



Revista Hambatu Science

Ambato – Ecuador / ISSN 3151-815X (en línea) / julio - septiembre 2026

Volumen 1, Número 3

<https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-412-431-2026>

Proyecciones Ópticas de la Capilaroscopia Metabólica

Optical Projections of Metabolic Capillaroscopy

Leticia del Rocío Castellanos Gordillo
Universidad Salazar Narvaez
Instituto de Estudios Superiores de Chiapas

Valery Cruz Monrroy
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Victor Alfonso Abuadili Garza
Universidad Nacional Autónoma De México (UNAM)



DOI: <https://doi.org/10.63862/rhs-v1n3-412-431-2026>

Proyecciones Ópticas de la Capilaroscopia Metabólica

Leticia del Rocío Castellanos Gordillo

Universidad Salazar Narvaez

Instituto de Estudios Superiores de Chiapas

leticia.castellanos.gordillo@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-6277-3016>

México

Victor Alfonso Abuadili Garza

Universidad Nacional Autónoma De

México (UNAM)

abuadili@yahoo.com.mx

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

México

Valery Cruz Monrroy

Universidad Autónoma Metropolitana

(UAM)

dravalery@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-3926-6617>

México

Recibido: 2026-07-23

Aceptado: 2026-07-27

Publicado: 2026-07-31

Resumen

La capilaroscopia es un método óptico ampliamente utilizado para evaluar la microcirculación mediante el análisis morfológico de la red capilar; sin embargo, los avances en biofotónica y espectroscopía de reflectancia han demostrado que la interacción entre la luz y el tejido proporciona información funcional sobre la composición molecular, la perfusión, la oxigenación y la organización tisular, ampliando su potencial para identificar biomarcadores ópticos in vivo. El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología integrada que combinara microscopía óptica, biofotónica y capilaroscopia digital en el Sistema para la Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), estableciendo un protocolo multimodal para evaluar el estado metabólico del tejido. Se realizó un estudio metodológico basado en principios de óptica biomédica, biofotónica y Biosemiótica Clínica Aplicada, mediante un modelo de cuatro modalidades de adquisición óptica: proyección perpendicular para analizar la dinámica de la microcirculación, proyección sagital para caracterizar longitudinalmente el tejido y la distribución de la bioreflectancia, proyección oblicua para el mapeo indirecto de estructuras profundas y proyección multiespectral para identificar cromóforos tisulares y evaluar conceptualmente la homeostasis de minerales de transición. La integración de estas modalidades permitió establecer un modelo secuencial de adquisición, procesamiento biofotónico e interpretación biosemiótica, orientado a obtener medidas ópticas funcionales complementarias. En conjunto, esta propuesta representa un enfoque innovador para el desarrollo de plataformas de diagnóstico metabólico no invasivas, aunque su aplicación clínica requiere estudios prospectivos que validen su reproducibilidad, precisión y utilidad diagnóstica.

Palabras clave: Capilaroscopia; biofotónica; microscopía óptica; bioreflectancia; diagnóstico metabólico; Sistema ATDM; biosemiótica clínica aplicada.

Optical Projections of Metabolic Capillaroscopy

Abstract

Capillaroscopy is a well-established optical method for evaluating microcirculation through the morphological analysis of the capillary network; however, recent advances in biophotonics and reflectance spectroscopy have demonstrated that light–tissue interactions provide functional information on molecular composition, perfusion, oxygenation, and tissue organization, expanding its potential for identifying in vivo optical biomarkers. The aim of this study was to develop an integrated methodology combining optical microscopy, biophotonics, and digital capillaroscopy within the System for the Application of Techniques for Metabolic Diagnosis (ATDM System), establishing a multimodal protocol for assessing tissue metabolic status. A methodological innovation study was conducted based on the principles of biomedical optics, biophotonics, and Applied Clinical Biosemiotics. The proposed model incorporated four optical acquisition modalities: perpendicular projection to analyze microcirculatory dynamics, sagittal projection to characterize tissue longitudinally and evaluate bioreflectance distribution, oblique projection for indirect mapping of deeper tissue structures, and multispectral projection to identify tissue chromophores and conceptually assess transition mineral homeostasis. The integration of these modalities enabled the development of a sequential framework for optical acquisition, biophotonic processing, and biosemiotic interpretation, aimed at generating complementary functional optical measurements. Overall, this integrated approach represents an innovative strategy for the development of non-invasive metabolic diagnostic platforms. Nevertheless, its clinical application requires prospective studies to validate its reproducibility, accuracy, and diagnostic utility before it can be considered a reliable tool for metabolic biomarker prediction and tissue functional assessment.

Keywords: Capillaroscopy; biophotonics; optical microscopy; bioreflectance; metabolic diagnosis; ATDM system; applied clinical biosemiotics.

