Research article /Artículo de investigación

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)

Applied Clinical Biosemiomics for Bone Health. (Part 7: Osteomicrobiology and the Implications of Bacterial, Viral, and Fungal Dysbiosis for Bone Tissue Quality).

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: 04 de noviembre de 2026 - Aceptado: 04 de noviembre de 2026 - Publicado: 06 de noviembre de 2026
Received: Nov 04, 2026 - Accepted: Nov 04, 2026 - Published: Nov 06, 2026

¿Cómo citar este artículo?
Abuadili Garza V. A. (2026). 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)

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

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

ABSTRACT:
Alterations to the microbiome and infections by bacterial and fungal microorganisms can disrupt bone tissue homeostasis through inflammatory, immunometabolic, and osteolytic mechanisms. Objective: To develop a proposal for correlating microbiological and histopathological structures with capillaroscopic patterns in soft tissues and osteoarticular regions, while evaluating their potential implications for bone quality. Methodology: An observational, descriptive, analytical, comparative, correlational, and proposal-oriented study was conducted using the iterative methodology of the ATDM System and Applied Clinical Biosemiomics. Reference images of *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Candida* spp., *Aspergillus niger*, and *Fonsecaea pedrosoi* were analyzed and compared with *in vivo* digital capillaroscopy records, including the use of a 45° multispectral oblique projection technique. An *in silico* mechanistic model of microbiological, immune, and osteocellular interactions was also integrated. Results: Qualitative imaging similarities were identified regarding morphology, spatial distribution, contours, and optical characteristics, establishing exploratory patterns of correspondence. Scientific evidence linked invasive infections to alterations in the four components of bone quality—density, microarchitecture, remodeling, and mineralization—mediated by inflammation, osteolysis, necrosis, and tissue repair. Conclusions: The biological hypothesis that certain microorganisms can affect bone quality is supported. The proposed capillaroscopic correlation serves as an exploratory approach that requires independent microbiological, histopathological, and imaging-based validation. Further development could aid in the investigation of complementary microvascular biomarkers and strengthen morphofunctional diagnostic integration through prospective, controlled, reproducible, and quantitative studies in clinical populations.

KEYWORDS: Microbiome; dysbiosis; bone quality; capillaroscopy; Applied Clinical Biosemiomics; ATDM System; osteomyelitis; imaging correlation; mechanistic modeling.

RESUMEN:
Las alteraciones del microbioma y las infecciones por microorganismos bacterianos y fúngicos pueden modificar la homeostasis del tejido óseo mediante mecanismos inflamatorios, inmunometabólicos y osteolíticos. Objetivo: Desarrollar una propuesta de correlación imagenológica entre estructuras microbiológicas e histopatológicas y patrones capilaroscópicos de tejidos blandos y regiones osteoarticulares, evaluando sus posibles implicaciones en la Calidad Ósea. Metodología: Se realizó un estudio observacional, descriptivo, analítico, comparativo, correlacional y propositivo, mediante la metodología iterativa del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada. Se analizaron imágenes de referencia de Staphylococcus aureus, Mycobacterium tuberculosis, Candida spp., Aspergillus niger y Fonsecaea pedrosoi, comparándolas con registros de Capilaroscopía digital in vivo, incluida la técnica de proyección oblicua multiespectral a 45°. Se integró un modelado mecanicista in silico de las interacciones microbiológicas, inmunitarias y osteocelulares. Resultados: Se identificaron semejanzas imagenológicas cualitativas en morfología, distribución espacial, contornos y características ópticas, estableciendo patrones exploratorios de correspondencia. La evidencia científica permitió relacionar las infecciones invasivas con alteraciones de los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización, mediante inflamación, osteólisis, necrosis y reparación tisular. Conclusiones: Se respalda la hipótesis biológica de que determinados microorganismos pueden afectar la Calidad Ósea. La correlación capilaroscópica propuesta constituye una aproximación exploratoria que requiere validación microbiológica, histopatológica e imagenológica independiente. Su desarrollo podría contribuir a investigar biomarcadores microvasculares complementarios y fortalecer la integración diagnóstica morfofuncional mediante estudios prospectivos controlados, reproducibles y cuantitativos en poblaciones clínicas.

PALABRAS CLAVE: Microbioma; disbiosis; Calidad Ósea; Capilaroscopía; Biosemiómica Clínica Aplicada; Sistema ATDM; osteomielitis; correlación imagenológica; modelado mecanicista.

INTRODUCCIÓN

La calidad ósea constituye una propiedad biológica y biomecánica multidimensional que depende de la interacción entre la densidad mineral ósea, la microarquitectura cortical y trabecular, el remodelado, la mineralización y las características de la matriz extracelular. A diferencia de la densidad mineral ósea, que representa principalmente la cantidad de mineral presente por unidad de superficie o volumen, la calidad ósea comprende las propiedades estructurales y materiales que determinan la resistencia del hueso frente a fuerzas de compresión, tensión, flexión, torsión y cizallamiento. En este contexto, el impacto de microorganismos al tejido óseo, modifican la calidad ósea.

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

El tejido óseo no es una estructura estática, sino un sistema biológico dinámico que adapta continuamente su organización interna a las exigencias mecánicas del entorno. El tejido óseo constituye un sistema biológico dinámico, metabólicamente activo y sometido a procesos continuos de formación, resorción, mineralización y reparación. Su homeostasis depende de la interacción entre osteoblastos, osteoclastos, osteocitos, células inmunitarias, componentes de la matriz extracelular, vascularización y disponibilidad de nutrientes.(Hsu E., & Pacifici R., 2018) Tradicionalmente, el estudio de la calidad ósea se ha concentrado en factores endocrinos, nutricionales, biomecánicos y genéticos; sin embargo, las investigaciones sobre el eje microbiota–intestino–hueso han ampliado esta perspectiva al demostrar que las comunidades microbianas pueden participar en la regulación de la inmunidad, el metabolismo mineral y la actividad de las células responsables del remodelado óseo.(Jones R.M., Mulle J.G., & Pacifici R., 2018) El microbioma humano comprende microorganismos y su información genética, incluyendo bacterias, arqueas, virus y hongos, distribuidos en diferentes nichos anatómicos. Es importante distinguir entre la microbiota, entendida como el conjunto de microorganismos presentes en un ambiente determinado, y el microbioma, que incorpora sus genes, funciones e interacciones ecológicas. (D'Amelio P. & Sassi F., 2018) La pérdida del equilibrio funcional de estas comunidades, denominada disbiosis, puede modificar la producción de metabolitos, la integridad de las barreras epiteliales, la señalización inmunológica y la respuesta inflamatoria sistémica. Estas alteraciones pueden repercutir indirectamente sobre el metabolismo óseo, aun cuando no exista infección directa del hueso. (Pacifici R., 2019)

La evidencia experimental ha identificado mecanismos mediante los cuales la microbiota intestinal regula la masa ósea. Entre ellos destacan la modulación de las células T, la producción de citocinas osteoclastogénicas, la regulación de la absorción intestinal de calcio y la generación de ácidos grasos de cadena corta.(Lucas S., Omata Y., Hofmann J., Böttcher M., e.t. A.l., 2018) En particular, el butirato y el propionato pueden influir sobre la diferenciación y actividad osteoclástica, mientras que determinadas interacciones entre microbiota y sistema inmunitario pueden favorecer o limitar la pérdida de tejido óseo. Estos mecanismos respaldan la necesidad de estudiar la salud ósea desde una perspectiva sistémica que integre exposoma, microbioma, metabolismo e inmunidad. (Tyagi A.M., Yu M., Darby T.M., e.t. A.l., 2018)

La relación entre microbioma y tejido óseo puede comprenderse mediante la osteoinmunología, disciplina que estudia las interacciones entre el sistema inmunitario y las células óseas. (Hsu, E., & Pacifici, R., 2028) La activación inflamatoria persistente puede modificar el equilibrio entre formación y resorción ósea a través de mediadores como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF-α), las interleucinas IL-1β, IL-6 e IL-17, y el sistema RANK/RANKL/OPG. responsable de regular aspectos fundamentales de la diferenciación y actividad osteoclástica. (D'Amelio P. & Sassi F., 2018).

Cuando se produce una disbiosis intestinal o una infección microbiana persistente, la activación de receptores de reconocimiento de patrones microbianos, como los receptores tipo Toll (TLR), puede promover respuestas inmunitarias que incrementen la actividad osteoclástica. De manera paralela, el estrés oxidativo, la disfunción endotelial y las alteraciones metabólicas pueden comprometer la función osteoblástica, la síntesis de matriz osteoide y la reparación tisular. (Jones, R. M., Mulle, J. G., & Pacifici, R., 2018) Sin embargo, estos procesos deben interpretarse como rutas biológicas potenciales cuya magnitud y relevancia clínica dependen del microorganismo, la localización anatómica, el estado inmunitario del huésped y la presencia de factores concomitantes. (Pacifici R., 2019)

No obstante, la disbiosis no debe considerarse automáticamente una causa demostrada de osteoporosis, osteopenia u osteomielitis. Su contribución depende del microorganismo implicado, la localización anatómica, el estado inmunitario del huésped, la duración de la exposición y la existencia de otros factores de riesgo. En este contexto, resulta indispensable distinguir entre la disbiosis como alteración ecológica de una comunidad microbiana y la infección ósea como proceso patológico que implica invasión microbiana del tejido. (Lucas, S., Omata, Y., Hofmann, J., Böttcher, M., e.t. A.l., 2018) La primera puede participar en mecanismos sistémicos de regulación inmunometabólica, mientras que la segunda puede producir inflamación localizada, osteólisis, necrosis y destrucción estructural. Esta diferenciación constituye un fundamento central para investigar las implicaciones de las comunidades bacterianas, virales y fúngicas sobre la calidad ósea.

Las bacterias participan en dos grandes escenarios fisiopatológicos: la disbiosis sistémica que influye indirectamente sobre el metabolismo óseo y las infecciones bacterianas que comprometen directamente las estructuras osteoarticulares. (Lucas, S., Omata, Y., Hofmann, J., Böttcher, M., e.t. A.l., 20218)

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

En el primer escenario, la modificación de la diversidad bacteriana intestinal puede alterar la producción de metabolitos inmunomoduladores y modificar la respuesta inflamatoria. También pueden intervenir los cambios en la microbiota oral, especialmente en enfermedades periodontales asociadas con destrucción del hueso alveolar. La periodontitis constituye un modelo particularmente relevante de interacción entre biofilm bacteriano, inflamación crónica y resorción ósea. (Pacifici R., 2019) La microbiota oral representa otro modelo relevante de interacción entre microorganismos, inflamación y tejido óseo. En la enfermedad periodontal, la formación de comunidades bacterianas disbióticas puede desencadenar respuestas inmunitarias que favorecen la destrucción del hueso alveolar. Hajishengallis (2015) describe que la disbiosis periodontal puede favorecer una respuesta inflamatoria persistente capaz de alterar el equilibrio inmunológico local y producir destrucción del tejido periodontal y del hueso alveolar. Este fenómeno demuestra que las interacciones entre microorganismos y células inmunitarias pueden tener consecuencias estructurales sobre el tejido óseo, aunque los mecanismos locales de la periodontitis no deben extrapolarse automáticamente al resto del esqueleto. (Hajishengallis G., 2015)

En el segundo escenario, microorganismos como Staphylococcus aureus pueden colonizar estructuras óseas y producir osteomielitis. Su patogenicidad está relacionada con mecanismos de adhesión a la matriz extracelular, formación de biopelículas, evasión inmunitaria y persistencia intracelular. Estas características pueden comprometer la integridad cortical y trabecular, ocasionar necrosis ósea, modificar el remodelado y favorecer la destrucción tisular. (Urish KL & Cassat JE., 2020)

Por consiguiente, resulta fundamental distinguir la disbiosis bacteriana, que constituye una alteración ecológica de las comunidades microbianas, de la infección ósea bacteriana, que requiere evidencia clínica y microbiológica específica. Por tanto, la investigación de las alteraciones bacterianas deberá integrar tanto los mecanismos sistémicos de disbiosis como los procesos infecciosos locales, estableciendo criterios diferenciados de identificación y análisis (Lew D.P. & Waldvogel F.A., 2004).

El viroma humano incluye virus eucariotas y bacteriófagos que interactúan con las comunidades bacterianas y las células del huésped. (Haynes M, Rohwer F., 2010) Los bacteriófagos pueden modificar la composición y las funciones de las comunidades bacterianas, mientras que determinados virus humanos pueden generar respuestas inflamatorias sistémicas, alterar la función inmunitaria o afectar indirectamente el metabolismo óseo. Los mecanismos potenciales incluyen la activación de interferones, la modificación de citocinas inflamatorias, el estrés celular, la alteración de las vías de señalización osteoinmunológica y los efectos secundarios de enfermedades virales crónicas o sus tratamientos. (Toppinen M, Sajantila A, Pratas D, Hedman K & Perdomo M.F., 2021)

En personas con infección por VIH, por ejemplo, la pérdida de densidad mineral ósea se ha relacionado con múltiples factores, incluyendo inflamación persistente, alteraciones inmunitarias, comorbilidades y determinados tratamientos antirretrovirales. Sin embargo, estas asociaciones no deben extrapolarse indiscriminadamente a todos los componentes del viroma humano. (Ahmad AN, Ahmad SN, Ahmad N., 2017)
Desde una perspectiva mecanicista, el estudio del viroma representa una oportunidad para investigar cómo las interacciones virus–bacteria–huésped pueden influir sobre la calidad ósea, aunque todavía se requieren investigaciones que establezcan relaciones causales específicas.

