

# Journal Pre-proof

TÉCNICAS DE IMAGEN EN TRICOLOGÍA: ECOGRAFÍA, MICROSCOPIA CONFOCAL DE REFLECTANCIA Y TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA

E. Ortiz-Lazo V. Velasco-Tamariz D. Saceda-Corraló X. Wortsman



PII: S0001-7310(25)00119-X

DOI: <https://doi.org/doi:10.1016/j.ad.2024.12.020>

Reference: AD 4289

To appear in: *Actas dermosifiliográficas*

Received Date: 11 February 2024

Accepted Date: 6 December 2024

Please cite this article as: Ortiz-Lazo E, Velasco-Tamariz V, Saceda-Corraló D, Wortsman X, TÉCNICAS DE IMAGEN EN TRICOLOGÍA: ECOGRAFÍA, MICROSCOPIA CONFOCAL DE REFLECTANCIA Y TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA, *Actas dermosifiliográficas* (2025), doi: <https://doi.org/10.1016/j.ad.2024.12.020>

This is a PDF file of an article that has undergone enhancements after acceptance, such as the addition of a cover page and metadata, and formatting for readability, but it is not yet the definitive version of record. This version will undergo additional copyediting, typesetting and review before it is published in its final form, but we are providing this version to give early visibility of the article. Please note that, during the production process, errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

© 2025 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de AEDV.

Sección: Dermtología Práctica

## TÉCNICAS DE IMAGEN EN TRICOLOGÍA: ECOGRAFÍA, MICROSCOPIA CONFOCAL DE REFLECTANCIA Y TOMOGRAFÍA DE COHERENCIA ÓPTICA

Imaging modalities in trichology: ultrasound, reflectance confocal microscopy, and optical coherence tomography

Autores: E. Ortiz-Lazo<sup>a</sup>, V. Velasco-Tamariz<sup>b</sup>, D. Saceda-Corraló<sup>c</sup>, X. Wortsman<sup>d,e,f</sup>

Autor de correspondencia: Elena Ortiz-Lazo, eaortiz@uc.cl

<sup>a</sup> Unidad de Dermatología, Clínica NEO, Chile

<sup>b</sup> Servicio de Dermatología, Hospital 12 de Octubre, España

<sup>c</sup> Servicio de Dermatología, Hospital Ramón y Cajal, España

<sup>d</sup> Departamento de Dermatología, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Santiago, Chile

<sup>e</sup> Departamento de Dermatología, Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

<sup>f</sup> Instituto de Diagnóstico por Imágenes en Piel y Tejidos Blandos, Santiago, Chile

### RESUMEN

Para el diagnóstico y manejo de las alopecias se utilizan técnicas invasivas como biopsias de cuero cabelludo y no invasivas como tricoscopia, pero ésta no siempre proporciona suficiente información sobre el estado de la enfermedad. En la actualidad, disponemos de nuevos métodos diagnósticos no invasivos para complementar los hallazgos clínicos y tricoscópicos de pacientes con alopecia; éstos son la ecografía de alta frecuencia (EAF) y ultra alta frecuencia (EUAF), la microscopía confocal

de reflectancia (MCR) y la tomografía de coherencia óptica (TCO), que son capaces de identificar estructuras bajo la superficie del cuero cabelludo, manteniendo la capacidad de monitorizar los tallos pilosos. En esta revisión se describen las características reportadas con cada técnica para los distintos tipos de alopecias (cicatriciales y no cicatriciales), con el objetivo de identificar parámetros que contribuyan a aclarar nuevos hallazgos fisiopatológicos, sumar información al examen tricoscópico y mejorar los procesos de diagnóstico y seguimiento.

#### ABSTRACT

Although invasive techniques such as scalp biopsies and non-invasive techniques such as trichoscopy are commonly used for the diagnosis and management of alopecia, the latter does not always provide enough information on the state of the disease. Currently, we have new non-invasive diagnostic methods to complement the clinical and trichoscopic findings of patients with alopecia; these are high-frequency ultrasound (HFU), ultra-high-frequency ultrasound (UHFU), reflectance confocal microscopy (RCM) and optical coherence tomography (OCT), which are capable of identifying structures under the surface of the scalp, while maintaining the ability to monitor hair shafts.

This review describes the main features reported with each technique for the different types of alopecia—scarring and non-scarring—with the aim of identifying those parameters that may contribute to clarifying new pathophysiological findings, while adding information to the trichoscopic examination and improving diagnostic processes and monitoring.

## Abreviaturas

EAF: ecografía de alta frecuencia; EUAF: ecografía de ultra alta frecuencia; MCR: microscopía confocal de reflectancia; TCO: tomografía de coherencia óptica; AGA: alopecia androgenética; AA: alopecia areata; DS: dermatitis seborreica; LPP: liquen plano pilaris; LED: lupus eritematoso discoide; AIQ: alopecia inducida por quimioterapia.