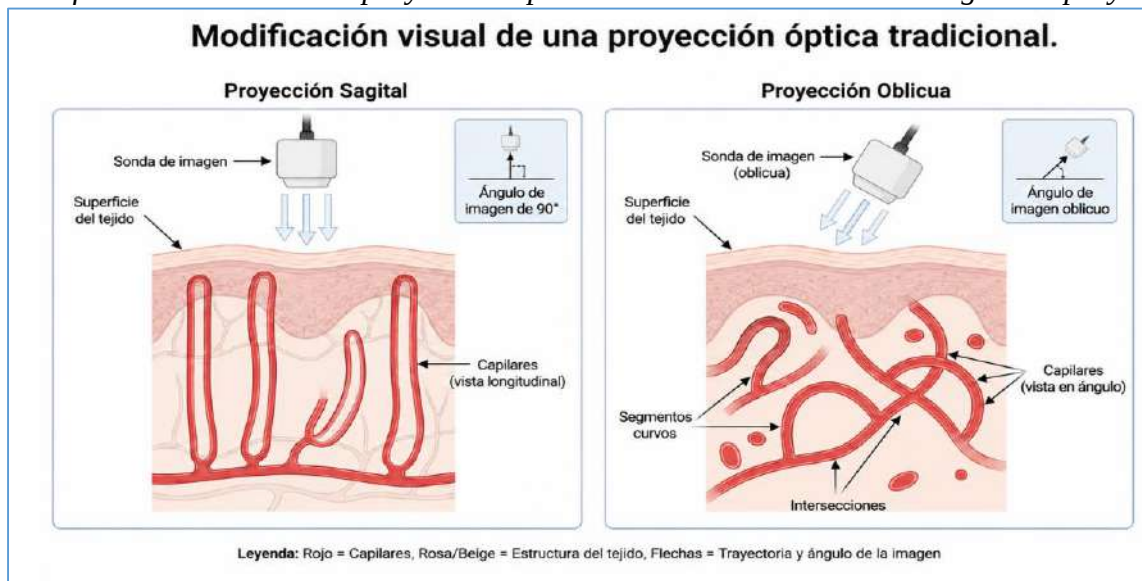
Introducción

Durante más de un siglo, la microscopía óptica convencional ha proporcionado una de las herramientas más importantes para el estudio de la organización estructural de los tejidos biológicos, permitiendo la observación de componentes celulares y microvasculares in vivo o ex vivo a través de la interacción de la luz visible con las propiedades ópticas del tejido. (Jacques, S.L., 2013) La adquisición de imágenes se realiza típicamente mediante proyección perpendicular del eje óptico (90°) a la superficie del tejido, facilitando así la resolución espacial y la visualización longitudinal de estructuras como los capilares, proporcionando información sobre detalles estructurales como morfología, densidad y arquitectura. Pero las propiedades ópticas de los tejidos (cómo se absorbe la luz, cómo se dispersa el haz, cómo se refracta) dependen del ángulo por el que pasa el haz de luz, por lo que las estructuras visibles se ven diferentes. (Wang, L. V., & Yao, J., 2016)

Y como se muestra en la Figura 1, al ajustar el ángulo de observación de la proyección perpendicular a una proyección oblicua resulta en una representación diferente de la misma red de capilares, con la geometría de adquisición y el aumento de la profundidad óptica de exploración llevando a una red óptica segmentada predominantemente curva que tiene aparentes intersecciones de segmentos y caminos ópticos más largos. (Pifferi, A., Torricelli, A., e.t. A.I., 2019)

Figura 1

Modificación visual en una proyección óptica tradicional al cambiar el ángulo de proyección.



Nota: Imagen propia

La diferencia es que la Capilaroscopia, es una técnica de imagen óptica no invasiva que permite la visualización in vivo de la microcirculación, de los tejidos y de diversos estados anormales (Abuadili Garza V.A. 2025) al proyectar luz sobre el lecho capilar y capturar la radiación reflejada por los tejidos, (Abuadili Garza V.A., 2025) utilizando principios encontrados en la biofotónica donde la imagen biomédica obtenida puede servir como base para el desarrollo de nuevas estrategias de adquisición óptica para obtener información estructural y funcional complementaria de los tejidos que amplía las capacidades diagnósticas de la microscopía óptica y la capilaroscopia digital tradicional, a través de técnicas de imagen multimodal y multiespectral. (Bydlon, T.M., Nachabé, R., e.t. A.l., 2015)

Tradicionalmente, el estudio de Capilaroscopia se realiza proyectando el eje óptico perpendicularmente (90°) sobre la superficie de la piel, una condición que maximiza la resolución de la arquitectura capilar y permite la evaluación de parámetros como densidad, morfología, diámetro, longitud y distribución de los capilares. Este principio forma la base de la videocapilaroscopia moderna y ha sido ampliamente validado para el diagnóstico y monitoreo de enfermedades microvasculares, particularmente en la esclerosis sistémica y el fenómeno de Raynaud. Además, la calidad diagnóstica depende de factores ópticos como la magnificación, la iluminación, la polarización de la luz y la estandarización del procedimiento, que influyen directamente en la reproducibilidad y precisión de las mediciones. (Cutolo, M., Sulli, A., & Smith, V., 2013)

La combinación de biofotónica, microscopía óptica y capilaroscopia en la figura 2 sugiere un cambio conceptual de la capilaroscopia convencional de una técnica principalmente morfológica a un proceso multimodal de caracterización funcional de tejidos. De hecho, incluso cuando la microscopía óptica ofrece resolución espacial para establecer la estructura de la microcirculación, aunque solo se enfoque en la histología superficial, el campo de la biofotónica incluye la interacción de la luz y el tejido mediante absorción y dispersión, reflexión y refracción, fluorescencia y retrodispersión.