El micobioma humano comprende las comunidades de hongos que colonizan superficies cutáneas, mucosas y otros nichos. Su desequilibrio puede asociarse con alteraciones inmunitarias, inflamación y enfermedades oportunistas. Sin embargo, es indispensable diferenciar entre colonización, disbiosis fúngica, infección superficial e infección invasiva del tejido óseo.(Iliev, I. D., & Leonardi, I., 2017)

Los dermatofitos, incluidos los géneros Trichophyton, Microsporum y Epidermophyton, tienen afinidad por tejidos queratinizados, como piel, pelo y uñas. Las infecciones por Microsporum afectan predominantemente estas estructuras; su participación directa en infecciones óseas es excepcional y no constituye un mecanismo habitual de osteomielitis. Por ello, cualquier asociación entre dermatofitosis y alteración de la calidad ósea deberá considerarse una hipótesis indirecta, salvo que exista confirmación microbiológica e histopatológica de invasión profunda. (Weitzman, I., & Summerbell, R.C., 1995)

Por otra parte, Candida spp. puede producir osteomielitis, especialmente en personas con candidemia, inmunosupresión, procedimientos invasivos o determinados factores predisponentes. La infección puede establecerse por diseminación hematógena o inoculación directa y comprometer huesos vertebrales, costales, esternales u otras

localizaciones. Sus efectos incluyen inflamación, destrucción de matriz, alteraciones de la reparación y, en determinados casos, formación de abscesos. (Gamaletsou M.N., Kontoyiannis D.P., Sipsas N.V., e.t. A.l., 2012)

Las micosis profundas producidas por Aspergillus, Histoplasma, Coccidioides, Blastomyces y otros hongos patógenos también pueden presentar afectación osteoarticular. Estos procesos pueden producir lesiones osteolíticas, reacción inflamatoria granulomatosa, necrosis y modificaciones de la arquitectura ósea, con diferencias importantes según el agente causal y las características del huésped. La revisión de Gamaletsou et al. (2022) sobre micosis osteoarticulares y el análisis de Henry et al. (2017) sobre infecciones fúngicas musculoesqueléticas aportan fundamentos para comprender estos mecanismos y sus dificultades diagnósticas. (Gamaletsou M.N., Kontoyiannis D.P., Sipsas N.V., e.t. A.l., 2012; Henry M.W., Miller A.O., Walsh T.J. & Brause B.D., 2017)

En conjunto, estas observaciones justifican la integración de las alteraciones bacterianas, virales y fúngicas en un modelo de investigación que permita distinguir los efectos sistémicos de la disbiosis de los mecanismos locales de infección, inflamación y daño estructural del hueso.

DESARROLLO:

En la 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.(Abuadili Garza V.A., 2026l) Para la parte 2 se realizó un modelado de Capilaroscopía desde una imagenología in vivo, hacia una imagenología de Capilaroscopía in silico para determinar la afectación de la Calidad Ósea tanto por el paso del tiempo, como por la afectación por agentes exógenos,(Abuadili Garza V.A., 2026m) en la parte 3 investigamos los procesos de glucoxidación del tejido óseo y realizamos un modelado comparativo in vivo e in silico, traduciendo el puente de micro – macro en cuanto a la imagenología de Capilaroscopía y Radiología simple.(Abuadili Garza V.A., 2026n; 2026o) En la parte 4 de la investigación, nos enfocamos en la identificación capilaroscópica del desbalance rédox en el tejido óseo partiendo de imágenes obtenidas de la Plataforma Big Data del Sistema ATDM.(Abuadili Garza V.A., 2026p) La parte 5 expuso los factores epigenéticos como el acortamiento telomérico y la retrotransposición de LINE-1 generan la senescencia celular del tejido óseo.(Abuadili Garza V.A., 2026q) En la parte 6, estudiamos los microtraumatismos mecanoposturales y su repercusión en la Calidad Ósea.(Abuadili Garza V.A., 2026r)

En esta parte 7, corresponde estudiar la osteomicrobiología que constituye un campo de investigación que estudia la participación de las comunidades microbianas en el desarrollo, mantenimiento, envejecimiento y deterioro del sistema esquelético. Hsu y Pacifici (2018) describen que la microbiota puede modificar la homeostasis ósea mediante mecanismos inmunológicos, metabólicos y nutricionales, mientras que D'Amelio y Sassi (2018) destacan la interacción entre la microbiota intestinal, el sistema inmunitario y el remodelado óseo.(Hsu E. & Pacifici R., 2018; D'Amelio P. & Sassi F., 2018) Desde esta perspectiva, la calidad ósea no depende exclusivamente de la cantidad de mineral presente, sino también de la organización de la matriz extracelular, la integridad de la microarquitectura, la funcionalidad celular y el equilibrio entre formación y resorción.

La microbiota participa en este sistema mediante tres mecanismos principales: producción de metabolitos bioactivos, modulación de la respuesta inmunitaria y regulación de la disponibilidad de nutrientes. Lucas et al. (2018) demostraron experimentalmente que los ácidos grasos de cadena corta pueden modificar el metabolismo de los osteoclastos y proteger contra determinadas formas de pérdida ósea. (Lucas, S., Omata, Y., Hofmann, J., Böttcher, M., Iljazovic, A., e.t. A.l., 2018) Por otra parte, Tyagi et al. (2018) identificaron, por su parte, una vía de formación ósea relacionada con el butirato, las células T reguladoras y la expresión de WNT10B. Estas investigaciones aportan fundamentos mecanicistas para estudiar las alteraciones del microbioma como variables potencialmente relevantes en la calidad ósea. (Tyagi A.M., Yu M., Darby T.M., Vaccaro C., e.t. A.l., 2018)

La disbiosis bacteriana puede modificar el metabolismo óseo a través de cambios en la producción de ácidos grasos de cadena corta, la señalización de receptores inmunitarios y la regulación de citocinas. Un incremento persistente de mediadores inflamatorios puede favorecer la osteoclastogénesis y modificar la actividad osteoblástica. Asimismo, las alteraciones intestinales pueden interferir con la disponibilidad de calcio, fósforo y otros nutrientes relacionados con la mineralización.

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

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

En las infecciones bacterianas directas, el daño puede producirse mediante destrucción inflamatoria, activación osteoclástica, compromiso vascular y necrosis. Estos mecanismos pueden manifestarse como pérdida localizada de tejido óseo, irregularidad cortical, destrucción trabecular y remodelado reparador.

Por ello, el estudio deberá diferenciar entre alteraciones metabólicas asociadas con disbiosis y lesiones producidas por infecciones bacterianas confirmadas. Esta distinción permitirá establecer asociaciones específicas entre el estado microbiológico y los cuatro componentes de la calidad ósea.

El viroma puede modificar la función de las comunidades bacterianas y la respuesta inmunitaria del huésped. Los bacteriófagos intervienen en la dinámica de las poblaciones bacterianas, mientras que determinados virus eucariotas pueden inducir inflamación, alteraciones celulares y cambios metabólicos sistémicos.

Para el modelado mecanicista se propone analizar tres posibles rutas: la modificación de la señalización inmunitaria, la alteración del metabolismo osteocelular y los efectos indirectos de enfermedades virales crónicas sobre la disponibilidad de nutrientes, la función endocrina y la actividad física.

El principal desafío científico será determinar qué alteraciones representan efectos directos de una infección viral y cuáles corresponden a factores concomitantes. La detección de material genético viral no demuestra, por sí misma, que exista daño óseo atribuible al virus.

Justificación

La creciente evidencia sobre la interacción entre el microbioma humano y el metabolismo óseo plantea la necesidad de desarrollar modelos de investigación que integren los mecanismos microbiológicos, inmunológicos, metabólicos y morfofuncionales que participan en el mantenimiento y deterioro de la calidad ósea. Aunque se han identificado relaciones entre microbiota intestinal, inflamación sistémica, actividad osteoclástica y formación ósea, persisten interrogantes sobre las contribuciones específicas de las disbiosis bacterianas, las alteraciones del viroma y las comunidades fúngicas, particularmente cuando coexisten con enfermedades metabólicas, envejecimiento, alteraciones microvasculares o procesos infecciosos.

Desde el punto de vista clínico, resulta especialmente relevante diferenciar las alteraciones sistémicas del microbioma de las infecciones directas del tejido óseo. Las primeras pueden modificar la regulación inmunometabólica y los procesos de remodelado, mientras que las segundas pueden ocasionar destrucción estructural, necrosis y pérdida funcional. Esta diferenciación resulta indispensable para comprender las implicaciones de microorganismos bacterianos, virus, dermatofitos, Microsporum, Candida y agentes responsables de micosis profundas, sin atribuir a todos ellos mecanismos patogénicos equivalentes.

La presente investigación se justifica por la oportunidad de integrar estos conocimientos en el modelo de Calidad Ósea del Sistema ATDM, estructurado en cuatro componentes: densidad ósea, microarquitectura, remodelado y mineralización. Mediante la metodología iterativa y el marco propuesto de Biosemiómica Clínica Aplicada, se pretende construir un modelo multivariable que relacione el estado microbiológico con indicadores clínicos, metabólicos, microvasculares e imagenológicos. La capilaroscopía digital in vivo se incorporará como herramienta complementaria para investigar signos microcirculatorios asociados con estos procesos, mientras que el modelado in silico permitirá representar y contrastar hipótesis mecanicistas sobre las modificaciones de la calidad ósea.

La relevancia científica de este estudio reside en su potencial para generar una clasificación investigativa de las alteraciones morfofuncionales relacionadas con el microbioma, identificar asociaciones reproducibles y establecer las bases de futuros procedimientos de evaluación integral. Asimismo, permitirá explorar la utilidad de la Capilaroscopía como herramienta no invasiva de investigación, sin sustituir las pruebas microbiológicas, densitométricas o imagenológicas de referencia. Su contribución principal consistirá en formular y someter a validación un modelo integrador capaz de diferenciar los signos observables, los mecanismos biológicos hipotéticos y las relaciones causales que puedan demostrarse experimentalmente.

Objetivo general

Desarrollar un modelo mecanicista, morfofuncional e integrador, mediante la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de Biosemiómica Clínica Aplicada, que permita caracterizar y analizar las posibles asociaciones entre las

alteraciones del microbioma bacteriano, viral y fúngico y los cuatro componentes de la Calidad Ósea —densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización—, integrando evidencia científica, información clínico-metabólica, hallazgos microbiológicos y capilaroscópicos in vivo, así como simulaciones in silico, para investigar sus mecanismos fisiopatológicos y su potencial utilidad predictiva.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las alteraciones del microbioma: identificar, mediante revisión científica y datos microbiológicos disponibles, los principales microorganismos y estados de disbiosis bacteriana, viral y fúngica potencialmente relacionados con modificaciones de la calidad ósea.
2. Analizar los mecanismos osteoinmunológicos: estudiar la participación de las vías inflamatorias, citocinas, metabolitos microbianos y sistemas de señalización celular en las modificaciones de la actividad osteoblástica, osteoclástica y osteocítica.
3. Investigar las infecciones fúngicas: diferenciar los mecanismos asociados con dermatofitos, Microsporum, Candida y agentes de micosis profundas, identificando sus posibles efectos sistémicos y, cuando corresponda, sus mecanismos de invasión directa del tejido óseo.
4. Evaluar los cuatro componentes de la Calidad Ósea: analizar las asociaciones entre el estado microbiológico y las alteraciones de densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización, mediante indicadores clínicos y pruebas de referencia.
5. Caracterizar los patrones capilaroscópicos in vivo: identificar y cuantificar signos microvasculares que pudieran asociarse con inflamación sistémica, alteraciones metabólicas o estados microbiológicos confirmados, evaluando su reproducibilidad y especificidad.
6. Desarrollar el modelado mecanicista in silico: representar las posibles interacciones entre microbioma, respuesta inmunitaria, metabolismo, microcirculación y tejido óseo mediante modelos computacionales y simulaciones morfofuncionales.
7. Integrar la información mediante Biosemiómica Clínica Aplicada: construir una matriz de relaciones entre signos observables, variables microbiológicas, mecanismos fisiopatológicos y componentes de la calidad ósea, diferenciando asociaciones de hipótesis causales.
8. Evaluar la utilidad predictiva del modelo: explorar si la incorporación de variables capilaroscópicas mejora la capacidad de modelos clínico-metabólicos para identificar alteraciones de la calidad ósea, mediante procedimientos de validación estadística.
9. Proponer una clasificación morfofuncional: desarrollar una clasificación investigativa de los posibles efectos de las alteraciones del microbioma sobre la calidad ósea, susceptible de evaluación y validación en estudios posteriores.

Hipótesis:

Hipótesis general (H1). Las alteraciones del microbioma bacteriano, viral y fúngico se asocian con modificaciones de uno o más componentes de la calidad ósea, mediadas parcialmente por procesos inmunoinflamatorios, metabólicos y microvasculares, aun después de considerar factores de confusión relevantes.

Hipótesis específica 1.
Los perfiles de disbiosis asociados con mayor actividad inflamatoria sistémica presentan una mayor frecuencia de alteraciones en indicadores de remodelado y densidad ósea.

Hipótesis específica 2.
Las infecciones óseas bacterianas y fúngicas microbiológicamente confirmadas presentan patrones de alteración estructural diferentes de los observados en personas con disbiosis sin infección ósea.

Hipótesis específica 3.
Determinados parámetros capilaroscópicos se asocian con indicadores inflamatorios y metabólicos en personas con alteraciones microbiológicas confirmadas, aunque estos parámetros no permiten identificar por sí solos el microorganismo causal.