Palabras claves: ecografía de alta frecuencia, ecografía de ultra alta frecuencia, microscopía confocal, tomografía de coherencia óptica, alopecia, ultrasonido, dermatología, pelo.

Keywords: high-frequency ultrasound, ultra-high-frequency ultrasound, confocal microscopy, optical coherence tomography, alopecia; dermatology, hair, ultrasound.

## Técnicas de imagen en Tricología

La aproximación diagnóstica de los distintos tipos de alopecias se basa principalmente en historia clínica, examen físico, tricoscopia y estudio histopatológico. La búsqueda de nuevos métodos diagnósticos, especialmente no invasivos, es cada vez más relevante ya que pueden aportar información para el diagnóstico diferencial, contribuir en decisiones terapéuticas y reducir necesidad de biopsias<sup>1,2,3,4</sup>. En los últimos años hay cada vez más interés en técnicas como ecografía de alta frecuencia (EAF), microscopía confocal de reflectancia (MCR) y tomografía de coherencia óptica (TCO) ya que han mostrado utilidad en su diagnóstico y seguimiento. En esta revisión se describe la principal evidencia recopilada en relación al uso de estas técnicas en tricología, tanto en alopecias no cicatriciales como cicatriciales.

Metodología: se realizó una búsqueda electrónica para recopilar publicaciones sobre el uso de EAF, MCR y TCO en evaluación, diagnóstico y seguimiento en tricología. La revisión se realizó hasta marzo 2024 en la base de datos electrónica de Pubmed utilizando los términos de búsqueda “ecografía de alta frecuencia”, “microscopía confocal de reflectancia”, “tomografía de coherencia óptica”, “alopecia” y “pelo”.

### Ecografía

La ecografía de alta frecuencia (EAF) es una técnica muy utilizada en dermatología. Se basa en la emisión de pulsos ultrasónicos de alta frecuencia (>15 MHz) desde un transductor sobre la piel que registra su regreso (fenómeno de eco) en la unidad de procesamiento. La frecuencia mínima recomendada para el estudio de estructuras cutáneas varía entre 15 y 20 MHz,<sup>1</sup> alcanzando profundidades entre 6 a 10 mm. A aquellos dispositivos que emiten ondas superiores a 50 MHz se les denomina de “ultra” alta frecuencia (EUAF) y pueden llegar actualmente hasta 70 MHz.<sup>5</sup> La diferencia entre ambas es la resolución axial espacial, que es más alta en la EUAF y alcanza los 30  $\mu\text{m}$ . Además, a través del modo Doppler color se puede detectar y medir velocidad del flujo sanguíneo.

En el ámbito de la tricología, se describen ecográficamente a los folículos pilosos normales como bandas hipoecogénicas oblicuas en la dermis que en fase anágena se localizan en dermis profunda o incluso en hipodermis superior, mientras que en fase telógena se restringen a dermis superior (Figura 1). En el cuero cabelludo los tallos pilosos se informan como estructuras hiperecogénicas predominantemente trilaminares con un complejo cutícula-corteza externo y una médula interna.<sup>6,2</sup> Al comparar EAF con tricoscopia, se ha reportado que el número unidades foliculares no difiere significativamente y sólo su ancho es mayor con las mediciones ecográficas.<sup>7</sup> En EUAF se pueden observar los tractos pilosos en el interior de los folículos antes de emerger a la superficie.<sup>5(2)</sup>

### Alopecia no cicatricial

En alopecia androgénica (AGA) se ha descrito hipoecogenicidad de los folículos pilosos involucrados, hallazgo cuya fisiopatología sigue sin estar clara y podría atribuirse a inflamación.<sup>8</sup> En un estudio prospectivo de 33 pacientes con AGA y 10 controles sanos<sup>9</sup> se encontró en AGA folículos menos profundos en dermis y un reemplazo del patrón normal predominantemente trilaminar de los tallos pilosos por uno bilaminar y áreas de ausencia de folículos pilosos.

En alopecia areata (AA) se han identificado signos como "folículos pilosos vacíos" e "hiperecogenicidad perifolicular en el subcutáneo"<sup>8</sup> que podrían facilitar la evaluación directa de la severidad de la enfermedad y así ayudar a diseñar estrategias terapéuticas. A su vez, son interesantes los hallazgos reportados recientemente por Mikiel et al<sup>10</sup> donde caracterizan las imágenes ecográficas de 25 pacientes con AA y sus fases, de 10 con AGA y de 12 con dermatitis seborreica (DS), correlacionando los hallazgos con tricoscopía (Tabla 1). En AA activa se describieron folículos claros y ensanchados similares a "gotas de agua", la fase inactiva se caracterizó por una menor cantidad de folículos sin bordes definidos y en la fase de recrecimiento se encontraron folículos de diferentes anchos, alargados y con partes distales ensanchadas. Tanto el ancho como la ecogenicidad de los folículos en AA, independientemente del estadio de la enfermedad, fue significativamente mayor. En los casos de AGA, el ancho de los folículos fue el más pequeño de todos los grupos estudiados.

