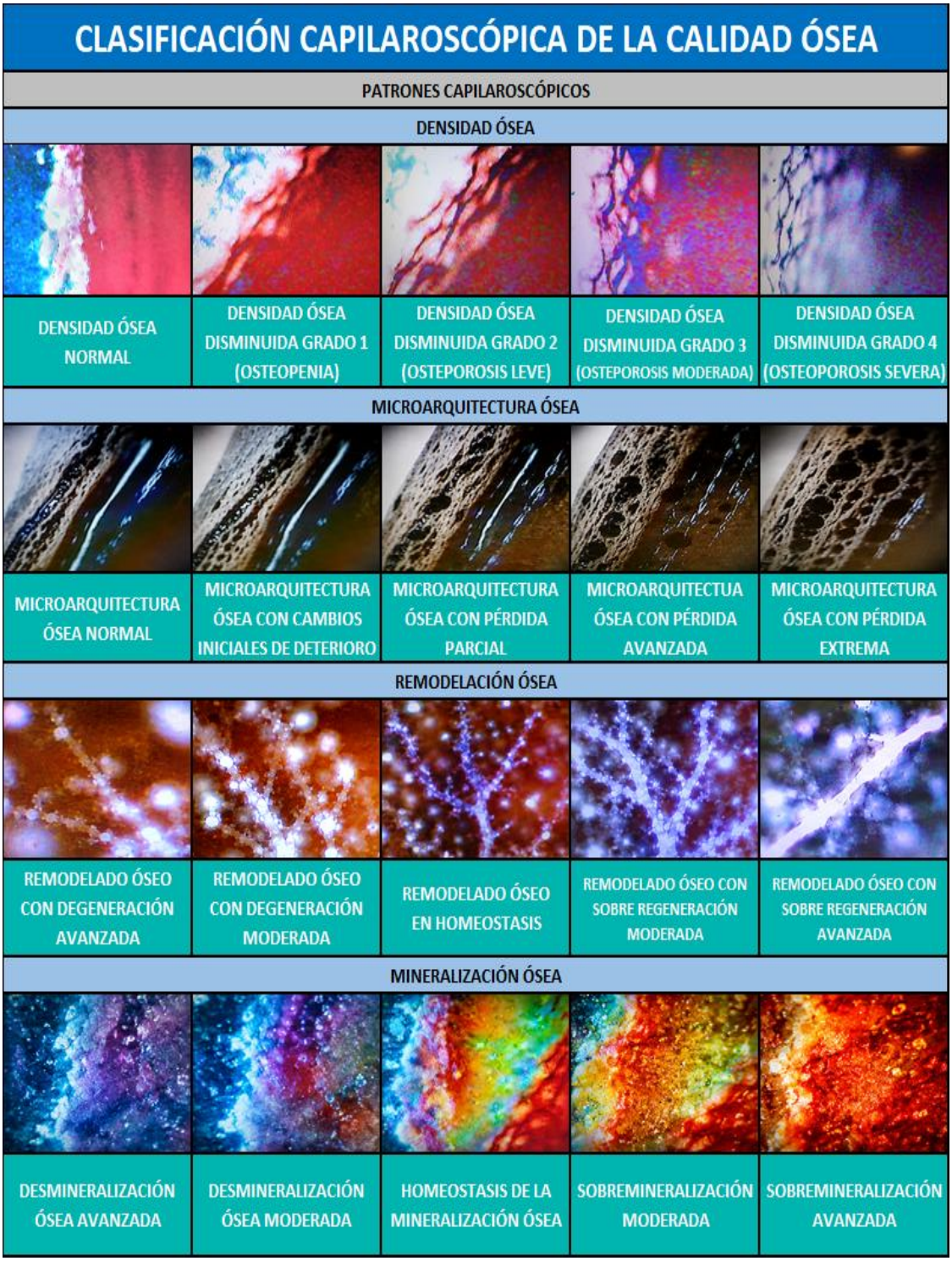


Imagen obtenida de Abuadili Garza V.A., 2026f.

La figura 3 propone una Clasificación Capilaroscópica de la Calidad Ósea (CCCO) estructurada en cuatro componentes morfofuncionales: densidad ósea, microarquitectura, remodelado y mineralización. La densidad se representa mediante una progresión desde normalidad hasta cuatro grados de disminución; la microarquitectura, desde una organización conservada hasta pérdida extrema; el remodelado adopta un comportamiento bidireccional, desde degeneración avanzada, pasando por homeostasis, hasta sobre regeneración avanzada; y la mineralización se representa igualmente como un continuum bidireccional desde desmineralización hasta sobremineralización.(Brandi, M.L., 2009)

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

Esta integración es conceptualmente congruente con la literatura que define la calidad ósea como una propiedad multidimensional en la que cantidad mineral, microarquitectura, remodelado, mineralización y propiedades de la matriz contribuyen conjuntamente a la competencia mecánica del hueso. La microarquitectura, en particular, constituye un determinante independiente de la resistencia, mientras que el remodelado condiciona tanto la renovación estructural como el grado y heterogeneidad de mineralización. (Boivin G., Farlay D., Bala Y., Doublier A., Meunier P.J., & Delmas P.D., 2009)

Desde una perspectiva causa–efecto, los cuatro componentes de la CCCO pueden integrarse como variables fenotípicas finales sobre las cuales convergen las 10 Causas de las Enfermedades propuestas dentro del Sistema ATDM: hambre oculta, desbalance redox, intoxicación sistémica, estado proinflamatorio, acidez celular, disfunción mitocondrial, desequilibrio de la microbiota, falta de modulación de la expresión genética, falta de modulación de biofrecuencias y traumatismo.(Abuadili Garza V.A., 2025a, 2025b) Esta relación constituye una hipótesis mecanicista propia del modelo ATDM y no una equivalencia causal demostrada para cada una de las diez categorías. No obstante, existen conexiones biológicas documentadas para varios de estos ejes: inflamación, estrés oxidativo y disfunción metabólica pueden modificar la actividad osteoblasto–osteoclasto y el remodelado;(Karim L, Moulton J, Van Vliet M, e.t. A.l., 2018) la glicación avanzada (Abuadili Garza V.A., 2025) altera propiedades de la matriz y se ha asociado con fragilidad ósea;(Wang, B., & Vashishth, D. 2023) y remodelado y mineralización están estrechamente acoplados.(Boivin G., Farlay D., Bala Y., Doublier A., Meunier P.J., & Delmas P.D., 2009)

Así, el modelo plantea una secuencia conceptual causas/exposiciones → alteraciones metabólicas y microambientales → modificación del remodelado y mineralización → deterioro microarquitectónico → reducción de densidad/competencia ósea, reconociendo que algunos componentes pueden modificarse de manera parcialmente independiente. Esto resulta particularmente importante porque pueden existir alteraciones de la calidad y resistencia óseas aun cuando la densidad mineral no muestre cambios equivalentes.

Justificación:

La salud ósea constituye un fenómeno biológico complejo y multidimensional que no depende exclusivamente de la densidad mineral ósea, sino de la interacción entre composición, mineralización, microarquitectura, remodelado, integridad de la matriz extracelular, vascularización, metabolismo celular y capacidad biomecánica del tejido. Estas dimensiones pueden modificarse progresivamente por factores relacionados con la edad, estado nutricional, actividad física, exposiciones ambientales, alteraciones metabólicas, inflamación, estrés oxidativo, glicación y otros componentes del exposoma. En consecuencia, la evaluación integral de la salud ósea requiere modelos capaces de relacionar los hallazgos estructurales con las condiciones metabólicas y funcionales que potencialmente participan en su génesis y progresión.

Bajo esta perspectiva, resulta pertinente desarrollar estrategias de investigación que trasciendan la descripción aislada de variables y permitan analizar sus relaciones dentro de un modelo integrador de causa–efecto. La metodología iterativa del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM) ofrece un marco para integrar información clínica, antecedentes, exposoma, indicadores metabólicos y hallazgos obtenidos mediante técnicas de imagen. Su articulación con la Biosemiómica Clínica Aplicada permite estudiar los signos observables como expresiones fenotípicas susceptibles de asociación con procesos biológicos subyacentes, manteniendo la distinción metodológica entre un marcador observable, una asociación estadística y un mecanismo causal demostrado.

En este contexto, la disponibilidad de registros clínico-metabólicos en la plataforma ATDM representa una oportunidad para caracterizar la prevalencia de alteraciones relacionadas con la salud ósea en la población evaluada y explorar su distribución de acuerdo con variables demográficas, clínicas y metabólicas. La incorporación de marcadores capilaroscópicos amplía este análisis al permitir estudiar patrones imagenológicos potencialmente relacionados con modificaciones tisulares, microcirculatorias, metabólicas y estructurales. Estos hallazgos pueden posteriormente integrarse dentro de una clasificación morfofuncional de la calidad ósea, concebida como una propuesta de investigación y no como sustituto de los métodos diagnósticos clínicos actualmente validados.

Por lo anterior, se justifica la realización de un estudio observacional, descriptivo, analítico, correlacional y propositivo, cuya finalidad sea integrar tres niveles complementarios de información: 1) evidencia científica disponible sobre salud y calidad ósea; 2) información clínico-metabólica procedente de los registros elegibles de la plataforma ATDM; y 3) marcadores imagenológicos capilaroscópicos y su integración mediante una clasificación morfofuncional propuesta. Esta estrategia permitirá estimar prevalencias, identificar patrones de coexistencia y analizar asociaciones entre variables, generando hipótesis mecanicistas susceptibles de ser contrastadas posteriormente mediante diseños prospectivos y métodos diagnósticos de referencia.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

El carácter propositivo del estudio reside, finalmente, en construir un modelo integrador de evaluación de la calidad ósea bajo el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada, en el cual los signos clínicos, metabólicos y capilaroscópicos puedan organizarse dentro de un continuo morfofuncional. La relevancia científica de esta aproximación consiste en explorar si la integración multimodal aporta información adicional para reconocer patrones asociados con el deterioro progresivo de la salud ósea y establecer las bases metodológicas para posteriores estudios de validación, reproducibilidad, capacidad predictiva y correlación con técnicas convencionales de evaluación ósea.

Objetivo general

Caracterizar la prevalencia y los patrones asociados con la salud ósea en los registros elegibles de la plataforma ATDM mediante un estudio observacional, descriptivo, analítico, correlacional y propositivo que integre evidencia científica, información clínico-metabólica, marcadores capilaroscópicos y una clasificación morfofuncional propuesta de calidad ósea, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada.

Objetivos específicos

1. Analizar la evidencia científica disponible relacionada con la prevalencia de las alteraciones de la salud y calidad ósea, así como con los principales determinantes clínicos, metabólicos, nutricionales, microcirculatorios, ambientales y asociados al envejecimiento descritos en la literatura.
2. Caracterizar la población de estudio a partir de los registros disponibles y elegibles de la plataforma ATDM, considerando las variables demográficas, clínicas, metabólicas y de exposición pertinentes para el análisis de la salud ósea.
3. Determinar la prevalencia de los principales indicadores clínico-metabólicos potencialmente relacionados con modificaciones de la salud ósea dentro de la población analizada.
4. Identificar y caracterizar los marcadores capilaroscópicos propuestos para la evaluación de la calidad ósea, analizando su frecuencia y distribución dentro de los registros elegibles.
5. Clasificar morfofuncionalmente la calidad ósea mediante la integración de los componentes propuestos de densidad ósea, microarquitectura, remodelado y mineralización, estableciendo categorías que permitan representar un continuo de conservación y deterioro de la estructura y función del tejido óseo.
6. Analizar la distribución de la calidad ósea según grupos etarios y otras variables relevantes, con el propósito de identificar diferencias en la frecuencia y expresión de los patrones morfofuncionales estudiados.
7. Evaluar las asociaciones estadísticas entre las variables clínico-metabólicas, los marcadores capilaroscópicos y las categorías morfofuncionales de calidad ósea, determinando la magnitud y dirección de las asociaciones observadas cuando la naturaleza y calidad de los datos lo permitan.
8. Integrar los hallazgos mediante un modelo de análisis causa–efecto, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada, diferenciando entre asociación observacional, hipótesis mecanicista y causalidad demostrada.
9. Proponer un modelo integrador de salud ósea que articule información clínica, metabólica, capilaroscópica y morfofuncional, con potencial utilidad para la generación de nuevas hipótesis sobre los procesos relacionados con el deterioro progresivo del tejido óseo.
10. Establecer las bases para estudios posteriores de validación, orientados a determinar la reproducibilidad, sensibilidad, especificidad, concordancia y capacidad predictiva de los marcadores y de la clasificación morfofuncional propuesta frente a métodos de referencia para la evaluación de la salud ósea.

En conjunto, estos objetivos plantean una secuencia de investigación que parte de la prevalencia poblacional, avanza hacia la caracterización clínico-metabólica y capilaroscópica, continúa con el análisis correlacional de los patrones observados y culmina con la construcción de un modelo morfofuncional propositivo de calidad ósea. De esta manera, el estudio busca generar evidencia exploratoria que permita formular hipótesis verificables acerca de las relaciones entre exposoma, metabolismo, microambiente tisular y modificaciones estructurales y funcionales del tejido óseo, susceptibles de ser evaluadas posteriormente mediante estudios longitudinales y de validación externa.

MÉTODOS

Se desarrolló un estudio observacional, descriptivo, analítico, correlacional exploratorio y propositivo, complementado mediante modelado estadístico in silico, orientado a caracterizar la prevalencia y explorar las posibles asociaciones entre los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización, orientado a caracterizar la prevalencia de la salud ósea mediante la integración de evidencia científica, información clínico-metabólica y hallazgos imagenológicos obtenidos bajo la metodología iterativa del Sistema

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

ATDM (Abuadili Garza V.A, 2025e) y su marco de Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A, 2025h, 2025i, 2025j, 2026a, 2026b) La unidad de análisis estuvo constituida por los registros disponibles y elegibles de la plataforma ATDM, complementados con la evaluación de los marcadores capilaroscópicos y con la clasificación morfofuncional propuesta de calidad ósea. (Abuadili Garza V.A., Sánchez Olivera F., Escalante Mendoza D., 2026) La unidad de análisis estuvo constituida por 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), utilizando la información obtenida mediante su metodología iterativa de valoración metabólica e identificación capilaroscópica, bajo el marco conceptual de la Biosemiómica Clínica Aplicada. Cada componente fue organizado en cinco categorías: densidad ósea (normal y disminuida grados 1–4), microarquitectura (normal y pérdida inicial, parcial, avanzada y extrema), remodelación (degeneración avanzada, degeneración moderada, homeostasis, regeneración moderada y regeneración avanzada) y mineralización (desmineralización avanzada, desmineralización moderada, homeostasis, sobremineralización moderada y sobremineralización avanzada). Se calcularon las frecuencias absolutas y relativas de cada categoría, siguiendo los principios de transparencia metodológica y presentación de resultados observacionales establecidos por la declaración STROBE (von Elm et al., 2007).

El análisis estadístico se estructuró en dos etapas. La primera correspondió al análisis descriptivo y de bondad de ajuste, mediante la prueba de chi-cuadrado de Pearson (χ^2), considerando una distribución teórica uniforme entre las cinco categorías de cada componente, cuatro grados de libertad y un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Para complementar la significancia estadística se calculó el tamaño del efecto mediante la w de Cohen, utilizando los criterios convencionales de interpretación: pequeño ($w = 0.10$), mediano ($w = 0.30$) y grande ($w = 0.50$). La segunda etapa consistió en el desarrollo de un modelo correlacional hipotético in silico mediante seis tablas de contingencia de 5×5, correspondientes a los cruces densidad–microarquitectura, densidad–remodelación, densidad–mineralización, microarquitectura–remodelación, microarquitectura–mineralización y remodelación–mineralización. Para estos cruces se contempló la prueba χ^2 de independencia, con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér, destinado a cuantificar la magnitud de asociación entre variables categóricas. Estos procedimientos se fundamentaron en los criterios de Cohen (1992) y en los métodos de análisis de datos categóricos descritos por Agresti (2007).