Hipótesis específica 4.

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

La integración de variables clínicas, microbiológicas, bioquímicas, imagenológicas y capilaroscópicas mejora la capacidad predictiva de alteraciones de la calidad ósea frente a modelos construidos únicamente con variables clínicas tradicionales.

MÉTODOS

Se desarrolló un estudio observacional, descriptivo, analítico, comparativo, correlacional y propositivo, con un componente de modelado mecanicista in vivo e in silico, orientado a investigar las posibles relaciones entre las alteraciones del microbioma bacteriano y fúngico, sus manifestaciones tisulares y las modificaciones morfofuncionales de la Calidad Ósea. La investigación se estructuró bajo la metodología iterativa del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM) y el marco conceptual de la Biosemiómica Clínica Aplicada, integrando evidencia microbiológica, histopatológica, clínica e imagenológica con observaciones obtenidas mediante capilaroscopía digital convencional y de proyección oblicua multiespectral a 45°.

El diseño contempló el análisis comparativo de imágenes microbiológicas de referencia y registros capilaroscópicos procedentes de la plataforma Big Data del Sistema ATDM, con el propósito de identificar posibles patrones de similitud morfológica, distribución espacial, características ópticas y modificaciones del microambiente tisular. Asimismo, se desarrolló un modelo mecanicista para investigar las relaciones entre disbiosis, infección, inflamación, alteraciones microvasculares, respuesta osteoinmunológica y los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización. Se estableció como principio metodológico que la similitud imagenológica constituye una hipótesis de correspondencia y no equivale a la identificación microbiológica del microorganismo ni a la demostración de infección ósea.

La investigación integró tres fuentes de información complementarias. La primera correspondió a una revisión bibliográfica de publicaciones científicas sobre microbioma, disbiosis, infecciones bacterianas y fúngicas, osteomielitis, osteoinmunología, microcirculación y homeostasis del tejido óseo. La segunda estuvo constituida por imágenes microbiológicas e histopatológicas de referencia, utilizadas para caracterizar las estructuras de los microorganismos seleccionados y las alteraciones tisulares asociadas. La tercera comprendió imágenes capilaroscópicas de tejidos blandos y regiones anatómicas atribuidas al tejido óseo, seleccionadas de los registros disponibles de la plataforma Big Data del Sistema ATDM.

La unidad primaria de análisis fue la imagen individual, mientras que la unidad comparativa estuvo constituida por conjuntos de imágenes organizados según el microorganismo estudiado y la región anatómica examinada. Se incluyeron cinco agentes o grupos microbiológicos de interés: Staphylococcus aureus, Mycobacterium tuberculosis, Candida spp., Aspergillus niger y Fonsecaea pedrosoi. La selección respondió a su relevancia en procesos infecciosos, inflamatorios y de afectación tisular, así como a la disponibilidad de imágenes para el desarrollo del modelo comparativo. La inclusión de estos microorganismos no presupuso una prevalencia determinada dentro de la población ATDM ni confirmó su presencia en las imágenes capilaroscópicas.

Para facilitar la interpretación y presentación de los resultados, la investigación se organizó en cuatro etapas complementarias:

Etapa I. Revisión bibliográfica y fundamentación microbiológica

Se analizaron los mecanismos de colonización, disbiosis, infección invasiva y daño tisular asociados con los microorganismos seleccionados, diferenciando los efectos sistémicos del microbioma de los procesos infecciosos locales. Se prestó especial atención a la formación de biopelículas, inflamación granulomatosa, invasión fúngica, necrosis, osteólisis y respuesta reparadora.

Etapa II. Caracterización microbiológica e histopatológica

Se seleccionaron imágenes de referencia para describir morfología, agrupación, estructuras filamentosas, elementos reproductivos y patrones histopatológicos. Para S. aureus se consideró la morfología cocoide; para M. tuberculosis, las lesiones granulomatosas y necróticas; para Candida spp., levaduras y pseudohifas; para A. niger, hifas y estructuras conidiales; y para F. pedrosoi, estructuras fúngicas dematiáceas y células muriformes en tejido infectado.

Etapa III. Análisis capilaroscópico in vivo

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

Se examinaron registros de capilaroscopía de tejidos blandos y de proyección oblicua multiespectral a 45°, buscando caracterizar la morfología visible, el contraste, la distribución espacial, la perfusión superficial y las modificaciones ópticas de los tejidos. En las regiones osteomioarticulares se investigaron posibles patrones asociados con alteraciones del microambiente tisular, sin atribuirles de manera automática identidad microbiológica ni correspondencia con estructuras óseas profundas.

Etapa IV. Correlación imagenológica comparativa
Se realizó una comparación cualitativa entre imágenes microbiológicas, histopatológicas y capilaroscópicas, considerando similitudes y diferencias en forma, contorno, tamaño aparente, organización espacial, patrones cromáticos y características estructurales. Se distinguieron las coincidencias morfológicas exploratorias de las correspondencias verificadas mediante métodos diagnósticos independientes.

El componente capilaroscópico se fundamentó en el análisis de imágenes digitales obtenidas mediante los procedimientos de adquisición contemplados en el Sistema ATDM. Para tejidos blandos se consideraron las características visibles de la microcirculación y del entorno tisular superficial. Para el componente osteomioarticular se incorporó la técnica de proyección oblicua multiespectral a 45°, propuesta dentro del protocolo ATDM para investigar patrones de reflectancia y contrastes ópticos en regiones anatómicas relacionadas con estructuras musculares, tendinosas, articulares y óseas.

Las variables de observación incluyeron configuración morfológica, continuidad de estructuras, variaciones cromáticas, distribución de señales luminosas, contraste entre regiones y posibles modificaciones del patrón microvascular. Se propuso documentar los parámetros de adquisición, aumentos, iluminación, longitudes de onda, distancia de trabajo, región anatómica y condiciones de captura, cuando estuvieran disponibles, con la finalidad de favorecer la reproducibilidad.

La evaluación del hueso compacto y esponjoso se incorporó como objetivo de investigación del modelo, no como una capacidad diagnóstica ya validada de la capilaroscopía. Por su profundidad anatómica y características estructurales, estos componentes requieren técnicas de referencia, como tomografía computarizada, resonancia magnética, densitometría o histomorfometría, según la variable estudiada.

El análisis inicial fue descriptivo y comparativo. Se identificaron características visuales recurrentes y se organizaron por microorganismo, tipo de imagen y región anatómica. Posteriormente, se realizó una interpretación mecanicista sustentada en la literatura científica, diferenciando los hallazgos directamente observables de los procesos biológicos inferidos.

Se consideraron elegibles las imágenes que permitieran reconocer las estructuras de interés, tuvieran una procedencia identificable y correspondieran a alguno de los microorganismos o grupos anatómicos definidos. Para las imágenes capilaroscópicas se priorizaron registros con calidad suficiente para describir las características ópticas observables.

Se excluyeron del análisis comparativo aquellas imágenes con artefactos graves, pérdida significativa de definición, alteraciones por procesamiento digital que impidieran reconocer las estructuras originales o procedencia no verificable. Las imágenes de microorganismos diferentes no se consideraron equivalentes por el solo hecho de compartir una forma redondeada o filamentosa.

Como medidas de control de sesgos se propusieron la evaluación independiente de las imágenes, el registro de los criterios utilizados para seleccionar cada patrón y la inclusión de imágenes de referencia no infecciosas y de otros microorganismos. Estas medidas son necesarias para reducir el riesgo de interpretaciones basadas exclusivamente en semejanzas visuales.

Consideraciones éticas y limitaciones
El estudio se planteó sobre el análisis de registros e imágenes previamente disponibles. Para cualquier utilización de información clínica individual deberá verificarse la existencia de consentimiento informado, autorización de uso de imágenes y protección de los datos personales conforme a los requisitos institucionales aplicables.

La principal limitación metodológica consiste en que la Capilaroscopía no es una técnica microbiológica de identificación etiológica ni un procedimiento validado para visualizar directamente microorganismos dentro del tejido

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

óseo. Asimismo, la semejanza entre imágenes de distintas modalidades puede verse afectada por diferencias de escala, iluminación, resolución, profundidad, tinción y procesamiento digital. Por consiguiente, los resultados de esta investigación deberán interpretarse como una propuesta exploratoria de correlación imagenológica y modelado mecanicista, cuya validación requerirá estudios prospectivos con confirmación microbiológica, evaluación imagenológica ósea y controles apropiados.

La investigación integra la caracterización microbiológica e histopatológica, el análisis capilaroscópico in vivo y el modelado mecanicista in silico para construir una propuesta de correlación imagenológica entre microorganismos, alteraciones tisulares y Calidad Ósea. Su aportación principal consiste en formular un marco comparativo reproducible y susceptible de validación, diferenciando la similitud morfológica observada de la identificación etiológica y de la demostración de daño óseo.

RESULTADOS

Tal y como lo establecimos en la metodología anterior, para reportar los resultados del presente artículo,lo haremos por partes, al tenor de los siguientes considerandos:

Parte 1.- Revisión bibliográfica:

No existe un número exacto y estático de artículos publicados debido a que la gran mayoría de la literatura científica no aborda un "microbioma propio del tejido óseo", sino que se centra en el eje intestino-hueso (*gut-bone axis*), donde se estudian miles de artículos científicos indexados en bases de datos como PubMed. (José Neto N, Duarte Brito M, Gomes CDS, e.t. A.l., 2025; Shi H, Huang L, Zhang JH, e.t. A.l., 2026)

Tradicionalmente, el tejido óseo sano se ha considerado un entorno estéril, por lo que la investigación sobre la disbiosis y la salud ósea se divide en dos enfoques principales:(Chen J, Xiong A, Ma Y, Qin C, Ho CL., 2021)

1. El Eje Intestino-Hueso (Enfoque Mayoritario)

Existen miles de artículos publicados (revisiones sistemáticas, ensayos clínicos y estudios en modelos animales) que analizan cómo la disbiosis de la microbiota intestinal afecta indirectamente al tejido óseo. (Waldbaum JDH, Xhumari J, Akinsuyi OS, e.t. A.l., 2023)

- Mecanismos: La alteración de las bacterias del intestino debilita la barrera intestinal, liberando citocinas proinflamatorias y modificando ácidos grasos de cadena corta (SCFAs), lo que acelera la resorción ósea por parte de los osteoclastos.
- Patologías: Está fuertemente vinculada en la literatura con la osteoporosis y la osteoartritis.

2. El Microbioma Local del Tejido Óseo (Enfoque Emergente)

Si se busca estrictamente literatura sobre microorganismos habitando de forma nativa en la matriz o tejido óseo (lo que algunos investigadores empiezan a llamar "microbioma óseo"), la cantidad de artículos es muy reducida y reciente (unas pocas decenas de estudios). (Chen J, Xiong A, Ma Y, Qin C, Ho CL., 2021)

- Enfoque: La mayoría de estos artículos específicos evalúan la disbiosis local únicamente cuando ocurre una perturbación patológica o infección externa directa, como en el caso de la osteomielitis (inflamación e infección bacteriana del hueso).

Para evaluar con precisión cuántos artículos científicos describen la disbiosis del tejido óseo en las principales plataformas, es fundamental comprender una regla de indexación: las bases de datos biomédicas organizan esta literatura bajo el concepto del "Eje Intestino-Hueso" (*Gut-Bone Axis*) o "Microbioma y Metabolismo Óseo". (Toboła M, Kuryłowicz A., 2026)

A nivel técnico, no existe un descriptor indexado para un "microbioma nativo del hueso sano", por lo que los motores de búsqueda asocian la "disbiosis ósea" a dos vertientes: la influencia de la disbiosis intestinal sobre el hueso (mayoritario) y la disbiosis microbiótica local en infecciones como la osteomielitis o la pérdida ósea alveolar (boca). (Gupta K, Rahaman J, Mukherjee D., 2026)

A continuación, en la Tabla 1 se detalla una aproximación del volumen de artículos disponibles en cada plataforma según los criterios de búsqueda estándar (*"Gut-Bone Axis"*, *"Microbiota"* AND *"Bone Loss"* / *"Dysbiosis"*):

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

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

Tabla 1.- Relación bibliométrica de Artículos que hablan de Disbiosis del tejido óseo.

Artículos de Disbiosis del Tejido Óseo por Plataforma		
Metabuscador	**Volúme Artículos**	**Enfoque e Indexación Principal**
PubMed / Medline	1500 - 2000 Artículos	Altamente específico. Estudios indexados bajo términos MeSH (*Medical Subject Headings*) combinando mecanismos inmunes, osteoporosis y disbiosis intestinal
Scopus	2500 - 3500 Artículos	Incluye revistas de ciencia de materiales, bioingeniería de tejido óseo e impacto de la microbiota en la regeneración.
Google Scholar	18000 - 25000 Artículos	Masivo pero con alta duplicación. Incluye tesis doctorales, resúmenes de congresos, patentes de suplementos óseos y citas repetidas.
SciELO	40 - 80 Artículos	Foco regional (Iberoamérica). Principalmente revisiones narrativas de la relación entre microbiota, salud ósea y enfermedades reumáticas, en español y portugués.

Parte 2: Modelado Mecanicista de la Disbiosis de la Calidad Ósea:
La Figura 1 presenta la propuesta de modelado mecanicista del eje microbioma–inmunidad–tejido óseo, estructurada para investigar las posibles repercusiones de las disbiosis bacterianas, virales y fúngicas sobre la homeostasis y calidad del tejido óseo.