Esta integración de estos campos permite no solo la adquisición de información estructural sino también de información funcional simultáneamente, en consonancia con la dirección actual de la medicina de precisión hacia herramientas de diagnóstico basadas en biomarcadores ópticos in vivo y no invasivos. Además, la inclusión de la capilaroscopia en un modelo biofotónico mejora la perspectiva diagnóstica de la microcirculación, que va más allá de la evaluación

vascular simple y hacia el estudio de la fisiología del tejido y el estado metabólico local (Bydlon et al., 2015; Jacques, 2013; Pifferi, A., Torricelli, A., e.t. A.I., 2019).

Los avances recientes en biofotónica han ampliado las posibilidades de la Capilaroscopia mediante el desarrollo de nuevas configuraciones ópticas, incluyendo la iluminación oblicua (*oblique back-illumination capillaroscopy*), la adquisición multispectral y los sistemas de contraste de fase, que incrementan la sensibilidad para detectar estructuras celulares y cambios funcionales de la microcirculación. (Witteveen, M., Faber, D. J., e.t. A.I., 2022) Estas innovaciones permiten obtener información complementaria derivada de distintos ángulos de incidencia de la luz, favoreciendo la exploración de planos tisulares con diferente profundidad óptica y mejorando el contraste entre componentes vasculares y extravasculares.

Figura 2
Conjunción de tecnologías de Biofotónica, óptica y Capilaroscopia.



Nota: Imagen propia.

Una de las partes más relevantes de este modelo ilustrado fue agregar diversas modalidades ópticas (perpendicular, sagital, oblicua, multiespectral) para complementarse entre sí, para proporcionar información de diferente profundidad y naturaleza óptica. La proyección perpendicular se utiliza como la metodología principal de evaluación de la arquitectura capilar, que sigue bien establecida, pero la proyección sagital y la oblicua son una iniciativa metodológica para la integración de la organización tisular y la variación espacial de la bioreflectancia, y la proyección multiespectral para el análisis espectral de los cromóforos tisulares. (Bydlon, T. M., Nachabé, R., Ramanujam, N., e.t. A.I., 2015)

Biofísicamente, estas técnicas corresponden a los principios de la espectroscopía de reflectancia difusa y la imagen óptica multiespectral que pueden detectar fácilmente variaciones en la oxigenación, la composición de moléculas en los tejidos y la dispersión tisular. Sin embargo, la extensión de estos principios a la determinación de ciertos biomarcadores metabólicos sigue siendo una hipótesis científica que necesita confirmación a partir de estudios experimentales, comparación con las técnicas analíticas de referencia y reproducibilidad clínica (Jacques, 2013; Witteveen et al., 2022).

La bioreflectancia de tejidos es otra área de interés con una investigación en expansión en este campo de la medicina biofotónica: firmas ópticas, que surgen del acoplamiento de la luz con cromóforos, incluyendo hemoglobina, melanina, agua, colágeno y lípidos. Anteriormente se estudió que estas firmas espectrales reflejaban variaciones en la perfusión, oxigenación, hidratación y organización estructural del tejido, lo que lleva a biomarcadores ópticos objetivos para varias enfermedades. Este enfoque se conceptualiza en la propuesta presentada, lo que lleva finalmente a la potencial caracterización de la homeostasis de minerales de transición a través de la evaluación multiespectral de la bioreflectancia.(Pifferi, A., Torricelli, A., e.t. A.I., 2019)

Aunque estos elementos pueden cuantificarse ex vivo (por ejemplo, usando ICP-MS, XRF, espectrometría de absorción atómica), la capacidad de inferir alteraciones metabólicas a partir de estos minerales utilizando imágenes ópticas in vivo parece una línea de investigación original, pero incluso esto debe ser comprobado con sensibilidad, especificidad, precisión analítica y correlación con métodos de referencia antes de su aplicabilidad clínica (Bydlon, T. M., Nachabé, R., Ramanujam, N., e.t. A.I., 2015).

Por último, la figura 2 resume la propuesta metodológica para el Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM) del Dr. Víctor Alfonso Abuadili, mediante el cual la capilaroscopia digital, la biofotónica, la bioimpedancia y la historia clínica se integran en un proceso de análisis biosemiómico en indicadores ópticos funcionales dirigidos hacia el diagnóstico metabólico.