La tercera etapa comprendió la construcción de un modelo multivariable hipotético in silico, utilizando las frecuencias marginales de las 5,383 valoraciones como restricciones para generar distribuciones conjuntas sintéticas mediante una estructura de dependencia estadística predefinida. Se conservaron las cinco categorías de cada componente y se establecieron matrices de contingencia para explorar escenarios de asociación morfofuncional, particularmente entre las modificaciones de la densidad, la organización microarquitectónica, los estados bidireccionales del remodelado y las alteraciones de mineralización ósea. Los coeficientes χ^2 y V de Cramér derivados de esta etapa se consideraron exclusivamente resultados simulados, diferenciándolos de los datos descriptivos procedentes de la plataforma ATDM. La interpretación se orientó a identificar hipótesis mecanicistas susceptibles de contrastación clínica, evitando establecer relaciones causales a partir de asociaciones estadísticas. Finalmente, se propuso como fase posterior la validación de los modelos mediante registros individuales, análisis de sensibilidad y comparación con métodos diagnósticos de referencia, conforme a las recomendaciones de transparencia y reproducibilidad de la investigación observacional descritas por Vandenbroucke et al. (2007).

Para el procesamiento e interpretación de los datos de la plataforma Big Data del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), que utiliza tres fases de programación: la primera fase utiliza una programación DCU estableciendo un diseño basado en el usuario, que utiliza los Patrones de Valoración Metabólica (PVM), que en una segunda etapa utiliza un proceso ELT que organiza, combina y limpia los datos transformándolos antes de cargarlos, lo que nos permitirá establecer la prevalencia de las Causas de las Enfermedades, y en específico la prevalencia del Estado Nutricional, para utilizar la tercera etapa de programación que utiliza un proceso de descubrimiento de conocimiento a través de datos de tipo KDD para la conjunción y concatenación de los componentes que integrarán los Síndromes de Valoración Metabólica, específicamente los relacionados con la Calidad ósea.(Abuadili Garza V.A., Sánchez Olivera F., Escalante Mendoza D., 2026)

El estudio se estructuró bajo una estrategia multivariable destinada a diferenciar la coexistencia estadística de variables de una posible relación mecanicista: por tanto, un signo Capilaroscópico fue considerado inicialmente un hallazgo fenotípico observable y no evidencia directa de un mecanismo molecular. (Gorgoulis V, Adams PD, Alimonti A, e.t. A.l., 2019) Esta precaución resulta consistente con el carácter heterogéneo y multimarcador de la calidad ósea descrito en la literatura.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

Para sistematizar el análisis y el reporte de resultados, la metodología se dividió en cuatro partes secuenciales y complementarias:
1) revisión bibliográfica de la prevalencia de la calidad ósea;
2) análisis causa–efecto de la prevalencia conforme a los datos de la plataforma del Sistema ATDM;
3) prevalencia de los marcadores capilaroscópicos de calidad ósea; y
4) estadística inferencial.
Esta organización permitió avanzar desde la evidencia publicada hacia los datos observacionales del estudio y, posteriormente, integrar los componentes funcionales e imagenológicos en un modelo morfofuncional.
La población analítica final quedó constituida por 5383 individuos que satisficieron los criterios establecidos para el análisis morfofuncional.
Criterios de exclusión:
Se excluyeron los registros con información insuficiente para determinar la variable principal de estudio; duplicados o valoraciones repetidas que no pudieran diferenciarse adecuadamente como observaciones longitudinales; registros con errores de captura que comprometieran su interpretación; mediciones de bioimpedancia incompletas o técnicamente no válidas; e imágenes capilaroscópicas con calidad insuficiente por desenfoque, iluminación inadecuada, artefactos, movimiento, obstrucción del campo o imposibilidad de identificar de manera reproducible las características definidas por el protocolo.
Asimismo, para los análisis de asociación específicos se excluyeron únicamente de la comparación correspondiente los sujetos sin información suficiente de alguna de las variables requeridas, evitando imputar artificialmente la ausencia de un dato como resultado negativo. Cuando existieran condiciones transitorias capaces de modificar sustancialmente una medición —por ejemplo, circunstancias que alterasen de manera aguda la distribución de líquidos corporales o la calidad de la adquisición capilaroscópica—, el registro debía considerarse no evaluable para esa medición conforme a los criterios técnicos previamente definidos. Esta estrategia permite diferenciar una ausencia verdadera del marcador de un dato faltante o técnicamente no interpretable, reduciendo el riesgo de sesgo de clasificación.

RESULTADOS

Históricamente, la medicina evaluaba la salud de los huesos basándose casi únicamente en la *densidad mineral ósea* (DMO) medida por densitometría. Sin embargo, desde principios de los años 2000, la comunidad científica demostró que la densidad es solo una parte de la ecuación. La **calidad ósea** —que integra la microarquitectura del hueso, el recambio óseo, la acumulación de microdaños y la calidad del colágeno— se convirtió en un campo de investigación masivo porque explica por qué muchas personas sufren fracturas aun teniendo densitometrías normales. Para poder presentar los resultados de la presente investigación, primeramente, realizamos un modelado de integración morfofuncional del tejido óseo, basados en la evaluación capilaroscópica del tejido óseo publicada en la revista ICEEM Esta es una forma de ver la calidad ósea no solo como la cantidad de mineral en los huesos, sino en relación con las estructuras y la microarquitectura del hueso, la vascularización, la actividad celular, el remodelado y la mineralización. (Brandi, M. L., 2009) Esto es consistente con la noción de calidad ósea en el contexto actual en el que la resistencia mecánica se asocia con la masa ósea y la estructura y organización de la matriz (Boskey A.L., & Imbert L., 2017).
Conforme a lo establecido en la metodología, procedemos a reportar los resultados del presente estudio, hemos dividido el reporte de los mismos en 5 partes a saber:
1.- <u>Revisión bibliográfica sobre la prevalencia de la Calidad Ósea:</u>
La revisión de la literatura muestra que la calidad ósea no dispone de una prevalencia poblacional única y universal, debido a que constituye un constructo multidimensional que comprende microarquitectura, remodelado, mineralización, propiedades de la matriz y acumulación de microdaño, y cuya estimación depende del método empleado. Por ello, las cifras aportadas en la información de base —incluidos valores cercanos al 60% en determinados contextos— deben interpretarse con cautela y no extrapolarse directamente a la población mundial.
No existe una cifra exacta ni estática de artículos científicos sobre "calidad ósea", ya que el número crece día con día. Sin embargo, se pueden estimar que entre las decenas de miles de publicaciones que existen en relación a la densidad ósea, si realizamos una búsqueda indexada en las principales bases de datos médicas globales, el volumen de literatura científica varía según el idioma y los criterios de los motores de búsqueda:
Búsqueda Global en Inglés (*Bone Quality*): La inmensa mayoría de la producción científica internacional se publica en inglés. En PubMed (la base de datos de literatura biomédica de la Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU.), la combinación de términos relacionados con *"bone quality"* arroja más de 30,000 a 40,000 artículos científicos

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

acumulados a lo largo de las últimas décadas. Si se realiza una búsqueda más abierta en motores como Google Scholar utilizando el término en inglés, la cifra supera los 2 millones de resultados, que abarcan desde artículos especializados y revisiones clínicas hasta tesis y capítulos de libros médicos.

Búsqueda en Español (*Calidad Ósea*): Si limitamos el rastreo estrictamente al término en español: En repositorios científicos de habla hispana como SciELO, Dialnet o Latindex, se registran entre 1,500 y 3,000 artículos dedicados específicamente a la calidad ósea o que la incluyen como variable principal de estudio. En Google Scholar, la frase exacta *"calidad ósea"* devuelve cerca de 18,000 resultados en total.

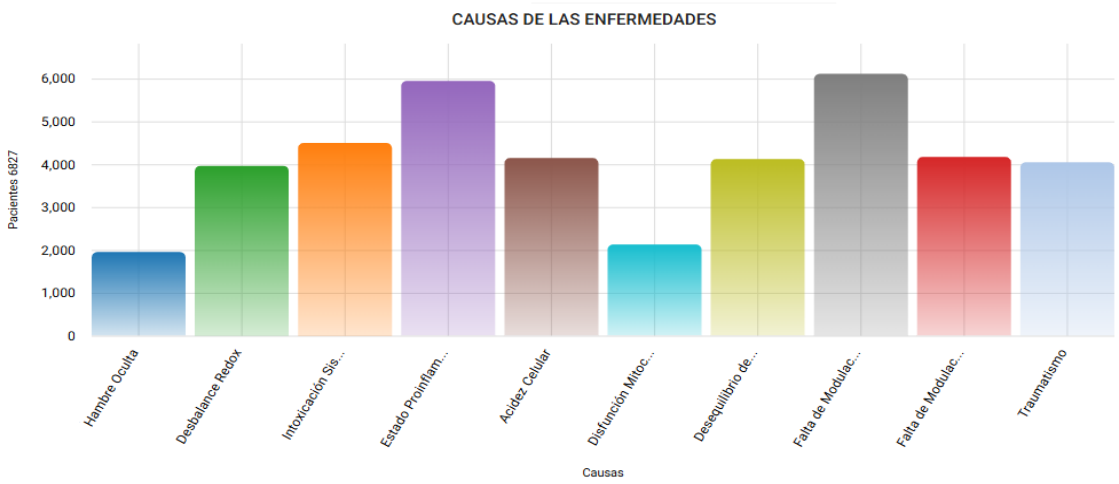
Cuando la microarquitectura se utiliza como aproximación cuantificable de la calidad ósea mediante Trabecular Bone Score (TBS), los estudios poblacionales confirman una proporción importante de sujetos con alteraciones aun sin considerar exclusivamente la densidad mineral ósea. En una cohorte australiana seleccionada aleatoriamente, el 41% de los hombres y 46% de las mujeres presentaron microarquitectura parcialmente degradada o degradada; específicamente, el 32% y 9% de los hombres y el 29% y 17% de las mujeres fueron clasificados, respectivamente, en estas categorías. (Anderson, K. B., Holloway-Kew, K. L., Hans, D., e.t. A.l., 2019)

El comportamiento de la calidad ósea muestra además una clara dependencia de la **edad y el sexo**. Durante la infancia y adolescencia, el TBS aumenta fundamentalmente durante el desarrollo puberal y presenta trayectorias específicas por sexo; en una cohorte de 2,014 participantes de 5–20 años, el incremento ocurrió más tempranamente en las mujeres, lo que respalda la necesidad de utilizar referencias diferenciadas por edad, sexo y maduración.(Kalkwarf HJ, Shepherd JA, Hans D, Gonzalez Rodriguez E, e.t. A.l. 2022) En adultos, los estudios poblacionales muestran un deterioro progresivo del TBS con la edad: en la cohorte australiana, los valores medios disminuyeron desde **1.362 a 1.138 en hombres** y desde **1.406 a 1.181 en mujeres**, al comparar los grupos de 20–29 años con ≥80 años.(Anderson, K. B., Holloway-Kew, K. L., Hans, D., e.t. A.l., 2019) Este patrón también se observa en población mexicana: en sujetos ≥50 años sin fracturas, el TBS femenino descendió desde **1.359 ± 0.118 entre 50–59 años hasta 1.211 ± 0.128 a partir de los 80 años**, confirmando un deterioro de la microarquitectura asociado al envejecimiento.

2.- Análisis causa – efecto del deterioro de la Calidad Ósea bajo la metodología del Sistema ATDM:

Al analizar la big data del Sistema ATDM, podemos ver que, si estudiamos los patrones e indicadores del Sistema ATDM, relacionados con la Calidad Ósea, donde podemos estudiar que en la población analizada por la plataforma Big Data del Sistema ATDM (n = 6,827), los indicadores reportados muestran una elevada coexistencia de factores potencialmente relacionados con el metabolismo y la calidad del tejido óseo: falta de modulación de la expresión genética 89% (6,123 casos), estado proinflamatorio 87% (5,958), intoxicación sistémica 66% (4,511), falta de modulación de biofrecuencias 61% (4,185), acidez celular 60% (4,161), desequilibrio de la microbiota 60% (4,135), traumatismo 59% (4,059), desbalance redox 58% (3,977), disfunción mitocondrial 31% (2,140) y hambre oculta 28% (1,965).

Figura 4.- Prevalencia de las causas de las enfermedades conforma a la Plataforma Big Data del Sistema ATDM.



Causa	Muestra	Total	Porcentaje
Hambre Oculta	6827	1965	28
Desbalance Redox	6827	3977	58
Intoxicación Sistémica	6827	4511	66
Estado Proinflamatorio	6827	5958	87
Acidez Celular	6827	4161	60
Disfunción Mitocondrial	6827	2140	31
Desequilibrio de la Microbiota	6827	4135	60
Falta de Modulación de Expresión Genética	6827	6123	89
Falta de Modulación de Biofrecuencias	6827	4185	61
Traumatismo	6827	4059	59

Por lo que dentro del modelo propuesto para estudiar la prevalencia de la calidad ósea, existe una relación directamente proporcional de diversas causas de las enfermedades planteadas por el Dr. Victor Abuadili, como lo son el hambre oculta que medida mediante el indicador nutricional de dicha plataforma big data, puede organizar la alteración de la salud ósea inicialmente como: **alteración por falta de aporte**, vinculando operativamente el hambre oculta con una disponibilidad insuficiente de micronutrientes necesarios para mineralización, matriz y remodelado.(Chen M, Wang J, Wei J and Feng H., 2026) Sin embargo, estos porcentajes representan prevalencias concurrentes y no demuestran por sí mismos causalidad ni permiten sumar sus valores, por lo que la relación planteada debe interpretarse como una asociación mecanicista a contrastar.(Luo J., Wu L., Xu Y., Zhang J., Zhao X. and Wang X., 2025)

La segunda dimensión, denominada **alteración por falta de distribución**, puede relacionarse hipotéticamente con el eje **microcirculación–inflamación–glicación–desbalance redox**. Un estado proinflamatorio persistente y el estrés oxidativo pueden alterar la función vascular y el microambiente óseo, mientras que los productos finales de glicación avanzada (AGEs) pueden acumularse en la matriz y modificar las interacciones colágeno-mineral y la fragilidad del hueso; de manera consistente, la literatura relaciona el estrés oxidativo con remodelado y microestructura ósea (Shen X, Zhang M, Cai H, Leslie WD, e.t. A.l., 2024) y documenta asociaciones entre AGEs y alteraciones esqueléticas.(Vashishth D, Dhaliwal R, Rubin M., 2025; Stephen SJ, Sroga GE, Vashishth D., 2025) En este modelo, una microcirculación insuficiente podría comprometer localmente la llegada de **oxígeno y nutrientes**; la hipoxia sostenida modifica la diferenciación osteoblástica, la mineralización de la matriz y la actividad osteoclástica, proporcionando una vía biológicamente plausible mediante la cual la alteración vascular contribuya al deterioro progresivo de la calidad ósea.(Usategui-Martín R, Rigual R, Ruiz-Mambrilla M, Fernández-Gómez JM, Dueñas A, Pérez-Castrillón JL., 2022; Yellowley CE, Genetos DC., 2019)

Finalmente, la **alteración por falta de asimilación** puede concebirse como la convergencia entre disponibilidad nutricional, utilización metabólica y capacidad del tejido para mantener su remodelado y homeostasis mineral. Bajo esta hipótesis, hambre oculta,(Abuadili Garza V.A., 2025) inflamación,(Abuadili Garza V.A. 2025) desbalance redox,(Abuadili Garza V.A, 2025) disfunción mitocondrial (Abuadili Garza V.A., 2025) y las demandas de reparación derivadas del traumatismo podrían interactuar con la perfusión y el metabolismo óseo; una reducción patológica y persistente del aporte vascular favorecería **isquemia/hipoxia**, alteración energética celular y cambios en formación, resorción y mineralización,(Wauquier F, Leotoing L, Coxam V, e.t. A.l. 2009) relacionado con la causa de la enfermedad de Acidez Celular.