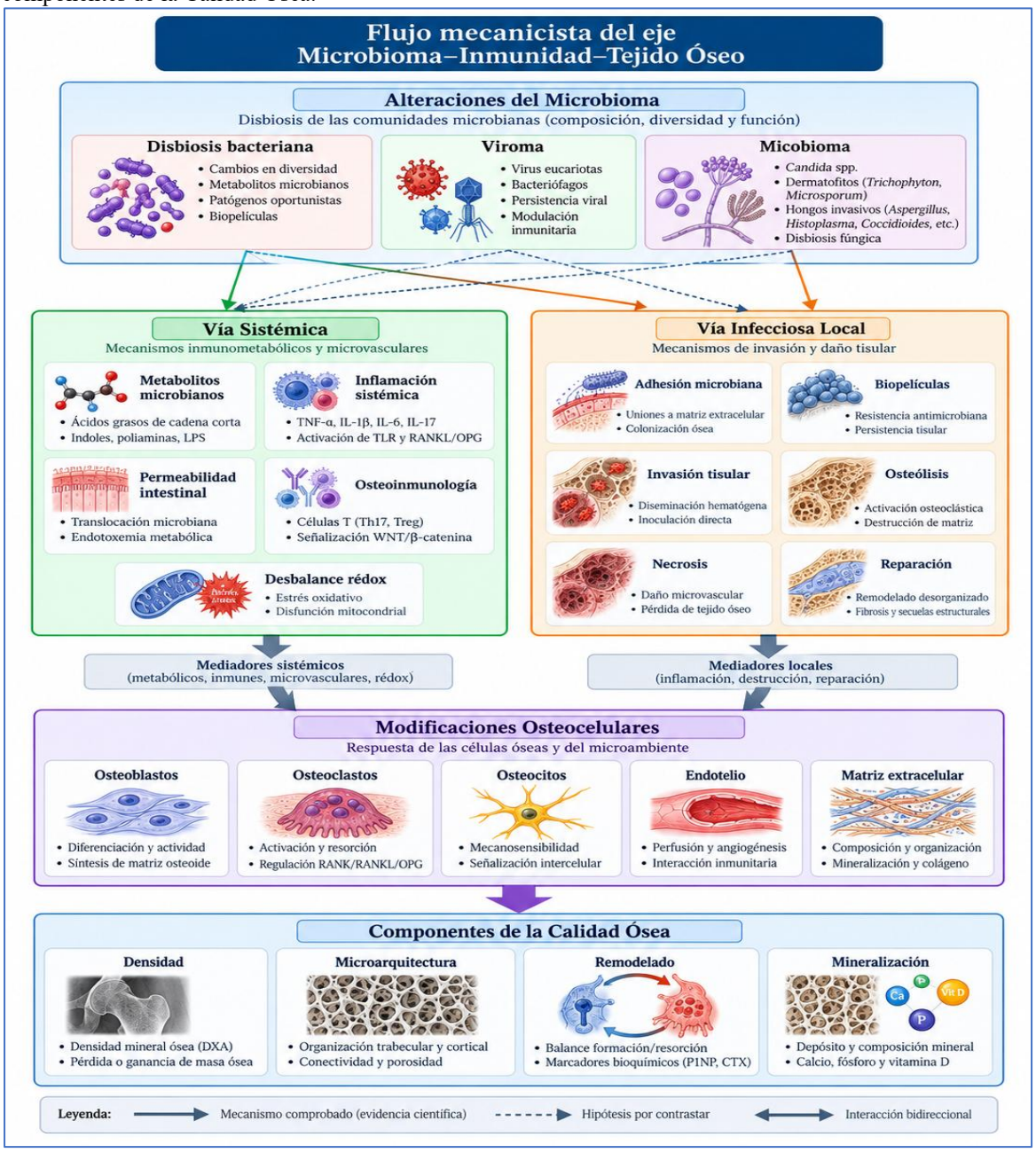
El modelo establece dos rutas fisiopatológicas principales: una vía sistémica, caracterizada por alteraciones inmunometabólicas, inflamatorias y microvasculares, y una vía infecciosa local, relacionada con la adhesión microbiana, formación de biopelículas, invasión tisular, osteólisis, necrosis y reparación ósea. Ambas rutas convergen en modificaciones de la actividad osteoblástica, osteoclástica y osteocítica, así como de la función endotelial y la organización de la matriz extracelular. Esta integración se fundamenta en los mecanismos descritos por Hsu y Pacifici (2018) y D'Amelio y Sassi (2018), quienes identificaron la participación de la microbiota intestinal y del sistema inmunitario en la regulación del metabolismo óseo.(Hsu, E., & Pacifici, R., 2018; D'Amelio, P., & Sassi, F., 2018) Asimismo, Lucas et al. (2018) demostraron experimentalmente que los ácidos grasos de cadena corta pueden modificar la actividad osteoclástica, aportando evidencia para la relación entre metabolitos microbianos y homeostasis esquelética.(Lucas, S., Omata, Y., Hofmann, J., Böttcher, M., e.t. A.l., 2018)

En la vía sistémica, el modelo propone que los cambios en la diversidad y composición de las comunidades microbianas pueden modificar la producción de metabolitos, la permeabilidad intestinal y la activación de mecanismos osteoinmunológicos. Estas alteraciones podrían favorecer la liberación de mediadores inflamatorios, incluidos TNF-α, IL-1β, IL-6 e IL-17, así como modificaciones de la señalización TLR y RANK/RANKL/OPG, con repercusiones sobre el equilibrio entre formación y resorción ósea. Paralelamente, el desbalance rédox y la disfunción mitocondrial se incorporan como posibles mecanismos intermediarios capaces de afectar la actividad celular y el microambiente osteometabólico. Tyagi et al. (2018) identificaron que el butirato puede estimular la formación ósea mediante células T reguladoras y la expresión de WNT10B,(Tyagi, A. M., Yu, M., Darby, T. M., e.t. A.l., 2018) mientras que Pacifici (2019) describió la relevancia del eje intestino–hueso y de los metabolitos bacterianos en la regulación del remodelado.(Pacifici R., 2019) En este contexto, las relaciones entre disbiosis,(Abuadili Garza V.A. & García Súchil M., 2026ª, 2026b) desbalance rédox (Abuadili Garza V.A., 2025i, 2026ñ) y alteraciones microvasculares se consideran hipótesis mecanicistas que deberán contrastarse experimentalmente.

La vía infecciosa local representa los mecanismos mediante los cuales determinados microorganismos pueden producir afectación directa del tejido óseo. El modelo incorpora la adhesión a componentes de la matriz extracelular, formación de biopelículas, invasión tisular, destrucción osteoclástica, necrosis y reparación estructural. Estos mecanismos son especialmente relevantes en infecciones bacterianas y micosis profundas, donde la persistencia microbiana y la respuesta inflamatoria pueden comprometer la integridad cortical y trabecular. Lew y Waldvogel (2004) describieron los mecanismos fisiopatológicos de la osteomielitis bacteriana,(Lew D.P. & Waldvogel F.A., 2004) mientras que Gamaletsou et al. (2012) documentaron las manifestaciones de la osteomielitis por Candida en 207 casos.(Gamaletsou M.N., Kontoyiannis D.P., Sipsas N.V., e.t. A.l., 2012) Asimismo, Gamaletsou et al. (2022) analizaron las micosis

osteoarticulares producidas por diversos hongos patógenos, incluyendo Aspergillus, Coccidioides y otros agentes de infecciones invasivas. En el caso de los dermatofitos, incluidos Trichophyton y Microsporum, su participación en infecciones óseas es excepcional, por lo que el modelo distingue las dermatofitosis superficiales de las micosis invasivas y evita atribuirles mecanismos de osteomielitis sin confirmación microbiológica. (Gamaletsou M.N., Rammaert B., Brause B., e.t. A.l., 2022)

Figura 1.- Modelo mecanicista del eje microbioma–inmunidad–tejido óseo y sus implicaciones sobre los cuatro componentes de la Calidad Ósea.



Representación conceptual de las interacciones entre las alteraciones del microbioma bacteriano, viral y fúngico y las vías sistémica e infecciosa local, que convergen en modificaciones de osteoblastos, osteoclastos, osteocitos, endotelio vascular y matriz extracelular. El modelo integra los posibles efectos sobre densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización ósea, diferenciando mecanismos sustentados por evidencia científica de hipótesis pendientes de contrastación. Se propone su aplicación mediante la metodología iterativa del Sistema ATDM y la

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

Biosemiómica Clínica Aplicada, incorporando observaciones in vivo y modelado in silico. Elaboración propia a partir de Hsu y Pacifici (2018), Lucas et al. (2018), Tyagi et al. (2018), Pacifici (2019) y Gamaletsou et al. (2022).

La convergencia de ambas vías se representa mediante cinco componentes osteocelulares y tisulares: osteoblastos, osteoclastos, osteocitos, endotelio vascular y matriz extracelular. Los osteoblastos participan en la síntesis de matriz osteoide y formación ósea; los osteoclastos regulan la resorción; los osteocitos intervienen en la mecanosensibilidad y señalización intercelular; (Jones, R. M., Mulle, J. G., & Pacifici, R., 2018) el endotelio contribuye a la perfusión y angiogénesis; y la matriz extracelular proporciona el soporte estructural para la mineralización. El modelo propone que la alteración coordinada de estos componentes puede manifestarse en modificaciones de los cuatro indicadores de la Calidad Ósea establecidos en el marco conceptual del Sistema ATDM: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización.(Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e, 2026f) La evidencia sobre las interacciones entre microbiota, osteoinmunología y metabolismo esquelético respalda la plausibilidad biológica de estas relaciones, aunque no demuestra que todas las disbiosis produzcan necesariamente deterioro óseo. (Hsu, E., & Pacifici, R., 2018; Pacifici R., 2019).

Finalmente, la propuesta establece un marco de integración para la metodología iterativa del Sistema ATDM (Abuadili Garza V.A., 2025c, 2025d, 2025e) y la Biosemiómica Clínica Aplicada,(Abuadili Garza V.A., 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j) mediante el cual se pretende correlacionar los mecanismos microbiológicos e inmunometabólicos con hallazgos clínicos, bioquímicos, imagenológicos y capilaroscópicos in vivo, documentados en la Plataforma Big Data del Sistema ATDM,(Abuadili Garza V.A., Sánchez Olivera F. & Escalante Mendoza D., 2026) complementados mediante modelado in silico.(Abuadili Garza V.A., 2026k) La Capilaroscopía se plantea como una herramienta complementaria para investigar posibles manifestaciones microvasculares asociadas con inflamación sistémica y por senescencia celular (Abuadili Garza V.A. 2026s, 2026v; Abuadili Garza V.A. & Molina Calderón L.E., 2026a, 2026b, 2026c) y alteraciones metabólicas;(Abuadili Garza V.A., 2026n, 2026q, 2026r, 2026t, 2026u) sin embargo, recientemente se ha utilizado para identificar diversas especies microbiológicas.(Abuadili Garza V.A. & García Súchil M., 2026a, 2026b) El modelado computacional permitirá representar las interacciones entre disbiosis, mediadores inflamatorios, respuesta osteocelular y modificaciones de la Calidad Ósea, diferenciando los mecanismos documentados de las hipótesis por contrastar.

El resultado de esta parte es la construcción de un modelo conceptual mecanicista, no la demostración experimental de causalidad, que proporciona una estructura para futuras evaluaciones de asociación, reproducibilidad y capacidad predictiva.

Parte 3.- Identificación Capilaroscópica de la Osteomicrobiología in vivo:
Para la presentación de los resultados de esta investigación, se desarrolló una propuesta de correlación imagenológica comparativa y morfofuncional, orientada a identificar patrones de similitud entre las características microscópicas de microorganismos bacterianos, virales y fúngicos documentadas mediante histopatología y cultivos microbiológicos, y los hallazgos obtenidos mediante capilaroscopía digital in vivo, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

El análisis contempla la comparación de características morfológicas, patrones de distribución, organización espacial, características ópticas y modificaciones tisulares asociadas, tanto en tejidos blandos como en regiones anatómicas relacionadas con el tejido óseo. Asimismo, se propone investigar la relación entre estos patrones y las modificaciones de los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización.

La similitud morfológica entre imágenes no constituye, por sí misma, identificación microbiológica ni demuestra la presencia del microorganismo en el tejido óseo; por ello, las correspondencias propuestas deberán contrastarse con pruebas microbiológicas e histopatológicas de referencia, considerando las limitaciones de resolución y profundidad de la Capilaroscopía. De esta manera, los resultados se presentan como una propuesta exploratoria de integración biosemiómica, orientada a generar y validar hipótesis sobre la interacción entre microorganismos, microcirculación, respuesta tisular y alteraciones morfofuncionales de la Calidad Ósea.