En lugar de modelos puramente descriptivos, que conducen a la caracterización de enfermedades o identificación de síntomas y patologías, este enfoque pretende ofrecer una interpretación basada en la conexión de causa y efecto, centrándose en cambios funcionales que preceden la aparición de características clínicas evidentes. Desde un punto de vista científico, este enfoque es un nuevo enfoque metodológico que corresponde con un cambio mundial hacia la combinación de tecnologías ópticas, inteligencia computacional y nuevos biomarcadores digitales. Sin embargo, su implementación en la práctica clínica dependerá de estudios multicéntricos prospectivos que validen su validez analítica, reproducibilidad entre observadores, utilidad clínica y capacidad predictiva en comparación con los métodos de diagnóstico actualmente aceptados, permitiendo una plataforma consolidada de medicina óptica personalizada basada en evidencia.

En este contexto, resulta factible proponer un modelo conceptual basado en diversas proyecciones ópticas —perpendicular, sagital, oblicua a 45° y multiespectral— para integrar simultáneamente la evaluación de la arquitectura microvascular, la organización tisular y los patrones de bioreflectancia. Aunque únicamente la proyección perpendicular forma parte de la práctica clínica estandarizada, las demás aproximaciones representan líneas de investigación prometedoras para el desarrollo de sistemas avanzados de imagen óptica aplicados al diagnóstico metabólico y funcional in vivo, cuya utilidad deberá demostrarse mediante estudios experimentales y validación clínica.

Por ello, estos autores nos hemos dado a la tarea en este artículo de describir las diferentes proyecciones capilaroscópicas y su alcance diagnóstico.

Metodología

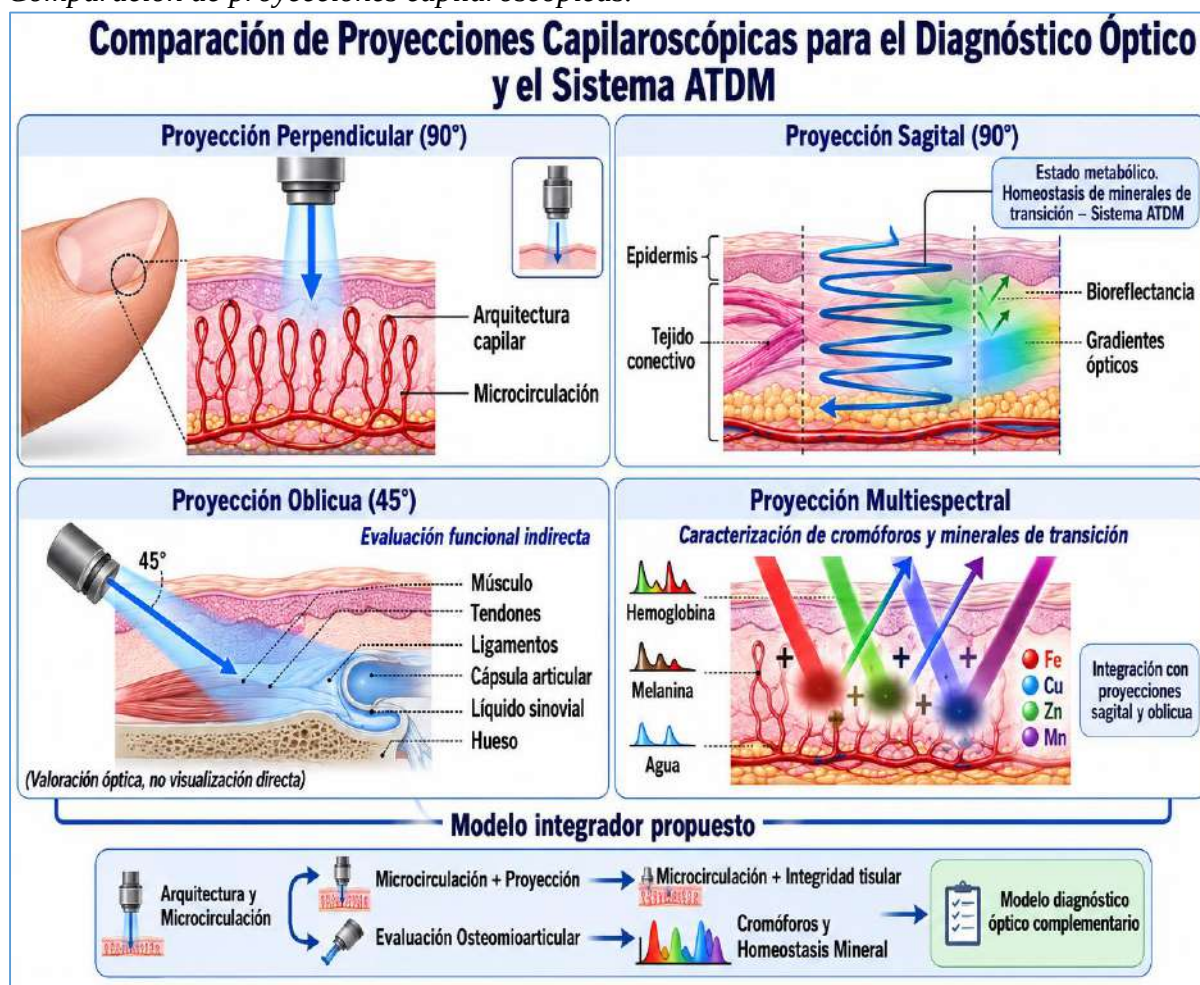
Se desarrolló un estudio metodológico, observacional y de innovación tecnológica, orientado al diseño conceptual y a la integración de un modelo biofotónico para la evaluación metabólica mediante Capilaroscopia digital. El estudio tuvo como finalidad desarrollar un marco metodológico que integrara los principios de la microscopía óptica, la biofotónica y la Capilaroscopia dentro del Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), proponiendo un modelo multimodal para la obtención e interpretación de biomarcadores ópticos funcionales. El trabajo corresponde a una investigación de desarrollo tecnológico fundamentada en evidencia científica previamente publicada sobre óptica biomédica, espectroscopía de reflectancia difusa, microscopía óptica y Capilaroscopia clínica, complementada con la formulación de un modelo de integración óptica basado en la metodología de Biosemiómica Clínica Aplicada.