Por tanto, la expresión coloquial de que el hueso finalmente **"se seca"** debería operacionalizarse científicamente como *deterioro de la perfusión y del microambiente tisular con alteración de la hidratación/matriz, remodelado y mineralización*. (Wolfgang M., 2022)

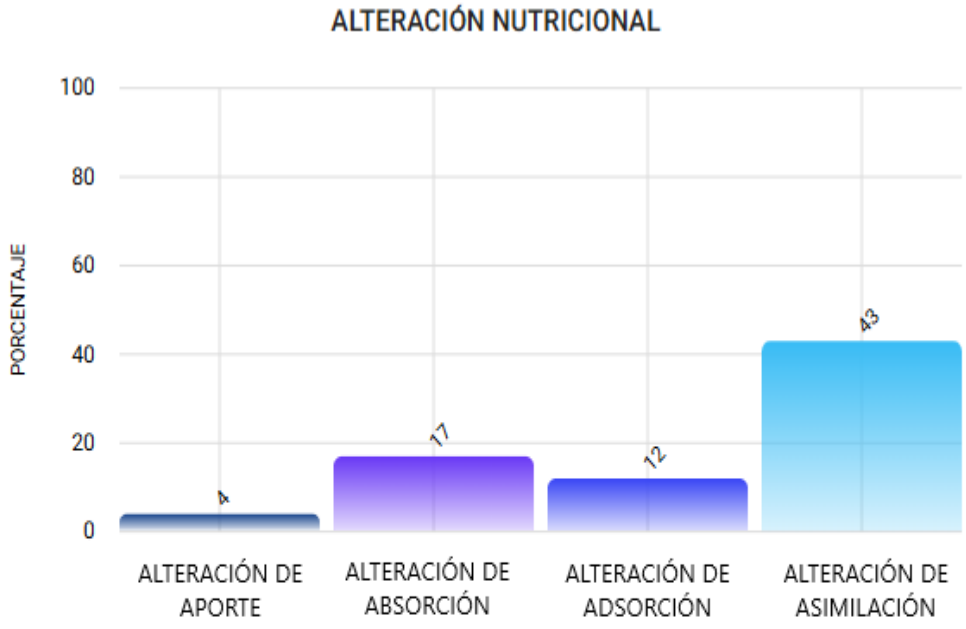
Hasta hace unos años podía proponerse, pero no afirmarse todavía como resultado demostrado, sin embargo, con la evidencia reciente, a partir de los datos actuales que se han obtenido por medio de la metodología iterativa del sistema ATDM,(Abuadili Garza V.A., 2025e) se puede demostrar que este continuum de la salud ósea altera la homeostasis de minerales de transición;(Abuadili Garza V.A., 2026g) hay hipoxia e isquemia tisular que asociada a un desbalance rédox (Abuadili Garza V.A, 2025i, 2025j, 2026ñ) y glicación ósea, (Abuadili Garza V.A., 2026n), terminará generando una acidez celular que a su vez hace que se repita en un continuo y continuado circulo vicioso hasta una disfunción mitocondrial, (Abuadili Garza V.A., 2026u, 2026v, 2026w) asociada a una osteomicrobiología alterada.(Abuadili Garza V.A., 2026q, 2026x, Abuadili Garza V.A. & García Súchil M., 2026ª, 2026b)

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

En el análisis de la población estudiada, en la Figura 5 analizamos la evaluación de los **factores que alteran la distribución de minerales en el tejido óseo** identificó **5,383 casos dentro de una muestra total de 6,827 sujetos, equivalente a una prevalencia global del 76%**, de acuerdo con los resultados mostrados en la figura. Desde una perspectiva morfofuncional, este hallazgo puede organizarse en tres mecanismos nutricionales complementarios: **alteración por falta de aporte**, cuando la disponibilidad dietética de minerales y micronutrientes necesarios para el metabolismo óseo resulta insuficiente; **alteración por falta de distribución**, cuando los minerales disponibles no alcanzan, se transportan inadecuadamente o no se incorporan de manera homogénea al microambiente óseo; y **alteración por falta de asimilación**, relacionada con deficiencias en los procesos de absorción, biodisponibilidad o utilización metabólica. Esta clasificación debe entenderse como el **modelo interpretativo del estudio** y no como tres diagnósticos clínicos establecidos por separado en la literatura. (Abuadili Garza V.A., 2026h) La evidencia externa respalda, no obstante, la relevancia conjunta de calcio, fósforo, magnesio y vitamina D para la mineralización y el mantenimiento de la integridad esquelética.

Figura 5.- Alteración Nutricional en la Morfofisiología de la Calidad Ósea.



VALORACIONES METABÓLICAS

ESTADO NUTRICIONAL	Muestra	Total	Porcentaje
Alteración de Aporte	6827	330	4
Alteración de Absorción	6827	1208	17
Alteración de Adsorción	6827	876	12
Alteración de Asimilación	6827	2969	43

Figura obtenida de la Plataforma Big Data del Sistema ATDM.

Mecanicistamente, la falta de aporte puede disminuir el sustrato mineral disponible para formación y remodelado óseo, mientras que la falta de asimilación puede producir un resultado semejante aun cuando el aporte dietético sea aparentemente suficiente. La absorción intestinal eficiente de calcio y fosfato es indispensable para una mineralización adecuada y está regulada, entre otros factores, por la vitamina D; además, enfermedades gastrointestinales que producen malabsorción de calcio, fosfato y vitamina D se han relacionado con reducción de la masa y mineralización óseas.(Abuadili Garza V.A., 2026h) La tercera dimensión propuesta, la falta de distribución, puede interpretarse como una alteración posterior a la disponibilidad y absorción, relacionada con la homeostasis, transporte y utilización tisular

de los minerales; sin embargo, la literatura no establece esta categoría con los mismos criterios operativos utilizados en el presente estudio, por lo que su asociación causal deberá ser validada independientemente.

Figura 6.- Factores que la distribución de minerales en el hueso.

FACTORES QUE ALTERAN LA DISTRIBUCIÓN DE MINERALES EN EL HUESO					
TIPO DE ALTERACIÓN		IMAGEN	MUESTRA	CASOS	PORCENTAJE
ALTERACIÓN DE APORTE			6827	330	4%
ALTERACIÓN POR DISTRIBUCIÓN	ALTERACIÓN DE ABSORCIÓN		6827	1208	17%
	ALTERACIÓN DE ADSORCIÓN		6827	876	12%
ALTERACIÓN POR FALTA DE ASIMILACIÓN			6827	2969	43%
TOTAL DE CASOS			6827	5383	76%

Figura de creación propia.

En conjunto, la prevalencia observada del 76% (5,383/6,827) sugiere que las alteraciones relacionadas con la disponibilidad y manejo de minerales constituyen un componente frecuente dentro de la población analizada y justifican estudiar la calidad ósea más allá de la cantidad mineral aislada. Los resultados apoyan así un modelo en el cual aporte → absorción/asimilación → distribución/utilización → mineralización ósea representan etapas funcionalmente interdependientes: una alteración en cualquiera de ellas podría modificar la homeostasis mineral y, secundariamente, componentes de la calidad ósea. Esta interpretación es congruente con revisiones que señalan que la salud esquelética depende de la interacción entre calcio, fósforo, magnesio, vitamina D y otros micronutrientes, aunque la magnitud del efecto depende del estado nutricional, edad, enfermedad concomitante y contexto poblacional.

3.- Prevalencia por Marcador Capilaroscópico de la Calidad Ósea:

El análisis morfofuncional representado en la figura permitió organizar los patrones capilaroscópicos en cuatro ejes y veinte estados fenotípicos. La densidad mostró un desplazamiento unidireccional desde densidad normal → disminución grado 1 → grado 2 → grado 3 → grado 4; paralelamente, la microarquitectura evolucionó desde un patrón normal hacia cambios iniciales, pérdida parcial, avanzada y extrema. En contraste, remodelado y mineralización mostraron comportamientos bidireccionales alrededor de un estado central de homeostasis: el remodelado osciló entre degeneración avanzada/moderada → homeostasis → sobrerregeneración moderada/avanzada, mientras que la mineralización comprendió desmineralización avanzada/moderada → homeostasis → sobremineralización moderada/avanzada. Este comportamiento resulta biológicamente plausible porque el recambio condiciona la edad del tejido y, con ello, su grado de mineralización, mientras que microarquitectura, matriz y mineralización contribuyen conjuntamente a la resistencia del hueso.

Al correlacionar descriptivamente estos patrones con las 10 Causas de las Enfermedades del Sistema ATDM,(Abuadili Garza V.A., 2025a, 2025b) los resultados permiten proponer que diferentes combinaciones causales podrían converger sobre un mismo fenotipo óseo: el hambre oculta sobre la disponibilidad de sustratos para mineralización; desbalance redox, (Abuadili Garza V.A., 2026 estado proinflamatorio y disfunción mitocondrial sobre el microambiente y remodelado; los trastornos metabólicos y la glicación sobre matriz y propiedades biomecánicas; y el traumatismo sobre las demandas locales de reparación y remodelación.

La evidencia externa fortalece especialmente el eje metabólico: los AGEs pueden acumularse en la matriz ósea y modificar sus propiedades, aunque su relación causal con fragilidad continúa siendo objeto de investigación. Por consiguiente, la figura 6 debe interpretarse como una clasificación fenotípica y una propuesta de correlación mecanicista, no como demostración de que una imagen capilaroscópica aislada diagnostique osteoporosis, densidad

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

mineral o alguno de los mecanismos moleculares señalados; esa correspondencia requerirá validación frente a métodos de referencia y análisis estadístico independiente.

En ese orden de ideas y conforme a la tabla 1 presenta los resultados del análisis descriptivo de la prevalencia de los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización ósea, obtenidos a partir de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM, mediante la identificación y clasificación de los marcadores capilaroscópicos conforme al marco metodológico de la Biosemiómica Clínica Aplicada.

En relación con la densidad ósea, se identificó una prevalencia del 8% (n = 430) de registros clasificados como normales, mientras que el 92% presentó algún grado de disminución, distribuido en grado 1 (23%; n = 1,238), grado 2 (35%; n = 1,884), grado 3 (20%; n = 1,077) y grado 4 (14%; n = 754), predominando la disminución de densidad grado 2.

Respecto a la microarquitectura ósea, el 21% (n = 1,130) presentó características normales, mientras que el 79% mostró algún grado de alteración estructural, distribuido en pérdida inicial (25%; n = 1,346), pérdida parcial (32%; n = 1,723), pérdida avanzada (13%; n = 699) y pérdida extrema (9%; n = 485). Estos hallazgos evidencian un predominio de categorías asociadas con modificaciones de la densidad y la organización microarquitectónica, particularmente en sus estadios intermedios, lo que permite caracterizar la distribución de los estados estructurales del tejido óseo dentro de la población evaluada.

Por su parte, el análisis de la remodelación ósea mostró una distribución bidireccional respecto de la homeostasis, identificándose degeneración avanzada en el 13% (n = 700), degeneración moderada en el 18% (n = 969), remodelado en homeostasis en el 39% (n = 2,099), regeneración moderada en el 22% (n = 1,184) y regeneración avanzada en el 8% (n = 431). En conjunto, el 31% de los registros presentó categorías degenerativas y el 30% categorías regenerativas, lo que refleja una distribución relativamente equilibrada entre ambas direcciones del remodelado, con predominio de la categoría homeostática.

En cuanto a la mineralización ósea, se identificó desmineralización avanzada en el 27% (n = 1,453), desmineralización moderada en el 36% (n = 1,938), mineralización en homeostasis en el 11% (n = 592), sobremineralización moderada en el 17% (n = 915) y sobremineralización avanzada en el 9% (n = 485). Destaca que el 63% de las valoraciones presentó categorías de desmineralización, frente al 26% correspondiente a sobremineralización, evidenciando un predominio de las alteraciones clasificadas como déficit de mineralización.

Tabla 1.- Prevalencia conforme a los componentes Capilaroscópicos de la Calidad Ósea:

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

PREVALENCIA DE LA CALIDAD ÓSEA					
MARCADOR CAPILAROSCÓPICO					
DENSIDAD ÓSEA	NORMAL	DIMINUIDA GRADO 1	DIMINUIDA GRADO 2	DISMINUIDA GRADO 3	DIMINUIDA GRADO 4
MUESTRA	5383	5383	5383	5383	5383
POSTIVAS	430	1238	1884	1077	754
PORCENTAJE	8%	23%	35%	20%	14%
MICROARQUITECTURA ÓSEA	NORMAL	PÉRDIDA INICIAL	PÉRDIDA PARCIAL	PERDIDA AVANZADA	PÉRDIDA EXTREMA
MUESTRA	5383	5383	5383	5383	5383
POSTIVAS	1130	1346	1723	699	485
PORCENTAJE	21%	25%	32%	13%	9%
REMODELACIÓN ÓSEA	DEGENERACIÓN AVANZADA	DEGENERACIÓN MODERADA	REMODELADO HOMEOSTÁSIS	REGENERACIÓN MODERADA	REGENERACIÓN AVANZADA
MUESTRA	5383	5383	5383	5383	5383
POSTIVAS	700	969	2099	1184	431
PORCENTAJE	13%	18%	39%	22%	8%
MINERALIZACIÓN ÓSEA	DESMINERALIZACIÓN AVANZADA	DESMINERALIZACIÓN MODERADA	MINERALIZACIÓN HOMEOSTÁSIS	SOBRE MINERALIZACIÓN MODERADA	SOBRE MINERALIZACIÓN AVANZADA
MUESTRA	5383	5383	5383	5383	5383
POSTIVAS	1453	1938	592	915	485
PORCENTAJE	27%	36%	11%	17%	9%

En conjunto, estos resultados permiten identificar una distribución heterogénea de los cuatro componentes de la calidad ósea, caracterizada por una elevada frecuencia de categorías de disminución de densidad, pérdida microarquitectura y desmineralización, mientras que el remodelado presenta una mayor concentración en homeostasis. Desde la perspectiva del Sistema ATDM, estos hallazgos constituyen una base descriptiva para desarrollar modelos de asociación morfofuncional y explorar las posibles interacciones entre los procesos estructurales, metabólicos y de regulación mineral del tejido óseo, cuya interpretación clínica requiere validación mediante métodos diagnósticos de referencia.