En ese orden de ideas, para hacer este estudio de osteomicrobiología, dividiremos los hallazgos identificados en:

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

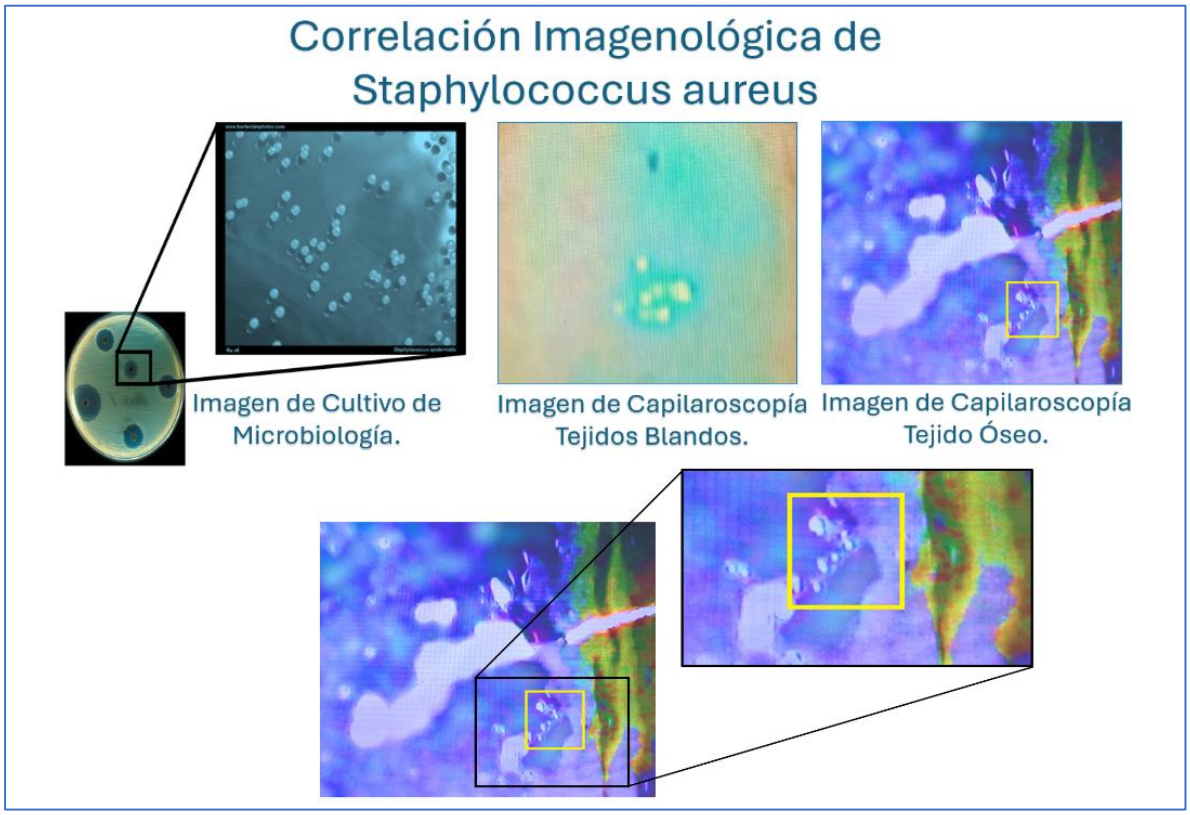
a) DISBIOSIS BACTERIANAS:

La identificación de las disbiosis bacterianas en el tejido óseo por medio de Capilaroscopía se ha debido a hallazgos y una búsqueda intencionada y fue posible la identificación de dos tipos de microorganismos, a saber:

Staphylococcus aureus:

La figura 2 presenta una propuesta de correlación imagenológica de Staphylococcus aureus mediante la comparación de imágenes de cultivos microbiológicos y microscopía con imágenes de capilaroscopía digital in vivo de tejidos blandos y regiones anatómicas relacionadas con el tejido óseo, obtenidas bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

Figura 2.- Correlación Imagenológica de S. aureus:



En las imágenes microbiológicas se observan estructuras de morfología redondeada, mientras que en las imágenes capilaroscópicas se identifican agrupaciones de señales ópticas luminosas, con variaciones de intensidad, distribución espacial y contraste cromático. Las ampliaciones permiten reconocer patrones de similitud morfológica entre las imágenes de referencia y los hallazgos capilaroscópicos, estableciendo una propuesta de correspondencia imagenológica susceptible de evaluación in silico en futuros estudios. Desde una perspectiva fisiopatológica, S. aureus puede participar en procesos de colonización, disbiosis e infección invasiva, caracterizados por mecanismos de adhesión, formación de biopelículas, persistencia intracelular y activación inflamatoria. Josse et al. (2015) describieron las interacciones entre S. aureus y los osteoblastos, destacando su participación en la fisiopatología de la osteomielitis (Josse J., Velard F. & Gangloff S.C, 2015). No obstante, la semejanza entre las imágenes constituye una observación exploratoria y no demuestra, por sí misma, la identificación del microorganismo mediante Capilaroscopía.

En relación con la Calidad Ósea, la propuesta mecanicista establece que la infección por S. aureus puede modificar sus cuatro componentes morfofuncionales: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización, mediante la interacción entre microorganismos, células óseas, respuesta inmunitaria y microambiente vascular. La persistencia bacteriana y la formación de biopelículas pueden comprometer la actividad osteoblástica, favorecer la osteoclastogénesis y alterar el equilibrio entre formación y resorción ósea, ocasionando pérdida de tejido mineralizado,

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

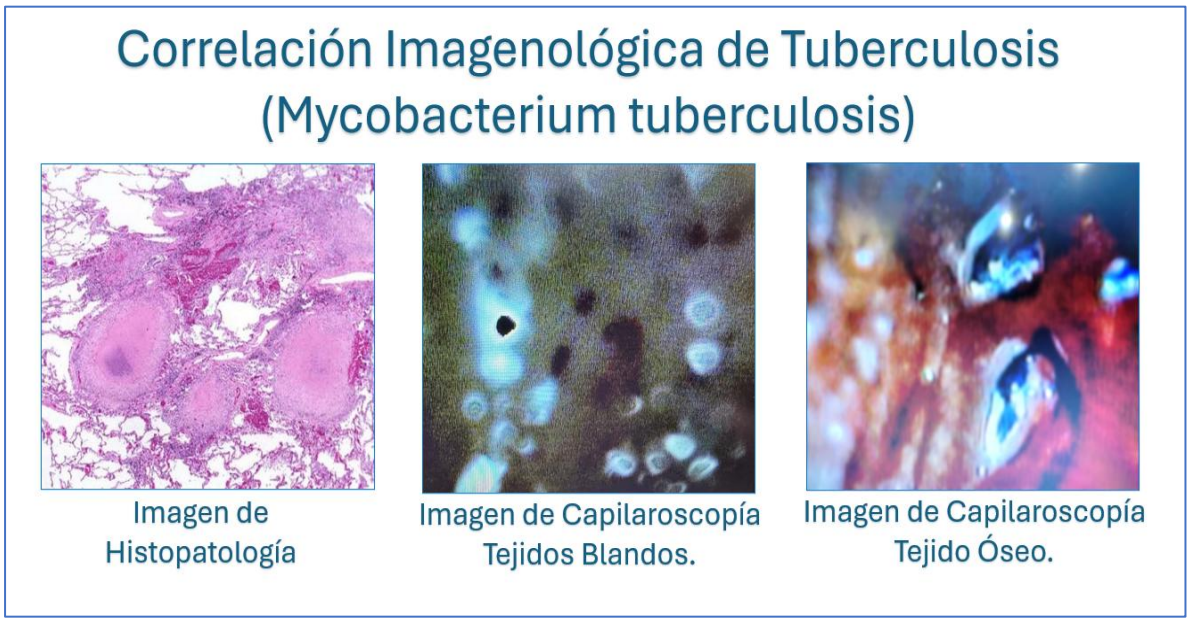
deterioro cortical y trabecular y procesos reparadores desorganizados. Sanchez et al. (2013) demostraron experimentalmente que las biopelículas de S. aureus disminuyen la viabilidad y diferenciación osteoblástica y favorecen mecanismos relacionados con la resorción ósea (Sánchez C.J. Jr., Ward C.L., Romano D.R., e.t. A.l., 2013), mientras que Alder et al. (2020) describieron la relevancia de la persistencia intracelular bacteriana en la inflamación y destrucción osteoarticular. (Alder K.D., Lee I., Munger A.M., e.t. A.l., 2020).

Bajo esta perspectiva, la integración de imágenes microbiológicas y capilaroscópicas constituye una propuesta de investigación para establecer posibles asociaciones entre alteraciones microvasculares, infección estafilocócica y deterioro morfofuncional del tejido óseo.(Beenken K.E., Campbell M.J., Reyes-Pardo H., O'Brien C.A. & Smeltzer M.S., 2026) Sin embargo, la confirmación de S. aureus y de sus efectos sobre la Calidad Ósea requiere pruebas microbiológicas, histopatológicas e imagenológicas validadas, por lo que los patrones capilaroscópicos descritos deben considerarse indicadores exploratorios sujetos a validación científica, y no evidencia diagnóstica directa.

Mycobacterium tuberculosis:

La figura 3 presenta una propuesta de correlación imagenológica de la tuberculosis osteoarticular causada por Mycobacterium tuberculosis, mediante la comparación de una imagen histopatológica de referencia con imágenes de Capilaroscopía digital in vivo correspondientes a tejidos blandos y regiones anatómicas atribuidas al tejido óseo, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

Figura 3.- Correlación imagenológica de la Tuberculosis:



En la imagen histopatológica se identifican estructuras redondeadas y áreas de diferente intensidad de tinción, interpretadas en el modelo como posibles espacios cavitarios o zonas de alteración tisular. Estas características requieren confirmación histológica, ya que la imagen aislada no permite demostrar necrosis caseosa ni cavitación ósea. (Agashe VM, Johari AN, Shah M, Anjum R, Romano C, e.t. A.l., 2020)

En la Capilaroscopía de tejidos blandos se observan estructuras ópticas circulares de tonalidades azuladas y blanquecinas, distribuidas sobre un fondo heterogéneo; por su parte, la imagen atribuida al tejido óseo muestra áreas irregulares de contraste azul brillante, rodeadas de regiones rojizas y oscuras. La comparación permite proponer una similitud morfológica entre espacios tisulares, señales ópticas y posibles patrones de desorganización estructural, que constituye una hipótesis de correspondencia imagenológica, sin olvidar que no es una identificación directa de M. tuberculosis, como se respalda en un reporte de caso clínico presentado por este autor en la revista IECC

México.(Abuadili Garza V.A., 2026w) Desde el punto de vista fisiopatológico, la tuberculosis osteoarticular puede producir inflamación granulomatosa, necrosis caseosa y destrucción ósea progresiva, procesos descritos por Pigrau-Serrallach y Rodríguez-Pardo (2013) en su revisión de la tuberculosis osteoarticular.

En relación con la Calidad Ósea, la tuberculosis osteoarticular puede producir destrucción de la matriz, lesiones osteolíticas, pérdida de continuidad cortical y alteraciones de la microarquitectura trabecular, secundarias a la respuesta inflamatoria granulomatosa y la necrosis caseosa. Estos procesos pueden generar cavidades patológicas y comprometer el remodelado y la reparación del hueso. Pigrau-Serrallach y Rodríguez-Pardo (2013) describieron estos mecanismos en la tuberculosis ósea y articular, particularmente en las lesiones vertebrales, donde la destrucción progresiva puede ocasionar deformidad y pérdida de estabilidad estructural.

Bajo el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada, la semejanza entre las áreas cavitarias histopatológicas y las señales ópticas observadas mediante Capilaroscopía permite formular una hipótesis de correlación morfofuncional entre los cambios tisulares y los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, microarquitectura, remodelado y mineralización. No obstante, la Capilaroscopía superficial no permite visualizar directamente las cavidades internas del hueso ni confirmar tuberculosis ósea. La validación de esta propuesta requiere estudios histopatológicos, pruebas microbiológicas y moleculares, así como técnicas de imagen ósea de referencia.

b) DISBIOSIS VIRALES:

En este estudio, no fue posible la identificación de disbiosis virales en el tejido óseo.

c) DISBIOSIS FÚNGICAS:

Para la identificación de las disbiosis fúngicas, hemos hecho una correlación entre los cultivos de microbiología y Capilaroscopía simple para tejidos blandos y para el tejido óseo, por medio de Videocapilarscopía con proyección oblicua multiespectral mediante una búsqueda intencionada y conforme a la metodología iterativa del Sistema ATDM. Donde ha sido posible la identificación de los microorganismos fúngicos, a saber:

Género Candida:

La figura 4 presenta una propuesta de correlación imagenológica de candidiasis, mediante la comparación de una imagen microbiológica de referencia con imágenes de capilaroscopía digital in vivo correspondientes a tejidos blandos y regiones anatómicas atribuidas al tejido óseo, obtenidas bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

Figura 4.-Correlación imagenológica de Candidiasis:

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

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

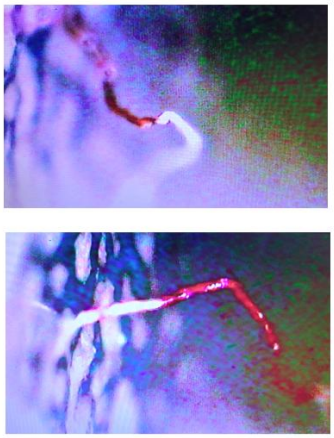
Correlación Imagenológica de Candidiasis



Imagen de Cultivo de Microbiología.



Imagen de Capilaroscopía Tejidos Blandos.



Imágenes de Capilaroscopía Tejido Óseo.

En la imagen microbiológica se observan estructuras ovaladas y redondeadas, compatibles morfológicamente con levaduras, acompañadas de elementos filamentosos correspondientes a hifas y pseudohifas, características descritas en especies del género Candida.