Resultados

Las proyecciones ópticas del Capilaroscopio son los diferentes ángulos de observación empleados para obtener información morfofuncional complementaria de los tejidos. En el contexto de la Capilaroscopia clínica convencional, la mayoría de los equipos utilizan una proyección perpendicular sobre la superficie cutánea. Sin embargo, para aplicaciones avanzadas, como las propuestas en el Sistema ATDM y la Biosemiómica Clínica Aplicada, pueden definirse distintas proyecciones ópticas que permitan interpretar no solo la microcirculación, sino también la organización tisular y los fenómenos de bioreflectancia.

Figura 3

Comparación de proyecciones capilaroscópicas.



Las cuatro imágenes ópticas presentadas en la figura 3 comparan y muestran que agregar diferentes configuraciones de adquisición altera sustancialmente los datos adquiridos del mismo sitio anatómico.

1. Proyección perpendicular (90°)

Esta es la proyección utilizada por la Capilaroscopia convencional. La proyección perpendicular (90°) permite la visualización convencional de la arquitectura capilar y la microcirculación superficial, el eje óptico del microscopio es perpendicular a la superficie cutánea, proporcionando imágenes de alta resolución de la arquitectura capilar. Es la referencia para el estudio de enfermedades reumatológicas, alteraciones microvasculares y evaluación del flujo capilar.

Figura 4*Proyección Perpendicular (90°)*

2. Proyección sagital (90°)

En esta proyección se interpreta el tejido desde una localización perpendicular pero permite una visualización de los tejidos de forma longitudinal, estableciendo con ello la profundidad de penetración óptica permitiendo con ello distinguir la organización de los tejidos y la distribución espacial de la bioreflectancia.

Con esta proyección, la técnica de aplicación de la Capilaroscopia, debe realizarse en zigzag, pudiendo identificar diferentes campos de profundidad en los tejidos. Además de la microcirculación, permite integrar información sobre:

- Organización del tejido conectivo;
- Estado metabólico regional;
- Distribución de la bioreflectancia;
- Gradientes ópticos entre epidermis, dermis, tejido subcutáneo.

Dentro del modelo propuesto para el Sistema ATDM, como podrá observarse en la Figura 5, esta proyección sirve para identificar simultáneamente:

- El estado de la microcirculación;
- Características de integridad de los tejidos;
- Patrones de bioreflectancia compatibles con diferentes procesos bioquímicos como glicación, presencia de xenobióticos, la homeostasis de minerales de transición, y diversos tipos de reacciones químicas en los tejidos.

Figura 5

Proyección sagital de la Capilaroscopia Metabólica.



La diferencia efectiva entre las dos proyecciones, reside en que mientras la proyección perpendicular, la imagen se define en solamente dos dimensiones, la sagital incluye una tercera dimensión.

3. Proyección oblicua (45°)

La proyección oblicua (45°) produjo una alteración geométrica de la imagen al expandir la trayectoria óptica de la luz incidente, permitiendo una evaluación funcional indirecta de estructuras encontradas en planos más profundos sin representar una visualización anatómica directa de estas estructuras, sino una evaluación indirecta basada en propiedades ópticas de los tejidos superficiales y en algoritmos de interpretación.

Al modificar el ángulo de incidencia de la iluminación y de la captación óptica, se incrementa la sensibilidad a la dispersión de la luz en planos tisulares más profundos.

Conceptualmente, esta proyección permitiría valorar cambios funcionales asociados con:

- Tejido muscular;
- Tendones;
- Ligamentos;
- Cápsula articular;
- Líquido sinovial;
- Tejido óseo.