4.- Estadística Inferencial de la Calidad Ósea:

El análisis estadístico de las 5,383 valoraciones metabólicas susceptibles de valoración de la Calidad Ósea encontradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM, permitió caracterizar la distribución de los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea para lo cual se realizó una estadística inferencial, donde utilizamos la **prueba de Chi-cuadrado (χ^2) de bondad de ajuste** para evaluar si una muestra de datos observados se ajusta a una distribución de probabilidades teórica o esperada.(McHugh ML., 2013)

El cálculo de la prueba χ^2 (chi-cuadrado) de bondad de ajuste para los cuatro componentes de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización, utilizando las frecuencias absolutas de la tabla original de la prevalencia, bajo la siguiente fórmula:

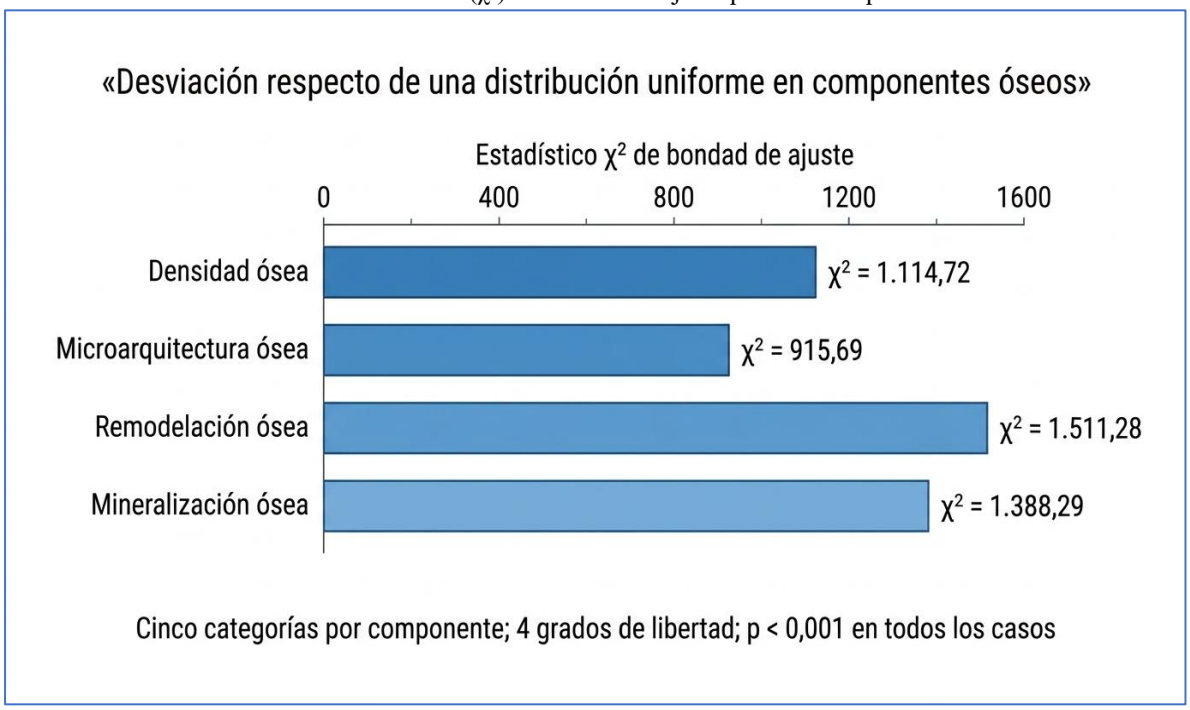
$$E = \frac{5383}{5} = 1076.6$$

Para cada componente se utilizó como hipótesis nula una distribución uniforme entre las cinco categorías, con una frecuencia esperada de los grados de libertad que la bondad de ajuste nos integra en: (gl=5-1=4).

La gráfica 1 presenta los resultados del análisis estadístico de los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea, obtenidos a partir de 5,383 valoraciones de la plataforma Big Data del Sistema ATDM, mediante la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de bondad de ajuste, considerando cinco categorías por componente y cuatro grados de libertad. Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas respecto de una distribución uniforme en todos los

componentes ($p < 0.001$), identificándose la mayor desviación en la remodelación ósea ($\chi^2 = 1,511.28$), seguida de la mineralización ósea ($\chi^2 = 1,388.29$), la densidad ósea ($\chi^2 = 1,114.72$) y la microarquitectura ósea ($\chi^2 = 915.69$).

Gráfica 1.- Prueba de Chi-cuadrado (χ^2) de bondad de ajuste para los componentes de la Calidad Ósea.



Gráfica de creación propia.

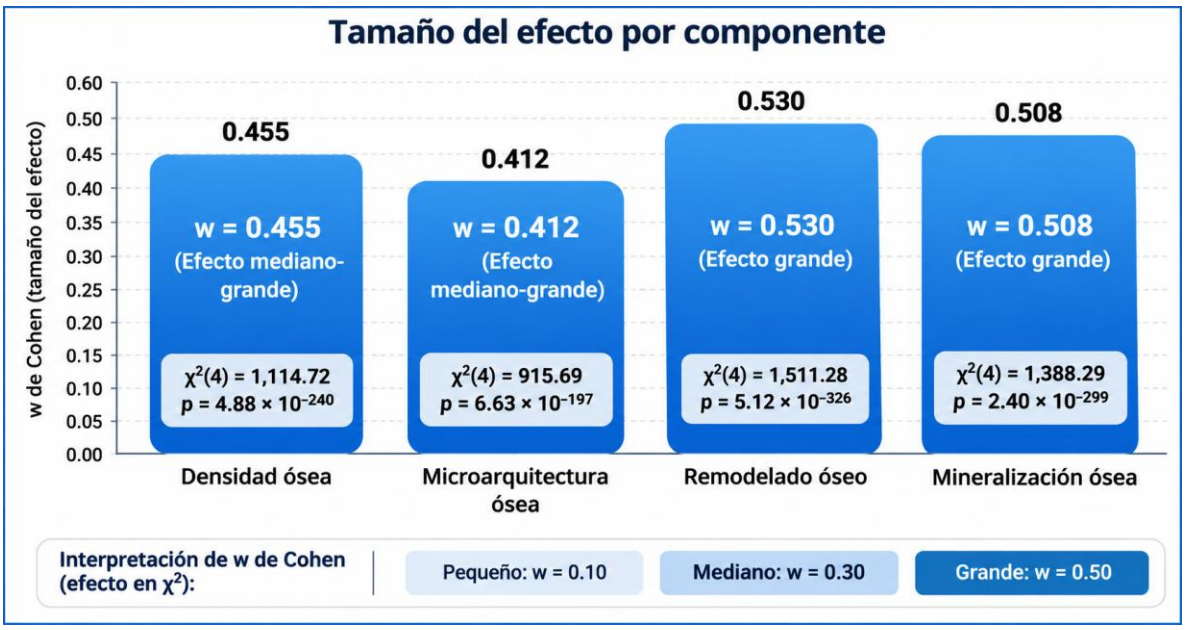
Estos hallazgos evidencian una distribución heterogénea de las categorías de cada componente, con predominio de determinados estados morfofuncionales, lo que permite caracterizar estadísticamente los patrones de calidad ósea registrados bajo la metodología del Sistema ATDM y su marco de Biosemiómica Clínica Aplicada.

A los datos anteriores se le aplicó la w de Cohen, que es el **tamaño del efecto** estandarizado para pruebas de bondad de ajuste y contingencia de chi-cuadrado. Mide la discrepancia entre las proporciones de categorías observadas y esperadas en una escala independiente del tamaño de la muestra, lo que la convierte en el parámetro de entrada idóneo para el análisis de potencia y la planificación del tamaño muestral.

La gráfica 2 presenta el tamaño del efecto estadístico mediante la w de Cohen, calculado a partir de la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de bondad de ajuste aplicada a los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas de la plataforma Big Data del Sistema ATDM. Los resultados muestran valores de $w = 0.455$ para densidad ósea, $w = 0.412$ para microarquitectura ósea, $w = 0.530$ para remodelado óseo y $w = 0.508$ para mineralización ósea.

Gráfica 2.- Tamaño del efecto de w de Cohen para los componentes de la Calidad Ósea.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH



Conforme a los criterios convencionales de interpretación de Cohen, que establecen un efecto pequeño (w = 0.10), mediano (w = 0.30) y grande (w = 0.50), la densidad y la microarquitectura presentan tamaños del efecto intermedios entre mediano y grande, mientras que el remodelado y la mineralización ósea alcanzan tamaños del efecto grandes. El remodelado óseo registra la mayor magnitud (w = 0.530), seguido de la mineralización (w = 0.508), la densidad (w = 0.455) y la microarquitectura (w = 0.412).

Desde la perspectiva estadística y morfofuncional de la calidad ósea, estos resultados indican que los cuatro componentes presentan desviaciones de magnitud relevante respecto de una distribución uniforme de sus cinco categorías, siendo particularmente pronunciadas en los procesos de remodelado y mineralización ósea. La magnitud de la w de Cohen complementa la significancia estadística previamente identificada mediante χ^2 ($p < 0.001$), permitiendo distinguir no solamente la existencia de diferencias en las frecuencias observadas, sino también su importancia cuantitativa.

Bajo el marco metodológico del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada, estos hallazgos contribuyen a caracterizar la heterogeneidad de los estados morfofuncionales de la calidad ósea y fundamentan el desarrollo de modelos correlacionales posteriores. No obstante, debe precisarse que la w de Cohen cuantifica la desviación respecto de la distribución teórica uniforme, no la intensidad del deterioro óseo ni la asociación entre componentes, por lo que su interpretación clínica requiere considerar las prevalencias específicas de cada categoría y su posterior validación mediante análisis multivariables de asociación.

Sin embargo, los datos de chi- cuadrada para determinar la frecuencia y una w de Cohen que nos determina el tamaño del efecto por componente, no nos permitirá calcular una V de Cramér válida para la finalidad de establecer la intensidad del deterioro óseo, ni la asociación entre componentes, por lo que la parte propositiva de este estudio es hacer un modelado estadístico inferencial in silico para investigar la asociación estadística entre densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización ósea, donde se deben cruzar las categorías de cada componente para los mismos 5,383 registros.

Por ejemplo, para densidad ósea frente a microarquitectura ósea, se requiere una matriz de 5 × 5 que indique cuántos pacientes presentan cada combinación. A partir de ella se calcularían:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \cdot \min(r - 1, c - 1)}}$$

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

En una tabla de 5 × 5, los grados de libertad serían 16, no 4. Por ello se propone un modelo estadístico multivariable in silico para explorar las asociaciones entre los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización ósea, conservando las cinco categorías y las frecuencias absolutas de la tabla original. Por lo que proponemos una matriz de seis asociaciones bivariadas:

Densidad ósea × Microarquitectura ósea.
Densidad ósea × Remodelación ósea.
Densidad ósea × Mineralización ósea.
Microarquitectura ósea × Remodelación ósea.
Microarquitectura ósea × Mineralización ósea.
Remodelación ósea × Mineralización ósea.

Esta matriz permite establecer la fuerza de asociación entre los componentes morfofuncionales de la calidad ósea bajo la metodología del Sistema ATDM, sin confundir una distribución de prevalencias con evidencia de correlación clínica.

El modelo tiene tres objetivos:

1.- Reproducir las prevalencias marginales reportadas por el Sistema ATDM,
2.- Generar una distribución conjunta hipotética de los cuatro componentes,
3.- Cuantificar las asociaciones mediante χ^2 de independencia y V de Cramér.

Posteriormente se calcularon las tablas de contingencia, el estadístico χ^2 de independencia, los grados de libertad, el valor p y el coeficiente V de Cramér.

Para cada cruce:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{5383(5-1)}}$$

Es así como se desarrollan seis tablas de contingencia de 5 × 5, correspondientes a todas las combinaciones posibles entre los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización.

El modelo utiliza 5,383 registros sintéticos, conservando las frecuencias marginales originales de la plataforma ATDM. Cada tabla representa un cruce hipotético entre dos componentes, con 16 grados de libertad para la prueba χ^2 de independencia. Las frecuencias conjuntas se generan mediante un modelo multivariable de dependencia estadística conforme a los siguientes resultados:

En la tabla 2, se presenta el modelo estadístico de contingencia 5 × 5 desarrollado para analizar la asociación hipotética entre la densidad ósea y la microarquitectura ósea, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas procedentes de la plataforma Big Data del Sistema ATDM. Para la densidad ósea se establecieron cinco categorías morfofuncionales: normal (n = 430), disminuida grado 1 (n = 1,238), disminuida grado 2 (n = 1,884), disminuida grado 3 (n = 1,077) y disminuida grado 4 (n = 754). Paralelamente, la microarquitectura ósea se clasificó en normal (n = 1,130), pérdida inicial (n = 1,346), pérdida parcial (n = 1,723), pérdida avanzada (n = 699) y pérdida extrema (n = 485), conforme a los datos previamente reportados. La distribución marginal evidencia un predominio de la disminución de densidad ósea grado 2 (35%) y de la pérdida parcial de microarquitectura (32%), lo que permite identificar las categorías de mayor prevalencia en ambos componentes.

La integración de estas variables en una matriz de contingencia constituye la base metodológica para explorar la coexistencia de alteraciones estructurales y morfofuncionales del tejido óseo mediante la metodología del Sistema ATDM y su marco de Biosemiómica Clínica Aplicada.

Tabla 2.-Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Densidad Ósea y la Microarquitectura Ósea:

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
DENSIDAD ÓSEA VS. MICROARQUITECTURA ÓSEA						
DENSIDAD / MICROARQUITECTURA	NORMAL	PERDIDA INICIAL	PÉRDIDA PARCIAL	PÉRDIDA AVANZADA	PÉRDIDA EXTREMA	TOTAL
NORMAL	323	92	15	0	0	430
DIMINUIDA GRADO 1	525	445	251	13	4	1238
DIMINUIDA GRADO 2	246	602	770	217	49	1884
DIMINUIDA GRADO 3	32	175	485	258	127	1077
DISMINUIDA GRADO 4	4	32	202	211	305	754
TOTAL:	1130	1346	1723	699	458	5383
χ^2 (gl = 16)		3267.19		V de Cramér		0.390

Para explorar la magnitud de asociación entre ambos componentes, se propone utilizar la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér. En el modelo hipotético in silico desarrollado previamente, se obtuvo un estadístico $\chi^2 = 3{,}267.19$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.390, indicativo de una asociación de magnitud moderada dentro del escenario simulado. Este comportamiento plantea la hipótesis de que las modificaciones de la densidad ósea podrían coexistir con alteraciones progresivas de la microarquitectura, particularmente en los estados de mayor deterioro estructural. Desde una perspectiva mecanicista, esta posible relación resulta relevante para estudiar la interacción entre la masa ósea, la organización trabecular, la conectividad estructural y los procesos de remodelación tisular. No obstante, debe precisarse que la tabla presentada contiene únicamente las frecuencias marginales y no muestra los valores de las 25 celdas de contingencia, por lo que los coeficientes mencionados corresponden exclusivamente al modelo sintético previo y no pueden considerarse resultados observacionales validados. Asimismo, se identifica una discrepancia en el total de pérdida extrema (458 en la figura frente a 485 en los datos originales), que deberá corregirse antes de efectuar el análisis definitivo.

Por otro lado, respecto a la Asociación entre la Densidad Ósea y el Remodelado Óseo, podemos ver en la Tabla 3 que presenta el análisis de contingencia 5 × 5 propuesto para evaluar la asociación entre la densidad ósea y el remodelado óseo, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. La densidad ósea se clasificó en cinco categorías morfofuncionales: normal (n = 430; 8%), disminuida grado 1 (n = 1,238; 23%), disminuida grado 2 (n = 1,884; 35%), disminuida grado 3 (n = 1,077; 20%) y disminuida grado 4 (n = 754; 14%). Por su parte, el remodelado óseo se distribuyó en degeneración avanzada (n = 700; 13%), degeneración moderada (n = 969; 18%), homeostasis (n = 2,099; 39%), regeneración moderada (n = 1,184; 22%) y regeneración avanzada (n = 431; 8%). Los resultados descriptivos evidencian un predominio de la disminución de densidad ósea grado 2 (35%) y del remodelado en homeostasis (39%), lo que permite reconocer una distribución heterogénea entre ambos componentes. Esta caracterización resulta relevante para explorar la hipótesis de que las modificaciones de la densidad ósea pueden coexistir con diferentes estados de remodelación, desde procesos degenerativos hasta respuestas regenerativas, dentro del marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada y la metodología del Sistema ATDM.