En la imagen capilaroscópica de tejidos blandos destaca una estructura en forma de listón con bioreflectancia rojiza, de tipo alargada y curvilínea correspondiente a una hifa rugosa (Abuadili Garza, V. A., & García Súchil, M., 2025a 2025b), donde si hacemos una comparativa a las imágenes atribuidas al tejido óseo, tomadas con Videocapilaroscopía con proyección oblicua multiespectral, de ahí que la estructura del tejido óseo muestre estructuras lineales irregulares con bioreflectancia blanquecina correspondiente a las trabéculas óseas, (Abuadili Garza VA, 2026a) y halos rojizos propios del desequilibrio en la homeostasis de minerales de transición,(Abuadili Garza V.A., 2026g), con espacios entre las trabéculas óseas de color negro que establece los procesos de disminución de la densidad ósea (Abuadili Garza V.A., 2026b) sobre fondos de tonalidades azuladas, violáceas y verdosas correspondientes al desequilibrio rédox(Abuadili Garza V.A. 2025i, 2025j, 2026l, 2026m, 2026ñ) y procesos de acidez celular que permiten la proliferación de hongos. Así mismo se presenta una estructura de forma de listón con bioreflectancia y poder emisivo de color rojizo correspondiente a una hifa de cándida, cuya rugosidad da bioreflectancia blanquecina intercalada dada la incidencia de la proyección oblicua. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026)

La comparación permite proponer un patrón de similitud morfológica entre estructuras filamentosas de referencia y determinadas señales capilaroscópicas, particularmente por su configuración longitudinal y sus cambios de grosor y trayectoria. Esta correlación se plantea como una hipótesis de investigación susceptible de contrastación mediante cultivos, histopatología y técnicas microbiológicas específicas, considerando que la candidiasis invasiva puede afectar tejidos profundos y estructuras osteoarticulares. (Gamaletsou M.N., Kontoyiannis D.P., Sipsas N. V., e.t. A.l., 2012).

Desde la perspectiva de la Calidad Ósea, la candidiasis invasiva puede ocasionar osteomielitis por diseminación hematógena, inoculación directa o extensión desde tejidos contiguos, desencadenando inflamación, infiltración medular, necrosis y destrucción progresiva de la matriz ósea. Estos mecanismos pueden repercutir sobre los cuatro componentes morfofuncionales propuestos por el Sistema ATDM: densidad ósea, mediante pérdida localizada de tejido mineralizado; microarquitectura, por alteraciones corticales y trabeculares; remodelado, debido al desequilibrio entre destrucción y reparación; y mineralización, por modificaciones secundarias de la integridad estructural del hueso. (Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e)

Gamaletsou et al. (2012), en un análisis de 207 casos de osteomielitis por Candida, documentaron infiltración inflamatoria, necrosis ósea y alteraciones radiológicas que incluyen desmineralización y destrucción estructural.(Gamaletsou M.N., Kontoyiannis D.P., Sipsas N.V., e.t. A.l., 2012) Asimismo, Slenker et al. (2012)

describieron las características clínicas y microbiológicas de 211 casos, respaldando la importancia de estas infecciones en el deterioro osteoarticular.(Slenker A.K., Keith S.W. & Horn D.L., 2012)

En consecuencia, la integración comparativa de imágenes microbiológicas y capilaroscópicas constituye una propuesta exploratoria de modelado biosemiómico para investigar posibles asociaciones entre alteraciones tisulares, respuesta microvascular y Calidad Ósea, cuya validación requiere demostrar la identidad microbiológica y correlacionar los hallazgos con pruebas histopatológicas e imagenológicas de referencia.

Género Aspergillus:
La figura 5 presenta una propuesta de correlación imagenológica de Aspergillus niger mediante la comparación de una imagen de microscopía microbiológica con imágenes de Capilaroscopía digital in vivo de tejidos blandos y de una región anatómica atribuida al tejido óseo, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

Figura 5.- Correlación imagenológica de Aspergilosis.



En la imagen microbiológica se identifica una estructura fúngica compatible con la morfología del género Aspergillus, caracterizada por un conidióforo alargado que culmina en una cabeza conidial pigmentada, acompañada de conidios dispersos. En la imagen capilaroscópica de tejidos blandos se observa una estructura ovalada, de tonalidad rojiza y contornos heterogéneos, (Abuadili Garza, V. A., & García Súchil, M., 2025a 2025b) mientras que en la imagen atribuida al tejido óseo destaca una región redondeada de coloración verde-amarillenta, acompañada de estructuras blanquecinas y violáceas. Para esta última se propone la utilización de la técnica de Capilaroscopía con proyección oblicua multiespectral a 45°, incorporada al protocolo del Sistema ATDM,(Abuadili Garza V.A., 2025e) con el objetivo de explorar posibles patrones ópticos asociados con las regiones de hueso compacto y esponjoso y establecer correspondencias morfológicas con las estructuras fúngicas observadas en microbiología. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026)

La comparación permite formular una hipótesis de similitud imagenológica entre las estructuras de referencia y determinadas señales capilaroscópicas; sin embargo, no demuestra que estas correspondan a conidios, hifas o estructuras de A. niger, ni que la técnica permita visualizar directamente la arquitectura interna del hueso. Gamaletsou et al. (2014) y Gabrielli et al. (2014) documentaron la capacidad de diversas especies de Aspergillus para producir

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

infecciones osteoarticulares invasivas, proporcionando fundamento microbiológico para investigar estas asociaciones. (Gamaletsou M.N, e.t. A.l., 2014; Gabrielli, E., Fothergill, A. W., Brescini, L., e.t. A.l., 2014)

Desde la perspectiva de la Calidad Ósea, la aspergilosis osteoarticular puede ocasionar osteomielitis mediante diseminación hematógena, extensión desde tejidos contiguos o inoculación directa, desencadenando inflamación, destrucción tisular y lesiones osteolíticas que comprometen la integridad estructural del hueso. Estas alteraciones pueden relacionarse con los cuatro componentes morfofuncionales propuestos por el Sistema ATDM: densidad ósea, por pérdida localizada de tejido mineralizado; microarquitectura, por deterioro de las estructuras corticales y trabeculares; remodelado, por desequilibrio entre destrucción y reparación; y mineralización, por modificaciones secundarias de la matriz ósea afectada.

Gamaletsou et al. (2014), en una revisión de 180 pacientes con osteomielitis por Aspergillus, describieron lesiones osteolíticas y extensión hacia tejidos blandos, (Gamaletsou M.N, e.t. A.l., 2014) mientras que Koutserimpas et al. (2022) analizaron las características clínicas y microbiológicas de las infecciones óseas producidas por este género fúngico. Estos antecedentes permiten sustentar la propuesta de integración entre microbiología, Capilaroscopía y modelado morfofuncional in silico (Abuadili Garza V.A., 2026k) para investigar posibles manifestaciones microvasculares asociadas con la infección fúngica. (Koutserimpas C., Chamakioti I., Raptis K., Alpantaki K., Vrioni G. & Samonis G., 2022)

No obstante, la identificación específica de A. niger y la evaluación del hueso compacto y esponjoso requieren confirmación mediante cultivos, histopatología, técnicas moleculares e imagenología ósea validada; por tanto, la correlación presentada constituye un resultado exploratorio y no una demostración diagnóstica de invasión fúngica del tejido óseo.

Género Fonsecaea:

La figura 6 presenta una propuesta de correlación imagenológica de Fonsecaea pedrosoi, agente etiológico de la cromoblastomicosis, mediante la comparación de una imagen de microscopía microbiológica con imágenes de Capilaroscopía digital in vivo de tejidos blandos y de una región anatómica atribuida al tejido óseo, bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada. (Abuadili Garza V.A., 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2026i, 2026j)

Figura 6.- Correlación Imagenológica de Cromoblastomicosis:



En la imagen microbiológica se identifican estructuras filamentosas ramificadas, con elementos celulares alargados y agrupaciones compatibles con estructuras reproductivas fúngicas. En la Capilaroscopía de tejidos blandos se observa

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

una estructura longitudinal de tonalidad blanquecina, con una agrupación central de pequeñas señales oscuras, el tejido se encuentra hipóxico e isquémico. (Abuadili Garza, V. A., & García Súchil, M., 2025a 2025b) Mientras que en la imagen atribuida al tejido óseo destacan estructuras ovaladas y anulares de coloración azulada, distribuidas sobre un fondo heterogéneo de tonalidades rojizas y oscuras. Para esta última se propone la utilización de la técnica de Capilaroscopía con proyección oblicua multiespectral a 45°, contemplada en el protocolo del Sistema ATDM, con el propósito de investigar posibles correspondencias ópticas entre las estructuras observadas y las regiones anatómicas relacionadas con el hueso compacto y esponjoso. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026)

El análisis permite establecer un patrón de similitud morfológica exploratoria, principalmente por la presencia de estructuras alargadas, agrupaciones celulares aparentes y configuraciones anulares; sin embargo, estas características no permiten identificar directamente F. pedrosoi ni demostrar invasión fúngica del tejido óseo. La cromoblastomicosis es una infección subcutánea crónica caracterizada por inflamación granulomatosa, fibrosis y presencia histológica de células muriformes pigmentadas, por lo que la identificación microbiológica requiere técnicas específicas. (Sharma N.L., Sharma V.C., Mahajan V., Shanker V. & Sarin S., 2007)

En relación con la afectación tisular y la Calidad Ósea, la cromoblastomicosis causada por F. pedrosoi se caracteriza principalmente por una infección cutánea y subcutánea crónica, con respuesta inflamatoria granulomatosa, fibrosis y posible compromiso linfático, cuya progresión puede ocasionar deformidad y daño persistente de los tejidos blandos. (López Martínez R. & Méndez Tovar L.J., 2007; Santos A.L.S., Palmeira V.F., Rozental S., Kneipp L.F., e.t. A.l., 2007). Aunque la invasión ósea es excepcional, Sharma et al. (2007) documentaron un caso de cromoblastomicosis por F. pedrosoi con extensión por contigüidad al hueso subyacente y desarrollo de una lesión osteolítica, lo que demuestra la posibilidad de afectación esquelética en formas avanzadas. (Sharma N.L., Sharma V.C., Mahajan V., Shanker V. & Sarin S., 2007)

Desde el modelo morfofuncional del Sistema ATDM, este mecanismo podría comprometer los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, por pérdida localizada de tejido mineralizado; microarquitectura, por destrucción cortical y trabecular; remodelado, por alteración del equilibrio entre resorción y reparación; y mineralización, por cambios secundarios asociados con el daño tisular.

En este contexto, la correlación entre microbiología y Capilaroscopía oblicua multiespectral constituye una propuesta exploratoria para investigar patrones ópticos relacionados con alteraciones microvasculares y osteomioarticulares. No obstante, la similitud visual no demuestra identidad fúngica ni permite confirmar la arquitectura interna del hueso compacto o esponjoso; estas hipótesis requieren validación mediante histopatología, cultivo micológico, identificación molecular y estudios de imagen ósea de referencia.

Por lo que hemos sido capaces de correlacionar una osteomicrobiología y su afectación a la calidad ósea.

DISCUSIÓN:

Los resultados del presente estudio permiten plantear una correspondencia imagenológica cualitativa entre las estructuras microbiológicas de referencia y determinados patrones ópticos observados mediante Capilaroscopía digital in vivo, tanto en tejidos blandos como en regiones anatómicas relacionadas con el tejido óseo. En los cinco modelos analizados —Staphylococcus aureus, Mycobacterium tuberculosis, Candida spp., Aspergillus niger y Fonsecaea pedrosoi— se identificaron semejanzas aparentes de morfología, distribución espacial, contorno y contraste entre las imágenes microbiológicas o histopatológicas y los registros capilaroscópicos.

Estas observaciones constituyen el fundamento de una propuesta de correlación biosemiómica que busca integrar los signos imagenológicos con mecanismos microbiológicos y tisulares. Sin embargo, es necesario distinguir entre semejanza visual e identidad microbiológica: las imágenes proceden de modalidades con diferente resolución, profundidad y formación del contraste, por lo que una correspondencia morfológica no demuestra que las estructuras capilaroscópicas correspondan a los microorganismos estudiados. La hipótesis de similitud imagenológica encuentra así un respaldo descriptivo preliminar, pero su confirmación requiere análisis cuantitativo, imágenes pareadas y pruebas microbiológicas independientes.

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

Una segunda aportación del estudio consiste en integrar las alteraciones microbiológicas con los mecanismos de regulación de la Calidad Ósea.(Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026d, 2026e) La evidencia científica permite sostener que determinados microorganismos pueden modificar la homeostasis esquelética mediante dos procesos diferenciados: por una parte, la interacción sistémica entre microbiota, metabolismo e inmunidad; por otra, la invasión infecciosa directa del tejido óseo. En ambos casos, las respuestas inflamatorias y osteoinmunológicas pueden modificar la actividad de osteoblastos, osteoclastos y osteocitos, comprometiendo el equilibrio entre formación, resorción y reparación.

Esta distinción resulta fundamental para interpretar los hallazgos, porque la disbiosis de una comunidad microbiana no equivale necesariamente a una infección invasiva. La hipótesis general de que los microorganismos y sus interacciones inmunometabólicas pueden afectar la Calidad Ósea está respaldada por la literatura experimental y clínica; lo que permanece pendiente de corroboración es que las imágenes capilaroscópicas presentadas identifiquen específicamente dichos microorganismos o permitan cuantificar por sí solas el daño óseo.

La comparación de los modelos individuales revela que las semejanzas no se expresan de manera uniforme. En S. aureus predominan las señales redondeadas y agrupadas; en M. tuberculosis, las áreas circulares y espacios ópticos que recuerdan determinadas configuraciones cavitarias; en Candida spp., las estructuras alargadas y curvilíneas; en A. niger, las configuraciones globosas asociadas con elementos lineales; y en F. pedrosoi, las estructuras longitudinales y agrupaciones anulares. Estas características permiten establecer categorías descriptivas para la comparación, pero no son exclusivas de cada microorganismo. En particular, las imágenes capilaroscópicas pueden contener vasos, reflejos, pigmentos y artefactos capaces de producir configuraciones semejantes. Por ello, la aportación del estudio consiste en haber identificado patrones candidatos de correspondencia morfológica, que deberán someterse a evaluación reproducible y enmascarada antes de considerarse biomarcadores.