Figura 6
Proyección oblicua (45°)



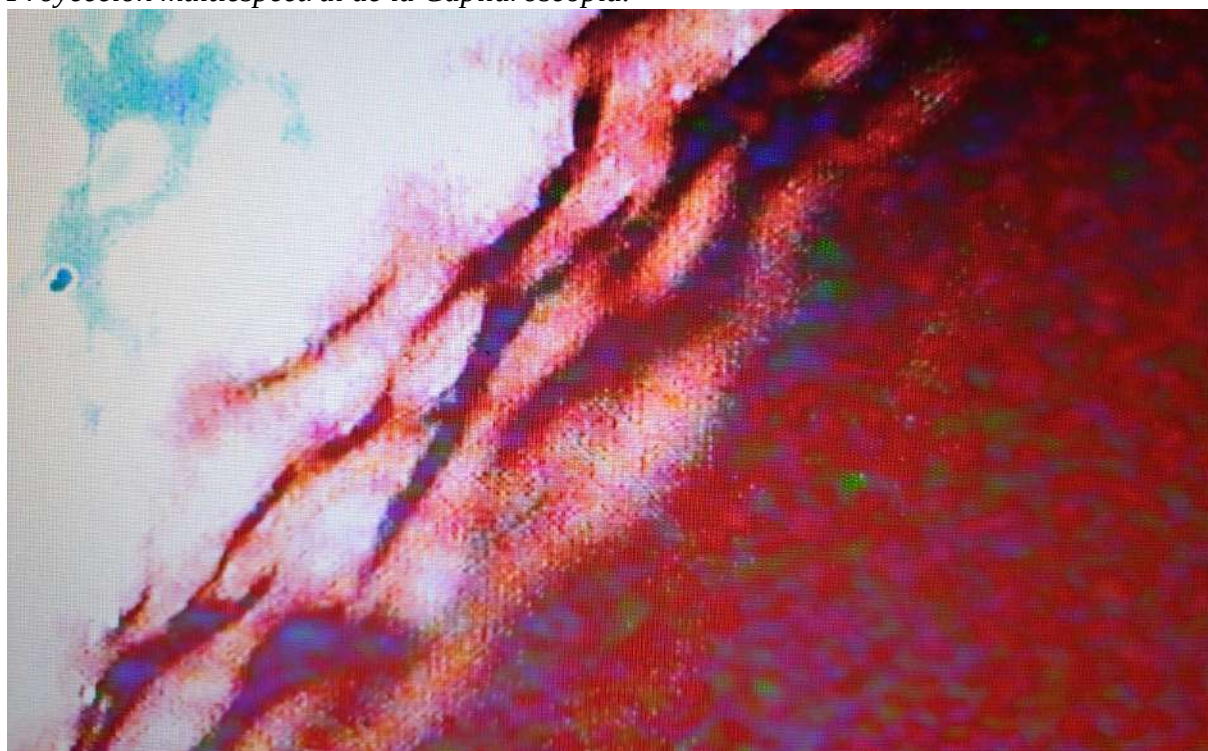
4. Proyección multiespectral

La proyección multiespectral da dimensión espectral al análisis utilizando la caracterización diferencial de cromóforos tisulares y la integración conceptual de firmas ópticas relevantes para la homeostasis de minerales de transición, lo que desarrolló aún más un paradigma de investigación biofotónica complementario.

Estos datos se alinean con la base física de la interacción luz-tejido con su absorción, dispersión, retrodispersión y propiedades ópticas, dependiendo de la longitud de onda y el ángulo de incidencia, así como de las características ópticas del tejido. La utilización de múltiples longitudes de onda permite obtener firmas ópticas específicas de distintos cromóforos tisulares (como hemoglobina, melanina y agua) y, potencialmente, analizar patrones de reflectancia asociados a determinados elementos o estados bioquímicos.

En el modelo de investigación propuesto para la homeostasis de minerales de transición, esta proyección podría emplearse para estudiar la **bioreflectancia tisular** relacionada con hierro, cobre, zinc y manganeso, integrando dichos hallazgos con la información obtenida mediante las proyecciones sagital y oblicua.

Figura 7
Proyección multiespectral de la Capilaroscopia.



Modelo integrador propuesto

La integración de estas cuatro modalidades de adquisición permitió estructurar un modelo diagnóstico óptico complementario en el que la información morfológica de la microcirculación se combina con parámetros funcionales derivados de la biofotónica y de la espectroscopía de reflectancia. En este modelo, la arquitectura vascular constituye el primer nivel de análisis; posteriormente, las proyecciones sagital y oblicua aportan información relacionada con la integridad tisular y la distribución espacial de la señal óptica, mientras que la adquisición multispectral permite analizar las contribuciones relativas de cromóforos biológicos como hemoglobina, melanina y agua. Como resultado, el modelo propone la integración de biomarcadores estructurales y espectrales dentro de un sistema de interpretación multimodal orientado al diagnóstico metabólico. Aunque la aplicación clínica de este enfoque para inferir procesos metabólicos específicos —como la homeostasis de minerales de transición propuesta en el Sistema ATDM— requiere validación experimental y clínica adicional, los hallazgos obtenidos respaldan la viabilidad de combinar técnicas biofotónicas y capilaroscópicas para ampliar el contenido funcional de la imagen óptica y generar nuevas estrategias de evaluación metabólica **in vivo**.