Tabla 3.- Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Densidad Ósea y la Remodelación Ósea:

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
DENSIDAD ÓSEA VS. REMODELACIÓN ÓSEA						
DENSIDAD / REMODELACIÓN	DEGENERACIÓN AVANZADA	DEGENERACIÓN MODERADA	REMODELADO HOMEOSTÁSIS	REGENERACIÓN MODERADA	REGENERACIÓN AVANZADA	TOTAL
NORMAL	139	125	137	26	3	430
DIMINUIDA GRADO 1	275	277	495	164	27	1238
DIMINUIDA GRADO 2	202	372	770	410	130	1884
DIMINUIDA GRADO 3	67	139	443	324	104	1077
DISMINUIDA GRADO 4	17	56	254	260	167	754
TOTAL:	700	969	2099	1184	431	5383
χ^2 (gl = 16)	893.52			V de Cramér		0.204

Para explorar estadísticamente esta relación, se propone la aplicación de la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, con 16 grados de libertad, y la estimación del coeficiente V de Cramér como indicador de la magnitud de asociación. En el modelo hipotético in silico desarrollado previamente, se estimó un valor de $\chi^2 = 893.52$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.204, correspondiente a una asociación de magnitud relativamente baja dentro del escenario simulado. Este comportamiento permite formular la hipótesis de que la pérdida de densidad ósea no necesariamente se acompaña de una modificación proporcional del remodelado, debido a que este último constituye un proceso dinámico y bidireccional, caracterizado por el equilibrio entre resorción y formación ósea. Desde una perspectiva mecanicista, ello plantea la posibilidad de identificar estados de disminución de densidad asociados tanto con actividad degenerativa como con respuestas regenerativas compensatorias. Sin embargo, los coeficientes corresponden exclusivamente a datos sintéticos y no representan asociaciones clínicas demostradas, ya que la tabla presentada contiene las frecuencias marginales, pero no las 25 frecuencias conjuntas necesarias para efectuar el cálculo observacional. Por consiguiente, estos resultados deben interpretarse como una aproximación exploratoria que requiere validación mediante el análisis cruzado de los registros individuales del Sistema ATDM.

En ese orden de ideas, respecto a la Asociación entre la Densidad Ósea y la Mineralización Ósea, en la tabla 4 se presenta el modelo de contingencia 5 × 5 propuesto para analizar la asociación entre la densidad ósea y la mineralización ósea, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. La densidad ósea se clasificó en cinco categorías morfofuncionales: normal (n = 430; 8%), disminuida grado 1 (n = 1,238; 23%), disminuida grado 2 (n = 1,884; 35%), disminuida grado 3 (n = 1,077; 20%) y disminuida grado 4 (n = 754; 14%). Por su parte, la mineralización ósea presentó una distribución bidireccional respecto de la homeostasis, identificándose desmineralización avanzada (n = 1,453; 27%), desmineralización moderada (n = 1,938; 36%), mineralización en homeostasis (n = 592; 11%), sobremineralización moderada (n = 915; 17%) y sobremineralización avanzada (n = 485; 9%). Los resultados descriptivos evidencian un predominio de la densidad disminuida grado 2 (35%) y de la desmineralización moderada (36%), destacando que el 63% de las valoraciones se concentra en categorías de desmineralización, mientras que el 26% corresponde a estados de sobremineralización. Esta distribución permite caracterizar la heterogeneidad de los estados de mineralización y su posible relación con las modificaciones de la densidad ósea, constituyendo una base para investigar los mecanismos de regulación mineral, remodelación tisular y mantenimiento de la calidad ósea bajo el marco metodológico del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada.

Tabla 4.- Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Densidad Ósea y la Mineralización Ósea:

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
DENSIDAD ÓSEA VS. MINERALIZACIÓN ÓSEA						
DENSIDAD / MINERALIZACIÓN	DESMINERALIZACIÓN AVANZADA	DESMINERALIZACIÓN MODERADA	MINERALIZACIÓN HOMEOSTÁSIS	SOBRE MINERALIZACIÓN MODERADA	SOBRE MINERALIZACIÓN AVANZADA	TOTAL
NORMAL	300	107	15	8	0	430
DIMINUIDA GRADO 1	596	456	86	85	15	1238
DIMINUIDA GRADO 2	401	822	243	312	106	1884
DIMINUIDA GRADO 3	121	376	150	293	137	1077
DISMINUIDA GRADO 4	35	177	98	217	227	754
TOTAL:	1453	1938	592	915	485	5383
χ^2 (gl = 16)	1690.21			V de Cramér		0.280

Para explorar cuantitativamente la relación entre ambos componentes, se propone la aplicación de la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér como indicador de la magnitud de asociación. En el modelo hipotético in silico previamente desarrollado, se estimó un estadístico $\chi^2 = 1{,}690.21$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.280, correspondiente a una asociación de magnitud baja a moderada dentro del escenario simulado. Este resultado permite formular la hipótesis mecanicista de que las alteraciones de la densidad ósea podrían coexistir con modificaciones en la homeostasis mineral, tanto por déficit como por exceso de mineralización, sin que necesariamente exista una relación lineal entre ambos procesos. Desde la perspectiva de la Biosemiómica Clínica Aplicada, esta hipótesis resulta relevante para investigar la interacción entre la matriz orgánica del tejido óseo, la disponibilidad y distribución de minerales, la actividad de osteoblastos y osteoclastos y los mecanismos de regulación metabólica que intervienen en la calidad ósea. Es importante precisar que los coeficientes mencionados proceden exclusivamente de una simulación hipotética y no constituyen asociaciones clínicas demostradas, debido a que la tabla presentada muestra únicamente las frecuencias marginales y no las 25 frecuencias conjuntas necesarias para el cálculo observacional. Por consiguiente, la validación de estas relaciones requerirá el análisis de los registros individuales de la plataforma ATDM y su contrastación con métodos diagnósticos de referencia.

Respecto de la Asociación entre Microarquitectura ósea y la Remodelación Ósea, describimos en la tabla 5 presenta el modelo de contingencia 5 × 5 propuesto para evaluar la asociación entre la microarquitectura ósea y el remodelado óseo, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. La microarquitectura ósea se clasificó en cinco categorías morfofuncionales: normal (n = 1,130; 21%), pérdida inicial (n = 1,346; 25%), pérdida parcial (n = 1,723; 32%), pérdida avanzada (n = 699; 13%) y pérdida extrema (n = 485; 9%). Por su parte, el remodelado óseo presentó una distribución bidireccional respecto de la homeostasis, identificándose degeneración avanzada (n = 700; 13%), degeneración moderada (n = 969; 18%), remodelado en homeostasis (n = 2,099; 39%), regeneración moderada (n = 1,184; 22%) y regeneración avanzada (n = 431; 8%). Los resultados descriptivos evidencian un predominio de la pérdida parcial de microarquitectura (32%) y del remodelado en homeostasis (39%), destacando que el 54% de las valoraciones corresponde a algún grado de pérdida microarquitectónica parcial, avanzada o extrema, mientras que el 31% presenta categorías de remodelado degenerativo y el 30% categorías regenerativas. Esta distribución permite caracterizar la heterogeneidad de los estados estructurales y de remodelación del tejido óseo, constituyendo una base para investigar sus posibles relaciones morfofuncionales bajo la metodología del Sistema ATDM y el marco de Biosemiómica Clínica Aplicada.

Tabla 5.- Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Microarquitectura Ósea y la Remodelación Ósea:

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
MICROARQUITECTURA ÓSEA VS. REMODELACIÓN ÓSEA						
MICROARQUITECTURA / REMODELACIÓN	DEGENERACIÓN AVANZADA	DEGENERACIÓN MODERADA	REMODELADO HOMEOSTÁSIS	REGENERACIÓN MODERADA	REGENERACIÓN AVANZADA	TOTAL
NORMAL	314	305	391	107	13	**1130**
PÉRDIDA INICIAL	218	294	552	234	48	**1346**
PÉRDIDA PARCIAL	131	276	750	426	140	**1723**
PÉRDIDA AVANZADA	31	70	262	232	104	**699**
PÉRDIDA EXTREMA	6	24	144	185	126	**485**
TOTAL:	**700**	**969**	**2099**	**1184**	**431**	**5383**
χ^2 (gl = 16)		1026.89		V de Cramér		0.218

Para explorar cuantitativamente la relación entre ambos componentes, se propone aplicar la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér como indicador de la magnitud de asociación. En el modelo hipotético in silico desarrollado previamente, se estimó un estadístico $\chi^2 = 1{,}026.89$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.218, correspondiente a una asociación de magnitud relativamente baja dentro del escenario simulado. Este comportamiento permite formular la hipótesis de que las modificaciones de la microarquitectura ósea podrían coexistir con diferentes estados de remodelado, sin que necesariamente exista una correspondencia proporcional entre el deterioro estructural y la actividad de formación o resorción ósea. Desde una perspectiva mecanicista, esta posible relación resulta relevante para investigar la interacción entre la conectividad trabecular, la integridad de los vasos corticales, la perfusión del tejido óseo y los procesos de regeneración o degeneración que participan en el mantenimiento de su calidad. No obstante, los coeficientes estadísticos mencionados corresponden exclusivamente a una simulación hipotética y no constituyen evidencia clínica de asociación, debido a que la tabla presentada contiene únicamente las frecuencias marginales y no las 25 frecuencias conjuntas necesarias para calcular la asociación observacional. Por consiguiente, la corroboración de esta hipótesis requiere el análisis cruzado de los registros individuales y su validación mediante métodos diagnósticos de referencia.

Ahora bien, respecto de la Asociación entre la Microarquitectura ósea y la Mineralización Ósea, en la Tabla 6 presenta el modelo de contingencia 5 × 5 propuesto para analizar la asociación entre la microarquitectura ósea y la mineralización ósea, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. La microarquitectura ósea se clasificó en cinco categorías morfofuncionales: normal (n = 1,130; 21%), pérdida inicial (n = 1,346; 25%), pérdida parcial (n = 1,723; 32%), pérdida avanzada (n = 699; 13%) y pérdida extrema (n = 485; 9%). Por su parte, la mineralización ósea presentó una distribución bidireccional respecto de la homeostasis, identificándose desmineralización avanzada (n = 1,453; 27%), desmineralización moderada (n = 1,938; 36%), mineralización en homeostasis (n = 592; 11%), sobremineralización moderada (n = 915; 17%) y sobremineralización avanzada (n = 485; 9%). Los resultados descriptivos evidencian un predominio de la pérdida parcial de microarquitectura (32%) y de la desmineralización moderada (36%), destacando que el 54% de las valoraciones presenta pérdida microarquitectónica parcial, avanzada o extrema, mientras que el 63% se concentra en categorías de desmineralización y el 26% en estados de sobremineralización. Esta distribución permite caracterizar la heterogeneidad de ambos componentes y establecer una base cuantitativa para explorar las posibles relaciones entre la organización estructural del tejido óseo y sus estados de mineralización, bajo la metodología del Sistema ATDM y el marco conceptual de la Biosemiómica Clínica Aplicada.

Tabla 6.- Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Microarquitectura Ósea y la Mineralización Ósea:

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
MICROARQUITECTURA ÓSEA VS. MINERALIZACIÓN ÓSEA						
MICROARQUITECTURA / MINERALIZACIÓN	DESMINERALIZACIÓN AVANZADA	DESMINERALIZACIÓN MODERADA	MINERALIZACIÓN HOMEOSTÁSIS	SOBRE MINERALIZACIÓN MODERADA	SOBRE MINERALIZACIÓN AVANZADA	TOTAL
NORMAL	709	330	51	37	3	**1130**
PÉRDIDA INICIAL	428	613	129	144	32	**1346**
PÉRDIDA PARCIAL	271	719	237	365	130	**1723**
PÉRDIDA AVANZADA	36	199	118	207	139	**699**
PÉRDIDA EXTREMA	8	77	57	162	181	**485**
TOTAL:	**1453**	**1938**	**592**	**915**	**485**	**5383**
χ^2 (gl = 16)		**2080.85**		V de Cramér		**0.311**

Para explorar la magnitud de asociación entre ambos componentes, se propone aplicar la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér. En el modelo hipotético in silico desarrollado previamente, se estimó un estadístico $\chi^2 = 2{,}080.85$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.311, correspondiente a una asociación de magnitud moderada dentro del escenario simulado y la segunda mayor entre los seis cruces propuestos. Este resultado permite formular la hipótesis mecanicista de que las alteraciones de la microarquitectura ósea podrían coexistir con modificaciones en la homeostasis mineral, tanto por desmineralización como por sobremineralización, involucrando potencialmente cambios en la conectividad trabecular, la integridad cortical, la perfusión microvascular y los procesos de deposición y resorción mineral. Desde la perspectiva de la Biosemiómica Clínica Aplicada, esta hipótesis ofrece una línea de investigación para estudiar la interacción entre estructura y mineralización del tejido óseo. No obstante, los coeficientes mencionados proceden exclusivamente de una simulación hipotética y no constituyen evidencia clínica de asociación, debido a que la tabla presentada contiene únicamente las frecuencias marginales y no las 25 frecuencias conjuntas necesarias para efectuar el cálculo observacional. Su corroboración requerirá el análisis de los registros individuales de la plataforma ATDM y la contrastación con métodos diagnósticos de referencia.

Siguiendo ese orden de ideas, respecto de la Asociación entre el Remodelado Óseo y la Mineralización Ósea, en la Tabla 7 describimos un modelo de contingencia 5 × 5 propuesto para evaluar la asociación entre el remodelado óseo y la mineralización ósea, considerando una muestra de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM. El remodelado óseo se clasificó en cinco categorías morfofuncionales de comportamiento bidireccional respecto de la homeostasis: degeneración avanzada (n = 700; 13%), degeneración moderada (n = 969; 18%), homeostasis (n = 2,099; 39%), regeneración moderada (n = 1,184; 22%) y regeneración avanzada (n = 431; 8%). Por su parte, la mineralización ósea presentó desmineralización avanzada (n = 1,453; 27%), desmineralización moderada (n = 1,938; 36%), mineralización en homeostasis (n = 592; 11%), sobremineralización moderada (n = 915; 17%) y sobremineralización avanzada (n = 485; 9%). Los resultados descriptivos evidencian un predominio del remodelado en homeostasis (39%) y de la desmineralización moderada (36%), destacando que el 31% de las valoraciones corresponde a categorías de remodelado degenerativo, el 30% a categorías regenerativas y el 39% a homeostasis, mientras que el 63% presenta algún grado de desmineralización y el 26% de sobremineralización. Esta distribución permite caracterizar la heterogeneidad de ambos componentes y establecer una base estadística para explorar las posibles relaciones entre los procesos de formación, resorción y deposición mineral del tejido óseo, bajo la metodología del Sistema ATDM y el marco conceptual de la Biosemiómica Clínica Aplicada.

Tabla 7.- Modelo estadístico de contingencia 5 x 5 de Asociación entre la Remodelación Ósea y la Mineralización Ósea:

TABLA DE CONTINGENCIA 5x5 (V de Cramér)						
REMODELACIÓN ÓSEA VS. MINERALIZACIÓN ÓSEA+L50						
REMODELACIÓN / MINERALIZACIÓN	DESMINERALIZACIÓN AVANZADA	DESMINERALIZACIÓN MODERADA	MINERALIZACIÓN HOMEOSTÁSIS	SOBRE MINERALIZACIÓN MODERADA	SOBRE MINERALIZACIÓN AVANZADA	TOTAL
DEGENERACIÓN AVANZADA	350	237	46	50	17	**700**
DEGENERACIÓN MODERADA	349	374	99	113	34	**969**
HOMEOSTÁSIS	535	825	232	344	163	**2099**
REGENERACIÓN MODERADA	183	395	160	283	163	**1184**
REGENERACIÓN AVANZADA	36	107	55	125	108	**431**
TOTAL:	**1453**	**1938**	**592**	**915**	**485**	**5383**
χ^2 (gl = 16)		**678.75**		**V de Cramér**		**0.178**

Para explorar cuantitativamente esta relación, se propone aplicar la prueba de chi-cuadrado (χ^2) de independencia, (McHugh ML., 2013) con 16 grados de libertad, y el coeficiente V de Cramér como indicador de la magnitud de asociación. En el modelo hipotético in silico desarrollado previamente, se estimó un estadístico $\chi^2 = 678.65$ ($p < 0.001$) y un coeficiente V de Cramér = 0.178, correspondiente a la asociación de menor magnitud entre los seis cruces simulados de los componentes de la calidad ósea. Este comportamiento permite formular la hipótesis de que las modificaciones del remodelado óseo podrían presentar una dependencia relativamente limitada respecto de los estados de mineralización, considerando que la actividad osteoblástica y osteoclástica, la disponibilidad de minerales y los mecanismos de regulación metabólica pueden modificarse mediante procesos biológicos parcialmente diferenciados. Desde una perspectiva mecanicista, esta hipótesis resulta relevante para investigar la coexistencia de estados de remodelado en homeostasis con alteraciones de mineralización, así como la posible presencia de respuestas regenerativas o degenerativas asociadas con desmineralización o sobremineralización. Sin embargo, los coeficientes reportados corresponden exclusivamente a una simulación hipotética y no constituyen evidencia clínica de asociación, debido a que la tabla presentada contiene únicamente las frecuencias marginales y no las 25 frecuencias conjuntas necesarias para calcular el coeficiente observacional. En consecuencia, estos resultados deben interpretarse como una aproximación exploratoria que requiere validación mediante el análisis cruzado de los registros individuales del Sistema ATDM y su comparación con métodos diagnósticos de referencia.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio permiten establecer una caracterización descriptiva de los cuatro componentes morfofuncionales propuestos para evaluar la calidad ósea mediante la metodología del Sistema ATDM y su marco conceptual de Biosemiómica Clínica Aplicada, utilizando 5,383 valoraciones metabólicas registradas en su plataforma Big Data.(Abuadili Garza V.A, Sánchez Olivera F. & Escalante Mendoza D., 2026) La distribución de los marcadores capilaroscópicos mostró que el 92% de los registros se clasificó en alguna categoría de disminución de densidad ósea, el 79% en categorías de pérdida microarquitectónica y el 89% fuera de la categoría de homeostasis de mineralización. Por su parte, el remodelado óseo presentó un comportamiento bidireccional, con 31% de registros en categorías degenerativas, 39% en homeostasis y 30% en categorías regenerativas. Estos hallazgos sugieren una heterogeneidad de los estados morfofuncionales clasificados por el sistema, particularmente en los componentes estructurales y de mineralización. Desde la fisiopatología ósea, esta diferenciación resulta pertinente, ya que la resistencia del hueso depende tanto de la cantidad de tejido mineralizado como de su organización microestructural, composición y capacidad de reparación. Sin embargo, las prevalencias obtenidas corresponden a categorías operativas capilaroscópicas y no deben equipararse directamente con diagnósticos de osteopenia, osteoporosis o alteraciones histomorfométricas sin validación independiente.