En este sentido, la Capilaroscopía constituye una herramienta atractiva por su carácter no invasivo y por la posibilidad de documentar características microvasculares en condiciones in vivo. (Abuadili Garza V.A., 2025c, 2025d) Sin embargo, la literatura establece que su aplicación clínica validada se concentra en la evaluación de la microcirculación superficial. Roberts-Thomson et al. (2023) describieron su utilidad para reconocer alteraciones morfológicas de los capilares, especialmente en enfermedades del tejido conectivo. Por su parte, los estándares metodológicos internacionales publicados en Rheumatology (2021) subrayan la importancia de documentar las condiciones de adquisición y análisis para garantizar resultados comparables.

En consecuencia, la proyección oblicua multiespectral a 45° propuesta por el Sistema ATDM puede investigarse como una modalidad experimental de caracterización óptica, pero todavía requiere demostrar su capacidad para discriminar microorganismos y distinguir estructuras superficiales de las correspondientes al hueso compacto y esponjoso. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026)

La relación entre microbiota y tejido óseo cuenta con antecedentes experimentales que respaldan su importancia biológica. Sjögren et al. (2012) demostraron que los ratones libres de microorganismos presentaban mayor masa ósea y menor actividad osteoclástica que los animales convencionalmente colonizados. La introducción posterior de microbiota modificó la masa ósea y diversos parámetros inmunitarios, proporcionando evidencia experimental de que las comunidades microbianas participan en la regulación del metabolismo esquelético. Estos hallazgos fueron posteriormente contextualizados por Ohlsson y Sjögren (2015), quienes analizaron las relaciones entre microbiota intestinal, sistema inmunitario y masa ósea.

Por tanto, se encuentra corroborado en modelos experimentales que la microbiota puede influir sobre la masa ósea, aunque la dirección y magnitud del efecto dependen de la composición microbiana, el huésped y el contexto fisiopatológico.

En el caso de las infecciones bacterianas invasivas, la evidencia es igualmente consistente. Veis y Cassat (2021) describieron que la osteomielitis infecciosa produce destrucción tisular mediante la combinación de citotoxicidad, inflamación, compromiso vascular y activación osteoclástica. Asimismo, Tong et al. (2022) analizaron los mecanismos mediante los cuales S. aureus favorece la diferenciación y actividad de los osteoclastos, promoviendo resorción y pérdida de tejido óseo.

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

Estos mecanismos respaldan la interpretación de que la infección estafilocócica confirmada puede afectar directamente la densidad, microarquitectura y remodelado, además de alterar secundariamente la mineralización. La importancia del modelo ATDM reside en reunir estos procesos dentro de una clasificación morfofuncional común, permitiendo formular hipótesis específicas para cada componente de la Calidad Ósea.

La tuberculosis osteoarticular proporciona otro ejemplo de afectación microbiológica demostrada del tejido óseo. Pattamapaspong et al. (2024) describieron las manifestaciones imagenológicas de la tuberculosis musculoesquelética, incluyendo osteólisis focal, adelgazamiento cortical, erosiones y secuestros óseos, así como el papel de la resonancia magnética y la tomografía computarizada en la evaluación de la extensión del daño.
PMC

Estos antecedentes respaldan la hipótesis fisiopatológica de que M. tuberculosis puede modificar la microarquitectura y densidad ósea mediante inflamación granulomatosa y destrucción progresiva. No obstante, la similitud entre las áreas redondeadas de la histopatología y las señales capilaroscópicas del presente estudio no permite establecer que estas últimas sean cavitaciones óseas. La correspondencia deberá contrastarse mediante estudios anatómicos e imagenológicos de referencia.

En las infecciones fúngicas, Asperges et al. (2023) realizaron una revisión sistemática que incluyó 1,072 pacientes con osteomielitis fúngica, identificando a Aspergillus y Candida entre los principales agentes etiológicos. La investigación documentó la diversidad de localizaciones óseas y la importancia de los factores predisponentes, como diabetes, inmunosupresión, cirugía y lesiones locales.

Estos resultados corroboran que determinadas micosis invasivas pueden comprometer directamente el tejido óseo y ocasionar alteraciones estructurales. Sin embargo, debe diferenciarse la osteomielitis fúngica de la presencia de hongos en otras superficies corporales. En particular, la cromoblastomicosis por F. pedrosoi afecta predominantemente piel y tejido subcutáneo, y su extensión ósea constituye una complicación infrecuente, no una manifestación habitual. Schwalb y Seas (2020) documentaron un caso de cromoblastomicosis confirmada por cultivo, que ilustra la importancia de la identificación etiológica para establecer el diagnóstico.

4. Integración de los mecanismos con los cuatro componentes de la Calidad Ósea
Desde la perspectiva de la Biosemiómica Clínica Aplicada, los resultados permiten proponer una secuencia mecanicista que relaciona la alteración microbiológica con la respuesta inmunitaria, el microambiente vascular y la modificación de la estructura ósea. Esta secuencia se interpreta a través de cuatro componentes complementarios.

La densidad ósea puede disminuir por destrucción infecciosa localizada o por incremento sostenido de la resorción. La microarquitectura puede deteriorarse mediante erosiones corticales, pérdida de conectividad trabecular, cavitaciones y necrosis. El remodelado óseo puede experimentar un desequilibrio entre formación y resorción, acompañado de reparación desorganizada. Finalmente, la mineralización puede alterarse secundariamente por cambios en la matriz, el recambio y la integridad del tejido afectado. La evidencia de osteomielitis bacteriana, tuberculosa y fúngica respalda estas relaciones fisiopatológicas, aunque su expresión varía según el agente etiológico, la localización, la evolución y las condiciones del huésped (Veis & Cassat, 2021; Pattamapaspong et al., 2024; Asperges et al., 2023).

La incorporación de estos mecanismos al modelo del Sistema ATDM permite considerar la Calidad Ósea como un fenómeno dinámico, determinado no solamente por la cantidad de tejido mineralizado, sino también por la integridad de su organización estructural, su capacidad de reparación y su interacción con el microambiente inmunometabólico.(Abuadili Garza V.A., 2026a, 2026b, 2026c, 2026d, 2026e) Esta interpretación ofrece una base conceptual para desarrollar estudios longitudinales que relacionen las alteraciones microbiológicas confirmadas con los cambios de los cuatro componentes mediante pruebas de referencia.

Uno de los aspectos centrales de la investigación es la posibilidad de complementar la evaluación microbiológica y osteoarticular mediante una técnica no invasiva. La Capilaroscopía permite documentar cambios de la microcirculación superficial, mientras que la proyección oblicua multiespectral propuesta por el Sistema ATDM pretende ampliar la caracterización de patrones ópticos en regiones osteomioarticulares. (Castellanos Gordillo L.R, Cruz Monrroy V. & Abuadili Garza V.A., 2026) No obstante, la identificación de un patrón semejante al observado en un cultivo no equivale a la identificación del microorganismo en el paciente.

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

Para avanzar de la similitud visual a una correlación científica demostrable, será indispensable evaluar muestras pareadas del mismo paciente, documentar los parámetros ópticos, incorporar controles negativos y contrastar las imágenes con cultivos, histopatología y pruebas moleculares. La evaluación de Calidad Ósea deberá realizarse mediante métodos apropiados para cada componente, incluyendo densitometría, tomografía, resonancia magnética y marcadores bioquímicos, según corresponda. De esta manera, el modelo podría establecer si determinados patrones capilaroscópicos tienen capacidad para identificar alteraciones tisulares asociadas con procesos infecciosos, incluso cuando no permitan reconocer directamente el microorganismo.

La discusión permite diferenciar dos niveles de corroboración científica. En primer lugar, la hipótesis de que los microorganismos pueden afectar la Calidad Ósea cuenta con respaldo experimental, fisiopatológico y clínico, demostrado mediante estudios de microbiota, osteoinmunología y osteomielitis infecciosa. En segundo lugar, la hipótesis de que existe una correspondencia imagenológica específica entre microorganismos y señales capilaroscópicas presenta resultados descriptivos preliminares, pero requiere validación independiente.

Por consiguiente, el presente estudio aporta una propuesta integradora de investigación que relaciona microbiología, Capilaroscopía y Calidad Ósea mediante un modelo mecanicista in vivo e in silico. Su contribución consiste en organizar las semejanzas observadas y vincularlas con mecanismos biológicos documentados, estableciendo una ruta metodológica para evaluar su reproducibilidad y utilidad clínica. Esta distinción permite sostener la relevancia de la hipótesis microbiológica sobre la salud ósea sin atribuir a la Capilaroscopía una capacidad de identificación etiológica todavía no demostrada.

CONCLUSIONES:

El presente estudio permitió desarrollar una propuesta de correlación imagenológica entre las características morfológicas de microorganismos bacterianos y fúngicos, documentadas mediante microbiología e histopatología, y los patrones ópticos observados mediante Capilaroscopía digital in vivo, tanto en tejidos blandos como en regiones anatómicas relacionadas con el tejido óseo. Bajo la metodología iterativa del Sistema ATDM y el marco de la Biosemiómica Clínica Aplicada, se identificaron semejanzas cualitativas en la configuración, distribución espacial, contornos y características ópticas de las imágenes correspondientes a Staphylococcus aureus, Mycobacterium tuberculosis, Candida spp., Aspergillus niger y Fonsecaea pedrosoi.

La incorporación de la técnica de proyección oblicua multiespectral a 45° permitió estructurar una propuesta de análisis morfofuncional de las regiones osteomioarticulares, estableciendo patrones candidatos de correspondencia imagenológica que constituyen una base para futuras investigaciones. Sin embargo, estas semejanzas no demuestran por sí mismas la identidad microbiológica de las estructuras observadas ni la visualización directa de microorganismos dentro del tejido óseo.

Desde la perspectiva fisiopatológica, se confirma mediante la evidencia científica disponible que determinados microorganismos y sus interacciones inmunometabólicas pueden afectar la Calidad Ósea, particularmente cuando producen infecciones invasivas, inflamación persistente, alteraciones microvasculares y destrucción tisular. La integración mecanicista permitió relacionar estos procesos con los cuatro componentes de la Calidad Ósea: densidad, mediante pérdida localizada de tejido mineralizado; microarquitectura, por deterioro de las estructuras corticales y trabeculares; remodelado, por desequilibrio entre formación, resorción y reparación; y mineralización, por modificaciones secundarias de la matriz ósea. De esta manera, se respalda la hipótesis biológica general de que la microbiología constituye un factor relevante en la homeostasis y el deterioro osteoarticular, aunque la magnitud y naturaleza de sus efectos dependen del microorganismo, la respuesta del huésped y la existencia de infección ósea confirmada. Esta conclusión se sustenta en la literatura científica y no representa una demostración causal independiente obtenida de las comparaciones capilaroscópicas del presente estudio.

Finalmente, la investigación establece una propuesta metodológica integradora de microbiología, histopatología, Capilaroscopía y modelado mecanicista in silico, orientada a investigar las relaciones entre microorganismos, microcirculación, respuesta inmunitaria y Calidad Ósea. La principal aportación del Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada consiste en organizar estas interacciones dentro de un modelo multivariable susceptible de evaluación y validación científica. Se concluye que la Capilaroscopía podría investigarse como herramienta complementaria para caracterizar manifestaciones microvasculares asociadas con procesos infecciosos e inflamatorios, por su naturaleza no invasiva y sus posibilidades de seguimiento longitudinal. No obstante, su utilidad para identificar microorganismos o

evaluar directamente las estructuras internas del hueso compacto y esponjoso permanece como hipótesis pendiente de validación mediante estudios prospectivos, análisis cuantitativos de imágenes y correlación con cultivos, histopatología, pruebas moleculares e imagenología ósea de referencia.

REFERENCIAS:

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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

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

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

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- Abuadili Garza V.A., (2026)q. Identificación Capilaroscópica de la Glicación de las Proteínas Estructurales. IECC México; 5(2), 930-951. https://doi.org/10.64784/359
- Abuadili Garza V.A. (2026)r. 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
- Abuadili Garza, V. A. (2026)s. 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
- Abuadili Garza V.A. (2026)t. 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
- Abuadili Garza, V.A. (2026)u. 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
- Abuadili Garza V.A. (2026)v. **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).
- Abuadili Garza V.A., (2026)w. Reporte de Caso Clínico. Identificación Capilaroscópica de Tuberculosis Osteoarticular.). IECC México.; 5(2)
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- Agashe VM, Johari AN, Shah M, Anjum R, Romano C, Drago L, Sharma HK, Benzakour T. (2020). Diagnosis of Osteoarticular Tuberculosis: Perceptions, Protocols, Practices, and Priorities in the Endemic and

Non-Endemic Areas of the World-A WAIOT View. Microorganisms.;8(9):1312. https://doi.org/10.3390/microorganisms8091312. PMID: 32872175; PMCID: PMC7563388.