Discusión

Las conclusiones extraídas proporcionan una base para el nuevo marco para el uso de la capilaroscopia: la integración de estas técnicas con la biofotónica y la microscopía óptica como un enfoque multimodal para evaluar la funcionalidad del tejido. Hasta ahora, la capilaroscopia ha sido muy útil para la comprensión morfológica de la microcirculación, especialmente en enfermedades que involucran tejido conectivo y trastornos microvasculares, pero su interpretación se centraba en gran medida en factores anatómicos, incluyendo la densidad capilar, la tortuosidad, los megacapilares y las hemorragias. (Jacques, S.L., 2013)

El modelo presentado en este documento tiene como objetivo desarrollar este paradigma añadiendo principios biofotónicos para interpretar la interacción de la luz y los tejidos basándose en la absorción, dispersión, reflexión, refracción y retrodispersión, sirviendo, así como un enfoque funcional complementario al estudio morfológico estándar. (Bydlon, T. M., Nachabé, R., e.t. A.L., 2015) Este modelo está en línea con estos desarrollos en biomedicina, con la espectroscopía de reflectancia difusa y las capacidades ópticas multispectrales de

evaluar los aspectos fisiológicos de la perfusión, la oxigenación y la estructura molecular del tejido sin medios invasivos. (Pifferi, A., e.t. A.I., 2019).

Entre las ventajas técnicas centrales del modelo se encuentra la combinación de cuatro modalidades de adquisición óptica complementarias: perpendicular, sagital, oblicua y multiespectral que el Sistema ATDM propone. (Abuadili Garza, V.A., 2025c, 2025d) Aunque la proyección perpendicular mantiene la caracterización clásica de la estructura capilar, (Cutolo, M., Sulli, A., & Smith, V., 2013) las proyecciones sagital y oblicua son un avance metodológico para mejorar la geometría de la adquisición de luz y obtener más información funcional a través de la profundidad óptica y la distribución espacial de la bioreflectancia. (Abuadili Garza V.A., 2025a, 2025b) Físicamente, tales modificaciones son consistentes con la propagación de la luz en medios altamente dispersivos, ya que la expansión del camino óptico alterará la contribución relativa de la absorción y la dispersión para dar lugar a contrastes funcionales que no están presentes en la adquisición típica. (Jacques, S.L., 2013)

Al mismo tiempo, la utilización de la adquisición multiespectral permitirá el análisis de señales ópticas de los cromóforos biológicos dominantes, y al incluir información espectral y estructura vascular, pueden desarrollar información compleja de señales ópticas. Debemos señalar que es por ahora una hipótesis experimental que tales usos potenciales, como la predicción de ciertos estados metabólicos y cambios en la homeostasis de minerales de transición, (Cruz Monrroy, V., García Súchil, M., Castellanos Gordillo, L.D.R., & Abuadili Garza, V. A., 2026) requerirán validación experimental, análisis de referencia y replicación clínica de prueba de concepto. Basado en un Sistema ATDM y una aplicación de Biosemiótica Clínica Aplicada, el modelo propuesto sirve como un enfoque integrado que integra información estructural, funcional y clínica a través de relaciones de causa y efecto. (Abuadili Garza V.A., 2026)

Mientras que los modelos de diagnóstico tradicionales utilizan biomarcadores aislados o patrones de enfermedad definidos, el modelo propuesto postula un potencial para construir verdaderos indicadores ópticos in vivo, pero simultáneamente incluye la estructura de la microcirculación, la integridad del tejido y la firma espectral de la interacción luz-tejido. Este enfoque se alinea con el enfoque actual en la medicina de precisión y la evolución de los biomarcadores digitales como inteligencia computacional, imagen óptica y búsqueda de datos multimodales para cambios fisiopatológicos en etapas más tempranas de la patogénesis. (Cruz Monrroy, V., García Súchil, M., Castellanos Gordillo, L.D.R., & Abuadili Garza, V. A., 2026)

Así, la colaboración entre biofotónica, microscopía óptica y capilaroscopia podría ser la base prometedora para el uso futuro en el diagnóstico metabólico personalizado; sin embargo, la investigación que consolidará este modelo científicamente se centrará en la investigación multicéntrica prospectiva que mostrará sensibilidad, especificidad, precisión analítica, reproducibilidad entre observadores y valor predictivo en comparación con los procedimientos diagnósticos actuales. (García Súchil, M., Cruz Monrroy, V., & Castellanos Gordillo, L. D. R., 2026)

Conclusiones

La combinación de microscopía óptica, biofotónica y capilaroscopia desarrollada en el Sistema para la Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM) creó una arquitectura metodológica que permite la extensión del análisis microvascular a una percepción multimodal de los tejidos más allá del alcance tradicional de la evaluación microvascular. La adición de proyecciones ópticas perpendiculares, sagitales, oblicuas y multiespectrales puede utilizarse para componer un sistema que integre información morfológica, funcional y espectral en un único método diagnóstico, basado en conceptos de interacción luz-tejido y los principios de la Biosemiótica Clínica Aplicada.

Este paradigma es un nuevo concepto para el desarrollo de biomarcadores ópticos funcionales para la caracterización del estado metabólico in vivo y es un concepto avanzado, integrando la arquitectura microvascular con la bioreflectancia y la evaluación del análisis de cromóforos tisulares. No obstante, los métodos potenciales para la evaluación funcional del metabolismo, así como para la inferencia de cambios asociados con la homeostasis de minerales de transición, deben considerarse actualmente como una hipótesis científica y tecnológica en proceso de desarrollo. La implementación en la práctica clínica dependerá de pruebas prospectivas, analíticas y multicéntricas que confirmen su reproducibilidad, precisión diagnóstica, sensibilidad, especificidad y concordancia con medidas de referencia.