La interpretación de estos resultados encuentra sustento en la concepción contemporánea de la calidad ósea como una propiedad multidimensional. Seeman y Delmas (2006) establecieron que la resistencia y fragilidad del hueso dependen

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

de su composición material, arquitectura y procesos de modelado y remodelado, mientras que Compston (2006) destacó la importancia de integrar la microarquitectura, el recambio óseo, la mineralización y el daño microscópico en su evaluación. En concordancia con estos planteamientos, la clasificación de cuatro componentes propuesta por el Sistema ATDM constituye un marco conceptual para estudiar diferentes dimensiones de la integridad ósea.(Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e, 2026f) Particularmente, la elevada frecuencia de categorías de disminución de densidad (92%) y pérdida microarquitectónica (79%) justifica investigar si ambos marcadores contienen información complementaria o redundante. Esta distinción es clínicamente relevante: Mikolajewicz et al. (2020), mediante una revisión sistemática y metaanálisis, encontraron que determinados parámetros de microarquitectura evaluados mediante tomografía computarizada cuantitativa periférica de alta resolución (HR-pQCT) se relacionan con el riesgo de fractura. Por tanto, el interés de la metodología ATDM radica en explorar si sus indicadores capilaroscópicos pueden aportar información adicional sobre la calidad ósea, aunque todavía es necesario demostrar su correspondencia con mediciones anatómicas y biomecánicas reconocidas.

En relación con el remodelado óseo, los resultados mostraron un predominio de la categoría homeostática (39%), seguido de regeneración moderada (22%), degeneración moderada (18%), degeneración avanzada (13%) y regeneración avanzada (8%). Esta distribución contrasta con la elevada frecuencia de categorías de disminución de densidad y pérdida microarquitectónica, lo que plantea la hipótesis de que el estado estructural del tejido óseo y su actividad remodeladora podrían presentar comportamientos parcialmente diferenciados. Raggatt y Partridge (2010) describieron el remodelado como un proceso coordinado de activación, resorción, reversión, formación y terminación, regulado por la interacción entre osteoclastos, osteoblastos y osteocitos. De manera complementaria, Siddiqui y Partridge (2016) señalaron que el equilibrio entre formación y resorción es indispensable para conservar la masa ósea y la homeostasis mineral. Bajo esta perspectiva, un estado de remodelado clasificado como homeostático no necesariamente implica la recuperación de alteraciones estructurales preexistentes. No obstante, para corroborar esta interpretación sería necesario demostrar que las categorías capilaroscópicas de remodelación corresponden a indicadores independientes de actividad osteoblástica, osteoclástica y recambio óseo. (Abuadili Garza V.A., 2026d)

La mineralización ósea constituyó uno de los componentes con mayor heterogeneidad, al presentar 63% de registros en categorías de desmineralización, 26% en sobremineralización y solamente 11% en homeostasis. Este comportamiento adquiere relevancia al considerar que la mineralización no representa exclusivamente la cantidad total de mineral presente en el esqueleto, sino también su distribución dentro de la matriz y su relación con la antigüedad del tejido y la cinética del remodelado. Roschger et al. (2008) demostraron que la distribución de densidad de mineralización ósea refleja procesos de recambio, maduración y deposición mineral, mientras que Ruffoni et al. (2007) relacionaron matemáticamente dicha distribución con las tasas de formación, resorción y mineralización. Estos antecedentes respaldan la pertinencia de estudiar la mineralización como un componente diferenciado de la densidad ósea. Sin embargo, los porcentajes obtenidos mediante la clasificación ATDM no permiten afirmar que exista una alteración mineral bioquímica o histológica sin contrastación mediante técnicas de referencia. (Abuadili Garza V.A., 2026e) En particular, sería necesario evaluar la correspondencia de los patrones capilaroscópicos con mediciones de densidad mineral ósea, parámetros bioquímicos del metabolismo mineral y, cuando corresponda, métodos de caracterización de la matriz ósea.

Desde el punto de vista estadístico, la prueba χ^2 de bondad de ajuste identificó desviaciones significativas respecto de una distribución uniforme en los cuatro componentes ($p < 0.001$). La magnitud de dichas desviaciones, cuantificada mediante la w de Cohen, fue de 0.455 para densidad, 0.412 para microarquitectura, 0.530 para remodelado y 0.508 para mineralización. Conforme a los criterios convencionales de Cohen, los dos primeros valores se encuentran entre los puntos de referencia de efecto mediano y grande, mientras que los dos últimos alcanzan un efecto grande. Estos resultados muestran que las frecuencias observadas no se distribuyen homogéneamente entre las cinco categorías de cada componente, siendo las desviaciones más pronunciadas en remodelación y mineralización. Sin embargo, debe distinguirse la magnitud estadística de la desviación de su significado clínico: un tamaño del efecto elevado no demuestra necesariamente mayor deterioro óseo, capacidad diagnóstica ni relación causal. Además, la distribución uniforme constituye una hipótesis estadística de referencia y no una distribución fisiológica esperada previamente validada.

El modelado hipotético in silico de las asociaciones entre componentes permitió desarrollar seis escenarios bivariados mediante tablas de contingencia de 5 × 5 y coeficientes V de Cramér. Los valores previamente propuestos fueron de 0.390 para densidad–microarquitectura, 0.311 para microarquitectura–mineralización, 0.280 para densidad–mineralización, 0.218 para microarquitectura–remodelación, 0.204 para densidad–remodelación y 0.178 para

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

remodelación–mineralización. Esta jerarquía plantea, como hipótesis exploratoria, una mayor dependencia entre las dimensiones estructurales de la calidad ósea y una relación de menor magnitud entre los procesos dinámicos de remodelación y mineralización. La plausibilidad biológica de estudiar conjuntamente densidad y microarquitectura encuentra respaldo en investigaciones prospectivas que han demostrado que las propiedades corticales y trabeculares contribuyen a la predicción del riesgo de fractura, incluso después de considerar la densidad mineral ósea evaluada mediante DXA. No obstante, los coeficientes V de Cramér de este estudio proceden de distribuciones conjuntas sintéticas y no de cruces observados entre pacientes, por lo que su significancia estadística no constituye evidencia de asociación clínica. En consecuencia, el modelo debe considerarse una herramienta para generar hipótesis y diseñar futuras pruebas de validación, no un resultado confirmatorio.

Un aspecto relevante para la interpretación mecanicista de estos resultados es la posible participación de la microcirculación ósea en la regulación de la calidad del tejido. Kusumbe et al. (2014) identificaron experimentalmente un subtipo vascular especializado asociado con células osteoprogenitoras y procesos de formación ósea, mientras que Ramasamy et al. (2014) demostraron la participación de la señalización endotelial Notch en el acoplamiento entre angiogénesis y osteogénesis. Estas investigaciones respaldan la existencia de una relación biológica entre vascularización, regeneración y mantenimiento estructural del hueso. En este contexto, la propuesta de Biosemiómica Clínica Aplicada podría investigarse como un marco de integración de señales microvasculares y variables morfofuncionales, especialmente mediante el estudio de la perfusión, la integridad vascular y los cambios tisulares asociados con el remodelado. Sin embargo, debe distinguirse la evidencia experimental sobre microvasculatura ósea de la capacidad diagnóstica de la Capilaroscopía: los estudios citados no demuestran que una técnica capilaroscópica oblicua o multiespectral pueda visualizar directamente la microarquitectura trabecular, cuantificar la mineralización o identificar el remodelado óseo, ya que son una técnica pionera en su campo.

Finalmente, el presente estudio aporta una propuesta de clasificación multidimensional y una estructura estadística para investigar la calidad ósea a partir de los registros del Sistema ATDM. Su principal fortaleza metodológica consiste en integrar cuatro dimensiones diferenciadas y conservar sus distribuciones marginales al construir escenarios hipotéticos de asociación. Para avanzar hacia una validación clínica se propone desarrollar estudios prospectivos con evaluación ciega de imágenes, concordancia intraobservador e interobservador, comparación con DXA y HR-pQCT, análisis de biomarcadores de remodelado y seguimiento de desenlaces clínicos. De esta manera, el Sistema ATDM podría someter su propuesta morfofuncional a pruebas de validez, reproducibilidad y utilidad clínica, estableciendo si los indicadores capilaroscópicos proporcionan información complementaria a los métodos actualmente utilizados para evaluar la calidad ósea. (Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 206c. 2026d, 2026e)

CONCLUSIONES:

El presente estudio permitió caracterizar la prevalencia de los cuatro componentes morfofuncionales de la calidad ósea: densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización, mediante el análisis de 5,383 valoraciones metabólicas registradas en la plataforma Big Data del Sistema ATDM, bajo el marco conceptual de la Biosemiómica Clínica Aplicada. Los resultados evidenciaron una elevada frecuencia de alteraciones en las categorías capilaroscópicas propuestas, identificándose disminución de densidad ósea en el 92% de los registros, pérdida microarquitectónica en el 79% y alteraciones de mineralización en el 89%, con predominio de desmineralización (63%). Por su parte, el remodelado óseo presentó una distribución bidireccional, con 31% de categorías degenerativas, 39% en homeostasis y 30% regenerativas. El análisis mediante chi-cuadrado de bondad de ajuste identificó diferencias estadísticamente significativas respecto de una distribución uniforme en los cuatro componentes ($p < 0.001$), mientras que los tamaños del efecto, determinados mediante la w de Cohen, oscilaron entre 0.412 y 0.530, correspondientes a magnitudes entre medianas y grandes. Estos hallazgos permiten concluir que los componentes de la calidad ósea presentan distribuciones heterogéneas, con predominio de determinadas categorías morfofuncionales, proporcionando una base descriptiva para futuras investigaciones sobre la integridad estructural, el equilibrio metabólico y los mecanismos de mantenimiento del tejido óseo.

La integración de los resultados descriptivos con el modelado estadístico hipotético in silico permitió construir seis escenarios de asociación entre los componentes de la calidad ósea mediante tablas de contingencia de 5×5, pruebas de chi-cuadrado de independencia y coeficientes V de Cramér. Dentro del escenario simulado, la mayor asociación correspondió a densidad–microarquitectura ($V = 0.390$), seguida de microarquitectura–mineralización ($V = 0.311$), densidad–mineralización ($V = 0.280$), microarquitectura–remodelación ($V = 0.218$), densidad–remodelación ($V = 0.204$) y remodelación–mineralización ($V = 0.178$). Estos resultados permiten formular la hipótesis de que las

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

dimensiones estructurales de la calidad ósea podrían presentar una dependencia morfofuncional más estrecha, mientras que los procesos de remodelación y mineralización podrían manifestar comportamientos parcialmente diferenciados. Sin embargo, dado que las asociaciones fueron generadas mediante distribuciones conjuntas sintéticas y supuestos estadísticos predefinidos, no constituyen evidencia de correlación clínica observada ni permiten establecer relaciones causales. Su principal aportación consiste en proporcionar un modelo cuantitativo exploratorio para investigar las posibles interacciones entre los componentes estructurales, celulares y metabólicos del tejido óseo.

Finalmente, se concluye que la integración de la metodología del Sistema ATDM con la Biosemiómica Clínica Aplicada constituye una propuesta de investigación para el estudio multidimensional de la calidad ósea, al organizar cuatro componentes morfofuncionales dentro de un modelo descriptivo, estadístico y mecanicista susceptible de evaluación experimental. La capilaroscopía digital oblicua y multiespectral se plantea como una herramienta potencialmente complementaria para investigar determinados indicadores microvasculares y tisulares relacionados con la salud ósea, aunque su capacidad para cuantificar directamente densidad, microarquitectura, remodelación y mineralización todavía requiere validación diagnóstica. En consecuencia, se propone continuar esta línea de investigación mediante estudios prospectivos, análisis de los registros individuales, evaluación de reproducibilidad y correlación con métodos de referencia, como densitometría ósea por DXA, tomografía cuantitativa de alta resolución y biomarcadores del metabolismo óseo. La principal contribución del estudio es establecer un marco de clasificación morfofuncional y una metodología estadística reproducible para generar y contrastar hipótesis sobre la calidad ósea, con el propósito de determinar, mediante investigaciones posteriores, la validez y utilidad clínica de los marcadores capilaroscópicos propuestos.