- Ahmad AN, Ahmad SN, Ahmad N. (2017). HIV Infection and Bone Abnormalities. The Open Orthopaedics Journal.;11:777-784. https://doi.org/10.2174/1874325001711010777. PMID: 28979590; PMCID: PMC5620402.
- Alder, K. D., Lee, I., Munger, A. M., Kwon, H.-K., Morris, M. T., Cahill, S. V., Back, J., Yu, K. E., & Lee, F. Y. (2020). Intracellular Staphylococcus aureus in bone and joint infections: A mechanism of disease recurrence, inflammation, and bone and cartilage destruction. Bone, 141, 115568. https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115568
- Asperges, E., Albi, G., Truffelli, F., Salvaderi, A., Puci, F., Sangani, A., Zuccaro, V., Scotti, V., Orsolini, P., Brunetti, E., & Bruno, R. (2023). Fungal osteomyelitis: A systematic review of reported cases. Microorganisms, 11(7), Article 1828. https://doi.org/10.3390/microorganisms11071828
- Beenken, K. E., Campbell, M. J., Reyes-Pardo, H., O'Brien, C. A., & Smeltzer, M. S. (2026). Mechanistic insights into the pathogenesis and therapeutic recalcitrance of Staphylococcus aureus osteomyelitis. Clinical Microbiology Reviews, 39(2), e00259-25. https://doi.org/10.1128/cmr.00259-25
- Brown, T. T., & Qaqish, R. B. (2006). Antiretroviral therapy and the prevalence of osteopenia and osteoporosis: A meta-analytic review. AIDS, 20(17), 2165–2174. https://doi.org/10.1097/QAD.0b013e32801022eb
- 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
- Chen J, Xiong A, Ma Y, Qin C, Ho CL. (2021). Impact of the Host-Microbiome on Osteomyelitis Pathogenesis. Frontiers in Molecular Biosciences.;8:702484. https://doi.org/10.3389/fmolb.2021.702484. PMID: 34434965; PMCID: PMC8381018.
- Chen Y, Wang X, Zhang C, Liu Z, Li C, Ren Z. (2022). Gut Microbiota and Bone Diseases: A Growing Partnership. Frontiers in Microbiology.;13:877776. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.877776. PMID: 35602023; PMCID: PMC9121014.
- D'Amelio, P., & Sassi, F. (2018). Gut microbiota, immune system, and bone. Calcified Tissue International, 102, 415–425. https://doi.org/10.1007/s00223-017-0331-y
- El Miedany, Y., Ismail, S., Fawzy, M. W., Müller-Ladner, U., Giacomelli, R., Liakouli, V., Hermann, W., Fathy, N., El Gaafary, M., Fouad, N. A., Saber, S., & Abu-Zaid, M. H. (2023). Towards a consensus on the clinical applications and interpretations of the nailfold capillaroscopy standards in clinical practice: An initiative by the Egyptian Society of Microcirculation. Archives of Rheumatology. https://doi.org/10.46497/ArchRheumatol.2023.9875
- Gabrielli, E., Fothergill, A. W., Brescini, L., Sutton, D. A., Marchionni, E., Orsetti, E., Staffolani, S., Castelli, P., Gesuita, R., & Barchiesi, F. (2014). Osteomyelitis caused by Aspergillus species: A review of 310 reported cases. Clinical Microbiology and Infection, 20(6), 559–565. https://doi.org/10.1111/1469-0691.12389
- Gamaletsou, M. N., Kontoyiannis, D. P., Sipsas, N. V., Moriyama, B., Alexander, E., Roilides, E., Brause, B., & Walsh, T. J. (2012). Candida osteomyelitis: Analysis of 207 pediatric and adult cases (1970–2011). Clinical Infectious Diseases, 55(10), 1338–1351. https://doi.org/10.1093/cid/cis660
- Gamaletsou, M. N., et al. (2014). Aspergillus osteomyelitis: Epidemiology, clinical manifestations, management, and outcome. Journal of Infection, 68(5), 478–493. https://doi.org/10.1016/j.jinf.2013.12.008
- Gamaletsou, M. N., Rammaert, B., Brause, B., Bueno, M. A., Dadwal, S. S., Henry, M. W., Katragkou, A., Kontoyiannis, D. P., McCarthy, M. W., Miller, A. O., Moriyama, B., Pana, Z. D., Petraitiene, R., Petraitis, V., Roilides, E., Sarkis, J.-P., Simitsopoulou, M., Sipsas, N. V., Taj-Aldeen, S. J., . . . Walsh, T. J. (2022). Osteoarticular mycoses. Clinical Microbiology Reviews, 35(4), e00086-19. https://doi.org/10.1128/cmr.00086-19
- 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
- Gupta K, Rahaman J, Mukherjee D. (2026). Gut and oral microbiota in oral bone tissue engineering: Impact of mechanistic and molecular pathways. Differentiation.;147:100919. https://doi.org/10.1016/j.diff.2025.100919. Epub 2025 Dec 2. PMID: 41349172.
- Hajishengallis, G. (2015). Periodontitis: From microbial immune subversion to systemic inflammation. Nature Reviews Immunology, 15(1), 30–44. https://doi.org/10.1038/nri3785

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

- Haynes M, Rohwer F. (2010). The Human Virome. Metagenomics of the Human Body.:63–77. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7089-3_4. PMCID: PMC7122492.
- Henry, M. W., Miller, A. O., Walsh, T. J., & Brause, B. D. (2017). Fungal musculoskeletal infections. Infectious Disease Clinics of North America, 31(2), 353–368. https://doi.org/10.1016/j.idc.2017.01.006
- Hsu, E., & Pacifici, R. (2018). From osteoimmunology to osteomicrobiology: How the microbiota and the immune system regulate bone. Calcified Tissue International, 102(5), 512–521. https://doi.org/10.1007/s00223-017-0321-0
- Iliev, I. D., & Leonardi, I. (2017). Fungal dysbiosis: Immunity and interactions at mucosal barriers. Nature Reviews Immunology, 17, 635–646. https://doi.org/10.1038/nri.2017.55
- 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
- Jones, R. M., Mulle, J. G., & Pacifici, R. (2018). Osteomicrobiology: The influence of gut microbiota on bone in health and disease. Bone, 115, 59–67. https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.04.009
- José Neto N, Duarte Brito M, Gomes CDS, Corrêa LCAC, Guerra GCB, Guerra RO. (2025). Gut microbiota dysbiosis, sarcopenia, osteoporosis and osteosarcopenia in older people: A systematic review protocol. PLoS One.;20(1):e0313193. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313193. PMID: 39746064; PMCID: PMC11695030.
- Josse, J., Velard, F., & Gangloff, S. C. (2015). Staphylococcus aureus vs. osteoblast: Relationship and consequences in osteomyelitis. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 5, Article 85. https://doi.org/10.3389/fcimb.2015.00085
- Koutserimpas, C., Chamakioti, I., Raptis, K., Alpantaki, K., Vrioni, G., & Samonis, G. (2022). Osseous infections caused by Aspergillus species. Diagnostics, 12(1), Article 201. https://doi.org/10.3390/diagnostics12010201
- Lew, D. P., & Waldvogel, F.A. (2004). Osteomyelitis. The Lancet, 364(9431), 369–379. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16727-5
- López Martínez, R., & Méndez Tovar, L. J. (2007). Chromoblastomycosis. Clinics in Dermatology, 25(2), 188–194. https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2006.05.007
- Lucas, S., Omata, Y., Hofmann, J., Böttcher, M., Iljazovic, A., Sarter, K., Albrecht, O., Schulz, O., Krishnacoumar, B., Krönke, G., Herrmann, M., Mougiakakos, D., Strowig, T., Schett, G., & Zaiss, M. M. (2018). Short-chain fatty acids regulate systemic bone mass and protect from pathological bone loss. Nature Communications, 9, Article 55. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02490-4
- 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
- Ohlsson, C., & Sjögren, K. (2015). Effects of the gut microbiota on bone mass. Trends in Endocrinology & Metabolism, 26(2), 69–74. https://doi.org/10.1016/j.tem.2014.11.004
- Pacifici, R. (2019). The gut-bone axis: How bacterial metabolites bridge the distance. The Journal of Clinical Investigation, 129(8), 3018–3028. https://doi.org/10.1172/JCI128521
- Pattamapaspong, N., Kanthawang, T., Bouaziz, M. C., Ladeb, M. F., Hammami, N., & Peh, W. C. G. (2024). Imaging of musculoskeletal tuberculosis. British Journal of Radiology, 97(1153), 1–12. https://doi.org/10.1093/bjr/tqad019
- Pigrau-Serrallach, C., & Rodríguez-Pardo, D. (2013). Bone and joint tuberculosis. European Spine Journal, 22(Suppl. 4), S556–S566. https://doi.org/10.1007/s00586-012-2331-y
- 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
- Sanchez, C. J., Jr., Ward, C. L., Romano, D. R., Hurtgen, B. J., Hardy, S. K., Woodbury, R. L., Trevino, A. V., Rathbone, C. R., & Wenke, J. C. (2013). Staphylococcus aureus biofilms decrease osteoblast viability, inhibits osteogenic differentiation, and increases bone resorption in vitro. BMC Musculoskeletal Disorders, 14, Article 187. https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-187
- Santos, A. L. S., Palmeira, V. F., Rozental, S., Kneipp, L. F., Nimrichter, L., Alviano, D. S., Rodrigues, M. L., & Alviano, C. S. (2007). Biology and pathogenesis of Fonsecaea pedrosoi, the major etiologic agent of chromoblastomycosis. FEMS Microbiology Reviews, 31(5), 570–591. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00077.x

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

- Sharma, N. L., Sharma, V. C., Mahajan, V., Shanker, V., & Sarin, S. (2007). Chromoblastomycosis with underlying osteolytic lesion. Mycoses, 50(6), 517–519. https://doi.org/10.1111/j.1439-0507.2007.01398.x
- Shi H, Huang L, Zhang JH, Shen C, Zhang N, Lv C, Shao L, Li M, Sun Z, Shi L, Yu G, Chen Y. (2026). Gut Microbiota Regulates Brain-Bone Axis to Influence Osteoporosis Pathogenesis and Treatment. Research (Wash D C).;9:1178. https://doi.org/10.34133/research.1178. PMID: 41847216; PMCID: PMC12989651.
- Schwalb, A., & Seas, C. (2020). Chromoblastomycosis. The New England Journal of Medicine, 383(2), e7. https://doi.org/10.1056/NEJMicm1913199
- Sjögren, K., Engdahl, C., Henning, P., Lerner, U. H., Tremaroli, V., Lagerquist, M. K., Bäckhed, F., & Ohlsson, C. (2012). The gut microbiota regulates bone mass in mice. Journal of Bone and Mineral Research, 27(6), 1357–1367. https://doi.org/10.1002/jbmr.1588
- Slenker, A. K., Keith, S. W., & Horn, D. L. (2012). Two hundred and eleven cases of Candida osteomyelitis: 17 case reports and a review of the literature. Diagnostic Microbiology and Infectious Disease, 73(1), 89–93. https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2012.02.004
- Smith, V., Ickinger, C., Hysa, E., Snow, M., Frech, T., Sulli, A., & Cutolo, M. (2023). Nailfold capillaroscopy. Best Practice & Research Clinical Rheumatology, 37(1), 101849. https://doi.org/10.1016/j.berh.2023.101849
- Toboła M, Kuryłowicz A. (2026). Impact of Gut Microbiota on Bone Metabolism-Present Concepts and Therapeutic Implications. International Journal of Molecular Science.;27(9):3865. https://doi.org/10.3390/ijms27093865. PMID: 42123449; PMCID: PMC13163506.
- Tong, Z., Chen, Z., Li, Z., Xie, Z., & Zhang, H. (2022). Mechanisms of promoting the differentiation and bone resorption function of osteoclasts by Staphylococcus aureus infection. International Journal of Medical Microbiology, 312, Article 151568. https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2022.151568
- Toppinen M, Sajantila A, Pratas D, Hedman K and Perdomo MF (2021) The Human Bone Marrow Is Host to the DNAs of Several Viruses. Front. Cell. Infect. Microbiol. 11:657245. https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.657245
- Tsukayama D.T. (1999). Pathophysiology of posttraumatic osteomyelitis. Clinical Orthopaedics and Related Research. 1999;360:22–29. https://doi.org/10.1097/00003086-199903000-00005. PMID: 10101307.
- Tyagi, A. M., Yu, M., Darby, T. M., Vaccaro, C., Li, J. Y., Owens, J. A., Hsu, E., Adams, J., Weitzmann, M. N., Jones, R. M., & Pacifici, R. (2018). The microbial metabolite butyrate stimulates bone formation via T regulatory cell-mediated regulation of WNT10B expression. Immunity, 49(6), 1116–1131.e7. https://doi.org/10.1016/j.immuni.2018.10.013
- Urish KL, Cassat JE. (2020). Staphylococcus aureus Osteomyelitis: Bone, Bugs, and Surgery. Infection & Immunity.;88(7):e00932-19. https://doi.org/10.1128/IAI.00932-19. PMID: 32094258; PMCID: PMC7309607.
- Veis, D. J., & Cassat, J. E. (2021). Infectious osteomyelitis: Marrying bone biology and microbiology to shed new light on a persistent clinical challenge. Journal of Bone and Mineral Research, 36(4), 636–643. https://doi.org/10.1002/jbmr.4279
- Waldbaum JDH, Xhumari J, Akinsuyi OS, Arjmandi B, Anton S, Roesch LFW. (2023). Association between Dysbiosis in the Gut Microbiota of Primary Osteoporosis Patients and Bone Loss. Aging and Disease.;14(6):2081-2095. https://doi.org/10.14336/AD.2023.0425. PMID: 37199579; PMCID: PMC10676803.
- Weitzman, I., & Summerbell, R. C. (1995). The dermatophytes. Clinical Microbiology Reviews, 8(2), 240–259. https://doi.org/10.1128/CMR.8.2.240

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
Análisis formal: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Investigación: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA
Metodología: VICTOR ALFONSO ABUADILI GARZA

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

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