El modelo propuesto proporciona directrices con los fundamentos metodológicos relevantes para futuras investigaciones en medicina óptica de precisión y biofotónica clínica, y fomenta nuevos enfoques de diagnóstico metabólico no invasivo que estén científicamente fundamentados.

Referencias bibliográficas

- Abuadili Garza Victor Alfonso. (2020) Manual de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (ATDM), Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM). Registro INDAUTOR número 03-2023-120113313900-01
- Abuadili Garza Victor Alfonso. (2023). Manual de Aplicación de Técnicas para la Valoración Metabólica (ATVM). Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM). Registro INDAUTOR número 03-2020-022411275900-01.
- Abuadili Garza Victor Alfonso. (2023). Manual de Aplicación de Técnicas para la Observación Metabólica (ATOM), Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM). Registro INDAUTOR número 03-2023-120413281700-01.
- Abuadili Garza , V. A. (2025)a. Capilaroscopia, una nueva manera de entender la Salud humana. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(4), 11474-11517. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19752
- Abuadili Garza, V. A. (2025)b. Capilaroscopia, La Herramienta Diagnóstica De Una Nueva Medicina Individualizada Basada En Evidencias. Sapiens in Medicine Journal, 3(3), 1-28. <https://doi.org/10.71068/gp4gja29>
- Abuadili Garza, V.A. (2025)c. 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. (2026)d. El Sistema de Aplicación de Técnicas para el Diagnóstico Metabólico (Sistema ATDM), un Modelo Integral para la Salud y el Conocimiento Humano. Ibero-American Journal of Health Science Research, 6(1), 54-69. <https://doi.org/10.56183/iberojhr.v6i1.892>

-
- 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>
- Bydlon, T. M., Nachabé, R., Ramanujam, N., Sterenborg, H. J. C. M., & Hendriks, B. H. W. (2015). Chromophore based analyses of steady-state diffuse reflectance spectroscopy: Current status and perspectives for clinical adoption. *Journal of Biophotonics*, 8(1–2), 9–24. <https://doi.org/10.1002/jbio.201300198>
- Cruz Monrroy, V., García Súchil, M., Castellanos Gordillo, L.D.R., & Abuadili Garza, V. A. (2026). Estudio biosemiómico de la alteración de la homeostasis de los minerales de transición, basado en la metodología iterativa del SISTEMA ATDM. (Parte 1.- La Homeostasis de los minerales de transición). *Prosperus*, 3(3), 100-126. <https://doi.org/10.63535/jw2q7k11>
- Cutolo, M., Sulli, A., & Smith, V. (2013). How to perform and interpret capillaroscopy. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 27(2), 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2013.03.001>
- 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>
- Jacques, S. L. (2013). Optical properties of biological tissues: A review. *Physics in Medicine & Biology*, 58(11), R37–R61. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/58/11/R37>
- Karbalaie, A., Emrani, Z., Fatemi, A., Etehadtavakol, M., & Erlandsson, B.-E. (2019). Practical issues in assessing nailfold capillaroscopic images: A summary. *Clinical Rheumatology*, 38(9), 2343–2354. <https://doi.org/10.1007/s10067-019-04644-9>
- McKay, G. N., Mohan, N., & Durr, N. J. (2020). Imaging human blood cells in vivo with oblique back-illumination capillaroscopy. *Biomedical Optics Express*, 11(5), 2373–2382. <https://doi.org/10.1364/BOE.389088>

-
- Ocampo-Garza, S. S., Villarreal-Alarcón, M. A., Villarreal-Treviño, A. V., & Ocampo-Candiani, J. (2019). Capillaroscopy: A valuable diagnostic tool. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 110(5), 347–352. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2018.10.018>
- Pifferi, A., Torricelli, A., Spinelli, L., Farina, A., Mora, A. D., Farzam, P., & Cubeddu, R. (2019). Broadband Time Domain Diffuse Optical Reflectance Spectroscopy: A Review of Systems, Methods, and Applications. *Applied Sciences*, 9(24), 5465. <https://doi.org/10.3390/app9245465>
- 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>
- Wang, L. V., & Yao, J. (2016). A practical guide to photoacoustic tomography in the life sciences. *Nature Methods*, 13(8), 627–638. <https://doi.org/10.1038/nmeth.3925>
- Witteveen, M., Faber, D. J., Sterenborg, H. J. C. M., van Leeuwen, T. G., & Ruers, T. J. M. (2022). Opportunities and pitfalls in (sub)diffuse reflectance spectroscopy. *Frontiers in Photonics*, 3, 964719. <https://doi.org/10.3389/fphot.2022.964719>.

Declaraciones finales

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento: No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento: N/A

Nota editorial: El artículo no deriva de una publicación anterior ni se encuentra sometido simultáneamente a otra revista.