REFERENCIAS:

256. 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
257. Abuadili Garza V.A. (2025)b. The Prevalence of the Causes of Diseases, under a Cause – Effect Approach. Journal of Medical Science and Innovation, 4(2), 127-135. DOI: https://doi.org/10.54536/ajmsi.v4i2.6119
258. Abuadili Garza V.A. (2025)c. Capilaroscopía, 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
259. Abuadili Garza, V. A. (2025)d. Capilaroscopía, 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
260. Abuadili Garza, V.A. (2025)e. 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
261. Abuadili Garza V.A. (2025)f. 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
262. Abuadili Garza V.A. (2025)g. Biosemiomics, the New Research Technique from the Cause-Effect Perspective. *International Science Journal,* 2(2). https://doi.org/10.65784/068
263. Abuadili Garza, V. A. (2025)h. 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
264. Abuadili Garza, V. A. (2025)i. Acción y efecto del desbalance redox, visto en tiempo real por Capilaroscopía. *Ethos Scientific Journal*, *3*(2), 231–258. https://doi.org/10.63380/esj.v3n2.2025.198
265. Abuadili Garza, V. A. (2025)j. Una visión capilaroscópica del desbalance redox y su repercusión en la lipogénesis de Novo NO Enzimática. *Revista Científica Kosmos*, *4*(2), 227–251. https://doi.org/10.62943/rck.v4n2.2025.381
266. Abuadili Garza V.A. (2026)a. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 1.- Definición Capilaroscópica Operativa. *IECCMEXICO*, *5*(2), https://doi.org/10.64784/279
267. Abuadili Garza V.A. (2026)b. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 2.- Identificación Capilaroscópica de la Densidad Ósea *IECCMEXICO*, *5*(2),366-382. https://doi.org/10.64784/280

268. Abuadili Garza V.A. (2026)c. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 3.- Estudio Capilaroscópico de la microarquitectura ósea. *IECCMEXICO*, *5*(2),383-400 https://doi.org/10.64784/281
269. Abuadili Garza V.A. (2026)d. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 4.- Identificación Capilaroscópica del Remodelado Óseo. *IECCMEXICO*, *5*(2),401-4018. https://doi.org/10.64784/282
270. Abuadili Garza V.A. (2026)e. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 5.- Identificación Capilaroscópica de la Homeostasis en la Mineralización Ósea. *IECCMEXICO*, *5*(2). https://doi.org/10.64784/284
271. Abuadili Garza V.A. (2026)f. Diagnóstico Capilaroscópico de la Salud Ósea. Parte 6.- Clasificación Capilaroscópica de la Calidad Ósea. *IECCMEXICO*, *5*(2). https://doi.org/10.64784/285
272. Abuadili Garza, V. A. (2026)g. 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
273. Abuadili Garza, V. A. (2026)h. 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
274. Abuadili Garza V.A. (2026)i. Biosemiómica Clínica Aplicada; Estudio del Componente de la Naturaleza Viviente. *Revista Perspectiva XXI Vol. 4 Núm. 1 (2026): Frecuencia: Enero/Marzo* https://doi.org/10.70577/p3k37j87
275. Abuadili Garza, V. A. (2026)j. Biosemiómica clínica aplicada, propuesta conceptual de los componentes pre-efecto utilizando el sistema de aplicación de técnicas para el diagnóstico metabólico (sistema ATDM). *Emergentes - Revista Científica*, *6*(1), 716–763. https://doi.org/10.60112/erc.v6.i1.707
276. Abuadili Garza, V.A. (2026)k. Capilaroscopía In Silico; una herramienta de investigación del Sistema ATDM, para el Modelado Preventivo – Predictivo Capilaroscópico (MPPC). IECC México.; 5(2), 545-569. https://doi.org/10.64784/293
277. Abuadili Garza V.A., (2026)l. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 1.- Propuesta Mecanicista para la Salud Ósea)m. Axiom Research.; 2(2), 21-42. https://doi.org/10.64784/321
278. Abuadili Garza V.A., (2026)m. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 2.- Modelado Morfofuncional in silico de la calidad ósea mediante inteligencia artificial: integración capilaroscópica, biomecánica, factores de riesgo y modificación por grupo etáreo). Axiom Research.; 2(2), 43-72. https://doi.org/10.64784/322
279. Abuadili Garza V.A. (2026)n. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea. (Parte 3.- Glucoxidación del tejido óseo, Identificación Capilaroscópica de los Mecanismos Moleculares y sus Consecuencias Morfofuncionales sobre la Calidad Ósea). Axiom Research.; 2(2), 89-118. https://doi.org/10.64784/360
280. Abuadili Garza V.A. (2026)ñ. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea. (Parte 4.- Acción y Efecto del Desbalance Rédox en el Tejido Óseo). Axiom Research; 2(2), 119-153. https://doi.org/10.64784/361
281. Abuadili Garza V.A. (2026)o. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea. (Parte 5.- Epigenómica de la Calidad Ósea: Implicaciones Moleculares y Mecanicistas de los transposones y retrotransposones LINE-1 como Moduladores de la Calidad Ósea). Axiom Research; 2(2), 169-199. https://doi.org/10.64784/364
282. Abuadili Garza V.A., (2026)p. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 6.- Microtraumatismos Mecanoposturales y su repercusión sobre la Calidad Ósea; fundamentos biomecánicos, celulares y morfofuncionales). Axiom Research; 2(2), 200-228. https://doi.org/10.64784/365
283. Abuadili Garza V.A., (2026)q. Biosemiómica Clínica Aplicada a la Salud Ósea (Parte 7.- Osteomicrobiología y las Implicaciones de las Disbiosis bacterianas, virales y fúngicas en la Calidad del Tejido Óseo). Axiom Research; 2(2), 246-274. https://doi.org/10.64784/401
284. Abuadili Garza V.A., (2026)r. Identificación Capilaroscópica de la Glicación de las Proteínas Estructurales. IECC México; 5(2), 930-951. https://doi.org/10.64784/359
285. Abuadili Garza V.A. (2026)s. Reporte de Caso Clínico: Pérdida de la Calidad Ósea por Glucoxidación del Hueso. Revista IECC México.; 5(2),794-811. https://doi.org/10.64784/352
286. Abuadili Garza, V. A. (2026)t. Formación de un Estado Proinflamatorio desde la Perspectiva Causa - Efecto. *Revista Veritas De Difusão Científica*, *7*(1), 3000–3043. https://doi.org/10.61616/rvdc.v7i1.1381
287. Abuadili Garza V.A. (2026)u. Disfunción mitocondrial, como causa de la enfermedad desde la perspectiva causa – efecto. *Arcana Scientific Journal*, *4*(1), 261-294. https://doi.org/10.65305/asj.v4n1.2026.77

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

288. Abuadili Garza, V.A. (2026)v. Las dos Polaridades del Desequilibrio de la Homeostasis Energética Estudio de Biosemiómica Clínica Aplicada de la Disfunción Mitocondrial. México. RevistaIECCMEXICO, 4(1), Tomo II) 354-375. https://doi.org/10.64784/200
289. Abuadili Garza V.A. (2026)w. **C**apillaroscopic characteristics of the operational definition for the biosemiomic identification of inflammation due to cellular senescence, under the methodology of the ATDM System. Biogerontology; 27(2).
290. Abuadili Garza V.A., (2026)x. Reporte de Caso Clínico. Identificación Capilaroscópica de Tuberculosis Osteoarticular.). IECC México.; 5(2), 1 – 17. https://doi.org/10.64784/399
291. Abuadili Garza, V.A., & García Súchil, M. (2025)a. Desequilibrio del Microbioma Humano desde la perspectiva causa–efecto. *Bastcorp International Journal*, *4*(2), 233–260. https://doi.org/10.62943/bij.v4n2.2025.384
292. Abuadili Garza, V. A., & García Súchil, M. (2025)b. Identificación del Micobioma Humano mediante el uso de la Capilaroscopía. *Horizonte Académico*, *5*(3), 1011–1043. https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n3.276
293. Abuadili Garza V.A. & Molina Calderón L.E., (2026)a. Biosemiómica Clínica Aplicada para fomentar la Longevidad. (Parte 1.- Envejecimiento prematuro humano; Modelo Mecanicista Causa – Efecto de la Senescencia Celular). IECC México.; 5(2), 149-165. https://doi.org/10.6478/323
294. Abuadili Garza V.A. & Molina Calderón L.E., (2026)b. Biosemiómica Clínica Aplicada para fomentar la Longevidad. (Parte 2.- Capilaroscopía in silico del Envejecimiento Prematuro). IECC México.; 5(2), 347-368. https://doi.org/10.6478/331
295. Abuadili Garza V.A. & Molina Calderón L.E., (2026)c. Biosemiómica Clínica Aplicada para fomentar la Longevidad. (Parte 3.- Prevalencia del Síndrome de Envejecimiento Prematuro). IECC México.; 5(2), 369 – 390. https://doi.org/10.6478/332
296. 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
297. Agresti, A. (2007). An introduction to categorical data analysis (2nd ed.). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/0470114754
298. Anderson, K. B., Holloway-Kew, K. L., Hans, D., Kotowicz, M. A., Hyde, N. K., & Pasco, J. A. (2019). Reference Ranges for Trabecular Bone Score in Australian Men and Women: A Cross-Sectional Study. *JBMR plus*, *3*(6), e10133. https://doi.org/10.1002/jbm4.10133
299. Ávila-Tomás, J. F., Mayer-Pujadas, M. A., & Quesada-Varela, V. J. (2021). La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina II: importancia actual y aplicaciones prácticas [Artificial intelligence and its applications in medicine II: Current importance and practical applications]. *Atencion primaria*, *53*(1), 81–88. https://doi.org/10.1016/j.aprim.2020.04.014
300. Boivin, G., Farlay, D., Bala, Y., Doublier, A., Meunier, P. J., & Delmas, P. D. (2009). Influence of remodeling on the mineralization of bone tissue. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, *20*(6), 1023–1026. https://doi.org/10.1007/s00198-009-0861-x
301. Bonjour JP, Theintz G, Law F, Slosman D, Rizzoli R. (1994). Peak bone mass. Osteoporos Int.;4 Suppl 1:7-13. https://doi.org/10.1007/BF01623429. PMID: 8081064.
302. Bouxsein, M. L. (2003). Mechanisms of osteoporosis therapy: A bone strength perspective. *Clinical Cornerstone, 5*(2), S13–S21. https://doi.org/10.1016/S1098-3597(03)90023-6
303. Boskey A.L., & Imbert L. (2017). Bone quality changes associated with aging and disease: A review. *Annals of the New York Academy of Sciences*. https://doi.org/10.1111/nyas.13572
304. Brandi, M. L. (2009). Microarchitecture, the key to bone quality. *Rheumatology, 48*(Suppl. 4), iv3–iv8. https://doi.org/10.1093/rheumatology/kep273. PMID: 19783591.
305. Campbell GM & Glüer CC. (2017). Skeletal assessment with finite element analysis: relevance, pitfalls and interpretation. Curr Opin Rheumatol.;29(4):402-409. https://doi.org/10.1097/BOR.0000000000000405. PMID: 28376059.
306. Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A. (2026). Proyecciones Ópticas de la Capilaroscopía Metabólica. (2026). *Revista Hambatu Science*, *1*(3). 412-431. https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-412-431-2026

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

307. Chappard D, Baslé MF, Legrand E, Audran M. (2008). Trabecular bone microarchitecture: a review. Morphologie.;92(299):162-70. https://doi.org/10.1016/j.morpho.2008.10.003. Epub 2008 Nov 18. PMID: 19019718.
308. Chen M, Wang J, Wei J and Feng H (2026). Unlocking bone repair in osteoporosis by targeting the angiogenic niche. Front. Endocrinol. 17:1790054. https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1790054
309. Clarke, B. L., & Khosla, S. (2010). Physiology of bone loss. *Radiologic Clinics of North America, 48*(3), 483–495. https://doi.org/10.1016/j.rcl.2010.02.014
310. Cohen, J. (1992). A power primer. Psychological Bulletin, 112(1), 155–159. https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155
311. Compston, J. (2006). Bone quality: What is it and how is it measured? Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia, 50(4), 579–585. https://doi.org/10.1590/S0004-27302006000400003
312. Conigrave, A. D., Brown, E. M., & Rizzoli, R. (2008). Dietary protein and bone health: Roles of amino acid–sensing receptors in the control of calcium metabolism and bone homeostasis. *Annual Review of Nutrition, 28*, 131–155. https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.28.061807.155328
313. 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.
314. 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). *Prospherus*, *3*(3), 100-126. https://doi.org/10.63535/jw2q7k11
315. Demontiero, O., Vidal, C., & Duque, G. (2012). Aging and bone loss: New insights for the clinician. *Therapeutic Advances in Musculoskeletal Disease, 4*(2), 61–76. https://doi.org/10.1177/1759720X11430858
316. Devine J, Aponte JD, Katz DC, Liu W, Lo Vercio LD, Forkert ND, Marcucio R, Percival CJ, Hallgrímsson B.A (2020). Registration and Deep Learning Approach to Automated Landmark Detection for Geometric Morphometrics. Evol Biol.;47(3):246-259. https://doi.org/10.1007/s11692-020-09508-8. Epub 2020 Jul 9. PMID: 33583965; PMCID: PMC7880197.
317. 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 PMID: 21116752; PMCID: PMC3126959.
318. Dussel, E. (2019). "No es nada descubrir algo nuevo, hay que descubrir para qué se descubre". Ciencia, Tecnología y Política, Año 2 N°2 Enero-Junio 2019. ISSN 2618-2483 En: www.revistas.unlp.edu.ar/CTyP
319. Dussel, E. (2024) El concepto de cientificidio. Ciencia, Tecnología y Política. Año 7 N° 13 Noviembre 2024. ISSN 2618-2483
320. Farr, J. N., & Khosla, S. (2019). Cellular senescence in bone. *Bone, 121*, 121–133. https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.01.015
321. Favareau, Donald (ed.) (2010). *Essential Readings in Biosemiotics: Anthology and Commentary*. (Biosemiotics 3.) Berlin: Springer.
322. Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J. C., Pujol, S., Bauer, C., Jennings, D., Fennessy, F., Sonka, M., Buatti, J., Aylward, S., Miller, J. V., Pieper, S., & Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic resonance imaging*, *30*(9), 1323–1341. https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001
323. Fina, Brenda Lorena; Lombarte, Mercedes; Rigalli, Alfredo; (2013). Investigación de un fenómeno natural: ¿estudios in vivo, in vitro o in silico?; Asociación Argentina de Osteología y Metabolismo Mineral; Actualizaciones en Osteología; 9; 3; 239-24
324. Franz Klein-Weigel, P., Sunderkötter, C. y Sander, O. (2016). Nailfold capillaroscopy microscopyan interdisciplinary appraisal. In: Vasa 45(5):356-364.
325. 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

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792
AXIOM RESEARCH

326. Grigoryan, S., & Clines, G. A. (2024). Hormonal control of bone architecture throughout the lifespan: Implications for fracture prediction and prevention. *Endocrine Practice, 30*(7), 687–694. https://doi.org/10.1016/j.eprac.2024.04.006
327. Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C. (2000). Peak bone mass. Osteoporos Int.;11(12):985-1009. https://doi.org/10.1007/s001980070020. PMID: 11256898.
328. Hind K, Burrows M. (2007). Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: a review of controlled trials. Bone.;40(1):14-27. https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.07.006. Epub 2006 Sep 7. PMID: 16956802.
329. Hinton PV, Rackard SM, Kennedy OD. (2018). In Vivo Osteocyte Mechanotransduction: Recent Developments and Future Directions. Curr Osteoporos Rep.;(6):746-753. https://doi.org/10.1007/s11914-018-0485-1.PMID: 30406580.
330. Holick, M. F. (2007). Vitamin D deficiency. *The New England Journal of Medicine, 357*(3), 266–281. https://doi.org/10.1056/NEJMra070553
331. Hunt H.B. & Donnelly E. (2016). Bone quality assessment techniques: geometric, compositional, and mechanical characterization from macroscale to nanoscale. Clin Rev Bone Miner Metab.;14(3):133-149. https://doi.org/10.1007/s12018-016-9222-4. Epub 2016 Aug 22. PMID: 28936129; PMCID: PMC5604329.
332. Ingegnoli, F., et al. (2026). Clinical practice guidelines for reporting nailfold videocapillaroscopy: A Delphi consensus on behalf of the Italian Society of Rheumatology Study Group on Capillaroscopy. Clinical and Experimental Rheumatology, 44(8), 1475–1482. https://doi.org/10.55563/clinexprheumatol/2z4j95
333. Kalkwarf HJ, Shepherd JA, Hans D, Gonzalez Rodriguez E, Kindler JM, Lappe JM, Oberfield S, Winer KK, Zemel BS. (2022). Trabecular Bone Score Reference Values for Children and Adolescents According to Age, Sex, and Ancestry. J Bone Miner Res. 2022 Apr;37(4):776-785. https://doi.org/10.1002/jbmr.4520. Epub PMID: 35118727; PMCID: PMC9018558.
334. Karim L, Moulton J, Van Vliet M, Velie K, Robbins A, Malekipour F, Abdeen A, Ayres D, Bouxsein ML. (2018). Bone microarchitecture, biomechanical properties, and advanced glycation end-products in the proximal femur of adults with type 2 diabetes. Bone.;114:32-39. https://doi.org/10.1016/j.bone.2018.05.030. Epub 2018 May 30. PMID: 29857063; PMCID: PMC6141002.
335. Khandelwal S, Lane NE. (2023). Osteoporosis: Review of Etiology, Mechanisms, and Approach to Management in the Aging Population. Endocrinol Metab Clin North Am.;52:259–275. https://doi.org/10.1016/j.ecl.2022.10.009.
336. Khosla, S., Oursler, M. J., & Monroe, D. G. (2012). Estrogen and the skeleton. *Trends in Endocrinology & Metabolism, 23*(11), 576–581. https://doi.org/10.1016/j.tem.2012.03.008
337. Klein-Nulend J, Bakker AD, Bacabac RG, Vatsa A, Weinbaum S. (2013). Mechanosensation and transduction in osteocytes. Bone.;54(2):182-90. https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.10.013. Epub 2012 Oct 18. PMID: 23085083.
338. Klymenko, Mykola (2025). Progress and prospects in research on low-grade diffuse chronic inflammation: A literature review. Ukraïns′kij žurnal medicini bìologìï ta sportu 10(1):16-29 DOI:10.63341/ujmbs/1.2025.16
339. Kusumbe, A. P., Ramasamy, S. K., & Adams, R. H. (2014). Coupling of angiogenesis and osteogenesis by a specific vessel subtype in bone. Nature, 507, 323–328. https://doi.org/10.1038/nature13145
340. Lambers, F. M., Bouman, A. R., Rimnac, C. M., & Hernandez, C. J. (2013). Microdamage caused by fatigue loading in human cancellous bone: relationship to reductions in bone biomechanical performance. *PloS one*, *8*(12), e83662. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083662
341. Landrigan MD, Li J, Turnbull TL, Burr DB, Niebur GL, Roeder RK. (2011). Contrast-enhanced micro-computed tomography of fatigue microdamage accumulation in human cortical bone. Bone.;48(3):443-50. https://doi.org/10.1016/j.bone.2010.10.160. Epub 2010 Oct 15. PMID: 20951850.
342. Lee, T. C., Staines, A., & Taylor, D. (2002). Bone adaptation to load: microdamage as a stimulus for bone remodelling. *Journal of anatomy*, *201*(6), 437–446. https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2002.00123.x
343. Li MCM, Chow SKH, Wong RMY, Qin L. & Cheung WH. (2021). The role of osteocytes-specific molecular mechanism in regulation of mechanotransduction - A systematic review. J Orthop Translat.;29:1-9. https://doi.org/10.1016/j.jot.2021.04.005. PMID: 34036041; PMCID: PMC8138679.

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

344. Luo J, Wu L, Xu Y, Zhang J, Zhao X and Wang X (2025) The therapeutic potential of icariin in the intervention of bone and joint diseases through multiple pathways: a narrative review. Front. Pharmacol. 16:1606912. https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1606912
345. McHugh ML. (2013). The chi-square test of independence. Biochem Med (Zagreb). 2013;23(2):143-9. https://doi.org/10.11613/bm.2013.018. PMID: 23894860; PMCID: PMC3900058.
346. Metzger CE, Brezicha JE, Elizondo JP, Narayanan SA, Hogan HA, Bloomfield SA. (2017). Differential responses of mechanosensitive osteocyte proteins in fore- and hindlimbs of hindlimb-unloaded rats. Bone.;105:26-34. https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.08.002. Epub 2017 Aug 3. PMID: 28782619.
347. Mikolajewicz, N., Bishop, N., Burghardt, A. J., et al. (2020). HR-pQCT measures of bone microarchitecture predict fracture: Systematic review and meta-analysis. Journal of Bone and Mineral Research, 35(3), 446–459. https://doi.org/10.1002/jbmr.3901
348. Mitteroecker, P., & Schaefer, K. (2022). Thirty years of geometric morphometrics: Achievements, challenges, and the ongoing quest for biological meaningfulness. *American Journal of Biological Anthropology*. https://doi.org/10.1002/ajpa.24531.
349. Mohan1 Suman, Abuadili Garza Victor Alfonso, Kaliyaperumal Viswanathan, Mahendra Baban Datir, Saraswat Pranit, Das Animesh, (2026). Lipid And Polymeric Nanocarriers For Controlled Release Of Nutritional Bioactive Molecules. International Journal of Drug Delivery and Technology; 16 (64s): 428 – 435. https://doi.org/10.25258/ijddt.16.64s.42
350. MONAI Consortium. (2022). *MONAI: Medical Open Network for AI* (Version 1.0.0). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7086266.
351. Morgan E.F., Unnikrisnan G.U., Hussein A.I.. (2018). Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States. *Annual Review of Biomedical Engineering* 20:119-143. https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-062117-121139
352. Mousavibaygei SR, Bisadi A, ZareSakhvidi F. (2023). Outdoor air pollution exposure, bone mineral density, osteoporosis, and osteoporotic fractures: A systematic review and meta-analysis. Sci Total Environ.;865:161117. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161117. Epub 2022 Dec 28. PMID: 36586679.
353. Mughal MZ, Khadilkar AV. (2011). The accrual of bone mass during childhood and puberty. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.;18(1):28-32. https://doi.org/10.1097/MED.0b013e3283416441. PMID: 21102321.
354. Paulin, T.K., Malmgren, L., McGuigan, F.E. *et al.* (2024). Osteosarcopenia: Prevalence and 10-Year Fracture and Mortality Risk – A Longitudinal, Population-Based Study of 75-Year-Old Women. *Calcif Tissue Int* **114**, 315–325. https://doi.org/10.1007/s00223-023-01181-1
355. Qiao, L., Khalilimeybodi, A., Linden-Santangeli, N. J., & Rangamani, P. (2025). The evolution of systems biology and systems medicine: From mechanistic models to uncertainty quantification. *Annual Review of Biomedical Engineering, 27*, 425–447. https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-102723-065309
356. Raggatt, L. J., & Partridge, N. C. (2010). Cellular and molecular mechanisms of bone remodeling. Journal of Biological Chemistry, 285(33), 25103–25108. https://doi.org/10.1074/jbc.R109.041087
357. Ramasamy, S. K., Kusumbe, A. P., Wang, L., & Adams, R. H. (2014). Endothelial Notch activity promotes angiogenesis and osteogenesis in bone. Nature, 507, 376–380. https://doi.org/10.1038/nature13146
358. Rho, J.-Y., Kuhn-Spearing, L., & Zioupos, P. (1998). Mechanical properties and the hierarchical structure of bone. *Medical Engineering & Physics, 20*(2), 92–102. https://doi.org/10.1016/S1350-4533(98)00007-1
359. Riggs, B. L., Khosla, S., & Melton, L. J., III. (2002). Sex steroids and the construction and conservation of the adult skeleton. *Endocrine Reviews, 23*(3), 279–302. https://doi.org/10.1210/edrv.23.3.0465
360. Rizzoli, R., Stevenson, J. C., Bauer, J. M., van Loon, L. J. C., Walrand, S., Kanis, J. A., Cooper, C., Brandi, M. L., Diez-Perez, A., Reginster, J. Y., & ESCEO Task Force. (2014). The role of dietary protein and vitamin D in maintaining musculoskeletal health in postmenopausal women. *Maturitas, 79*(2), 122–132. https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2014.07.005
361. Roberts-Thomson, P. J., Patterson, K. A., & Walker, J. G. (2023). Clinical utility of nailfold capillaroscopy. Internal Medicine Journal, 53(5), 671–679. https://doi.org/10.1111/imj.15966

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

362. Robling, A. G., & Turner, C. H. (2009). Mechanical signaling for bone modeling and remodeling. *Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression, 19*(4), 319–338. https://doi.org/10.1615/CritRevEukarGeneExpr.v19.i4.50
363. Rodrick E, Kindler JM. (2024). Bone mass accrual in children. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.;31(1):53-59. https://doi.org/10.1097/MED.0000000000000849. Epub 2023 Nov 27. PMID: 38010050; PMCID: PMC11015822.
364. Rodrick E, Kindler JM. Bone mass accrual in children. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes.
365. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9351. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
366. Roschger, P., Paschalis, E. P., Fratzl, P., & Klaushofer, K. (2008). Bone mineralization density distribution in health and disease. Bone, 42(3), 456–466. https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.10.021
367. Ruffoni, D., Fratzl, P., Roschger, P., Klaushofer, K., & Weinkamer, R. (2007). The bone mineralization density distribution as a fingerprint of the mineralization process. Bone, 40(5), 1308–1319. https://doi.org/10.1016/j.bone.2007.01.012
368. Sandström L, McGuigan FE, Callréus M, Akesson KE. (2016).Peak Bone Mass and Quantitative Ultrasound Bone Properties in Young Adulthood: A Study in the PEAK-25 Cohort of Women. J Clin Densitom.;19(4):477-484. https://doi.org/10.1016/j.jocd.2016.03.001. Epub 2016 Apr 5. PMID: 27067746.
369. Santos A, Bakker AD, Klein-Nulend J. (2009). The role of osteocytes in bone mechanotransduction. Osteoporos Int.;20(6):1027-31. https://doi.org/10.1007/s00198-009-0858-5. PMID: 19340507.
370. Seeman E. (2013). Age- and menopause-related bone loss compromise cortical and trabecular microstructure. J Gerontol A Biol Sci Med Sci.;68(10):1218-25. https://doi.org/10.1093/gerona/glt071. Epub 2013 Jul 5. PMID: 23833200.
371. Seeman, E., & Delmas, P. D. (2006). Bone quality—The material and structural basis of bone strength and fragility. *The New England Journal of Medicine, 354*(21), 2250–2261. https://doi.org/10.1056/NEJMra053077
372. Sel, K., Hawkins-Daarud, A., Chaudhuri, A., et al. (2025). Survey and perspective on verification, validation, and uncertainty quantification of digital twins for precision medicine. *npj Digital Medicine, 8*, 40. https://doi.org/10.1038/s41746-025-01447-y
373. Shams-White, M. M., Chung, M., Du, M., Fu, Z., Insogna, K. L., Karlsen, M. C., LeBoff, M. S., Shapses, S. A., Sackey, J., Wallace, T. C., & Weaver, C. M. (2017). Dietary protein and bone health: A systematic review and meta-analysis from the National Osteoporosis Foundation. *The American Journal of Clinical Nutrition, 105*(6), 1528–1543. https://doi.org/10.3945/ajcn.116.145110
374. Sharir A., Barak M.M., Shahar R, (2008). Whole bone mechanics and mechanical testing, The Veterinary Journal, 177(1),8-17. ISSN 1090-0233, https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.09.012. (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1090023307003292)
375. Shen X, Zhang M, Cai H, Leslie WD, Lix LM, Jiang D, Feng L, Cheng H, Shi X, Gao Y, Yang S. (2024). Associations of global biomarkers of oxidative stress with osteoporosis, bone microstructure and bone turnover: Evidence from human and animal studies. Bone.;183:117077. https://doi.org/10.1016/j.bone.2024.117077. Epub 2024 Mar 22. PMID: 38521234.
376. Siddiqui, J. A., & Partridge, N. C. (2016). Physiological bone remodeling: Systemic regulation and growth factor involvement. Physiology, 31(3), 233–245. https://doi.org/10.1152/physiol.00061.2014
377. Snega Priya P, Pratiksha Nandhini P, Arockiaraj J. (2023). A comprehensive review on environmental pollutants and osteoporosis: Insights into molecular pathways. Environ Res.;237(Pt 2):117103. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117103. Epub 2023 Sep 7. PMID: 37689340.
378. Stephen SJ, Sroga GE, Vashishth D. (2025). Glycoxidation of the bone matrix modulates mineralization. J Bone Miner Res.;40(10):1165-1176. https://doi.org/10.1093/jbmr/zjaf080. PMID: 40497659; PMCID: PMC13052450.
379. Szulc, P., Boutroy, S., & Chapurlat, R. (2018). Prediction of fractures in men using bone microarchitectural parameters assessed by high-resolution peripheral quantitative computed tomography—The prospective

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH

STRAMBO study. Journal of Bone and Mineral Research, 33(8), 1470–1479. https://doi.org/10.1002/jbmr.3451

380. Usategui-Martín R, Rigual R, Ruiz-Mambrilla M, Fernández-Gómez JM, Dueñas A, Pérez-Castrillón JL. (2022) Molecular Mechanisms Involved in Hypoxia-Induced Alterations in Bone Remodeling. International Journal of Molecular Science.;23(6):3233. https://doi.org/10.3390/ijms23063233. PMID: 35328654; PMCID: PMC8953213.
381. van der Linden JC, Weinans H. (2007). Effects of microarchitecture on bone strength. Curr Osteoporos Rep.;5(2):56-61. https://doi.org/10.1007/s11914-007-0003-3. PMID: 17521506.
382. Vashishth D, Dhaliwal R, Rubin M. (2025). AGEs (Advanced Glycation End-products) in bone come of age. Bone.;190:117301. https://doi.org/10.1016/j.bone.2024.117301. Epub 2024 Oct 21. PMID: 39442854; PMCID: PMC13016710.
383. von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., & Vandenbroucke, J. P. (2007). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: Guidelines for reporting observational studies. PLoS Medicine, 4(10), e296. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040296
384. Vandenbroucke, J. P., von Elm, E., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Mulrow, C. D., Pocock, S. J., Poole, C., Schlesselman, J. J., & Egger, M. (2007). Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. PLoS Medicine, 4(10), e297. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040297
385. Wang, B., & Vashishth, D. (2023). Advanced glycation and glycoxidation end products in bone. *Bone*, *176*, 116880. https://doi.org/10.1016/j.bone.2023.116880
386. Wauquier F, Leotoing L, Coxam V, Guicheux J, Wittrant Y. (2009) Oxidative stress in bone remodelling and disease. Trends Mol Med.;15(10):468-77. https://doi.org/10.1016/j.molmed.2009.08.004. Epub 2009 Oct 5. PMID: 19811952.
387. Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, Kalkwarf HJ, Lappe JM, Lewis R, O'Karma M, Wallace TC, Zemel BS. (2016). The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations. Osteoporos Int. 2016 Apr;27(4):1281-1386. doi: 10.1007/s00198-015-3440-3. Epub 2016 Feb 8. Erratum in: Osteoporos Int.;27(4):1387. https://doi.org/10.1007/s00198-016-3551-5. PMID: 26856587; PMCID: PMC4791473.
388. Weiner, S., & Wagner, H. D. (1998). The material bone: Structure-mechanical function relations. *Annual Review of Materials Science, 28*, 271–298. https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.28.1.271
389. Wolfgang M. (2022). The quintessence of metallomics: a harbinger of a different life science based on the periodic table of the bioelements, *Metallomics*.; 14 (8), mfac051, https://doi.org/10.1093/mtomcs/mfac051
390. Xu J, et al. (2023). The effect of cytokines on osteoblasts and osteoclasts in bone remodeling in osteoporosis: a review. Front Immunol.;14:1222129. https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1222129.
391. Yellowley CE, Genetos DC. (2019). Hypoxia Signaling in the Skeleton: Implications for Bone Health. Curr Osteoporos Rep.;17(1):26-35. https://doi.org/10.1007/s11914-019-00500-6. PMID: 30725321; PMCID: PMC6653634.
392. Zemel B. (2013). Bone mineral accretion and its relationship to growth, sexual maturation and body composition during childhood and adolescence. World Rev Nutr Diet.;106:39-45. https://doi.org/10.1159/000342601. Epub 2013 Feb 11. PMID: 23428679.

FINANCIACIÓN

"Sin financiación" para el desarrollo de esta investigación".

INCOMPATIBILIDAD

"Ninguno" no existe ningún conflicto de intereses".

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Conceptualización: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Curación de datos: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA

AXIOM RESEARCH Edition 2, Year 1, Number 2, 2026 E-ISSN: 3122-4784 P-ISSN: 3122-4792

Análisis formal: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Investigación: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Metodología: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Gestión de proyectos: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Recursos: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Software: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Supervisión: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Validación: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Mostrar: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Redacción - borrador original: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Redacción - corrección y edición: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA

Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH
Edition 2, Year 1, Number 2, 2026
P-ISSN: 3122-4792
E-ISSN: 3122-4784
AXIOM RESEARCH