### Alopecia cicatricial

Las primeras publicaciones que utilizaron EAF en la evaluación de alopecias cicatriciales mostraron que la inflamación dérmica aparece hipoecogénica y la subcutánea, hiperecogénica y al Doppler, las zonas afectadas son hipovasculares.<sup>2(4),11(9)</sup> Pero también se ha reportado mayor vascularización en

las áreas cicatriciales usando técnicas de imagen microvascular e incluso mayor grosor y rigidez con elastografía de ondas de corte.<sup>12</sup>

Recientemente se evaluó la EAF como método diagnóstico en 8 pacientes con liquen plano pilaris (LPP), 11 con lupus eritematoso discoide (LED), 14 con alopecia fibrosante frontal (AFF) y 11 voluntarios sanos.<sup>13</sup> La forma activa de enfermedad en todos los grupos se caracterizó por estructuras foliculares con morfología y parámetros diferentes de los observados en el grupo control y las formas inactivas, se caracterizaron por una reducción significativa del número de folículos (Tabla 2). La ecogenicidad de la piel y de las estructuras foliculares fue significativamente mayor en comparación con los voluntarios sanos, lo que probablemente se deba al proceso de fibrosis subyacente. Cabe destacar que la ausencia de aperturas foliculares en la tricoscopia muchas veces no se correlacionó con la falta total de estructuras foliculares en las imágenes ecográficas. Todos estos hallazgos sugieren que la EAF permite una evaluación más precisa del momento en que se completa el proceso de cicatrización.

Por su parte, con EUAF en AFF se han descrito hallazgos como "hipoecogenicidad perifolicular en dermis media", "ambigüedad distal de folículos pilosos" y "bandas hiperecogénicas onduladas en el tejido celular subcutáneo" (Figura 2). Los dos primeros también se observaron en LPP y en la histopatología se correspondieron con fibrosis perifolicular e inflamación en promontorio y con folículos inflamados o destruidos en istmo o infundíbulo, respectivamente. A su vez, las "bandas hiperecogénicas en subcutáneo", con tabiques fibrosos distribuidos de forma lineal en hipodermis.<sup>8</sup> Otro estudio ecográfico en 99 mujeres con AFF y 40 controles demostró mayor diámetro vascular y mayor flujo en el área de la línea de implantación capilar en comparación con la zona de banda alopecica y grupo control, lo que puede explicarse tanto por inflamación activa en la línea frontal como por fibrosis en la banda alopecica. Además, el diámetro de los vasos fue significativamente

mayor en la zona del cuero cabelludo sano de pacientes con AFF comparado con el grupo control, lo que se explicaría por inflamación subclínica y podría ser predictor de progresión futura.<sup>14</sup>

La celulitis disecante presenta hallazgos ecográficos similares a la hidradenitis supurativa e incluyen dilatación de folículos pilosos, pseudoquistes (< 1 cm), colecciones hipoecogénicas ( $\geq$  1 cm), túneles que transcurren a través de la dermis y subcutáneo y pueden presentar grados variables de fibrosis y al Doppler color, grados variables de hipervascularización dermo-hipodérmica en la periferia de las lesiones.<sup>15</sup>

#### Microscopía Confocal de Reflectancia

La MCR es una técnica óptica basada en la emisión de láser de baja potencia que es reflejada por las estructuras en función de sus diferentes índices de refracción. Se obtienen imágenes en diferentes planos focales que permiten un análisis tridimensional y visualización de los contornos celulares, como en la histopatología. Su ventaja es la alta resolución axial y su principal limitación es su baja penetración ya que sólo alcanza profundidades de 250-350  $\mu\text{m}$ ; visualizando únicamente hasta dermis reticular superficial.<sup>16,17</sup> Gracias a la posibilidad de observar cambios microscópicos detallados, la MCR también se está utilizando en tricología y se puede considerar un paso intermedio entre la tricoscopia y la histología. Con MCR los folículos pilosos normales se han descrito como estructuras de diferentes tamaños en un patrón ordenado, con células basales pequeñas ovoides o poligonales y centrales más grandes y planas.<sup>3</sup>

#### Alopecia no cicatricial

Rudnicka et al<sup>3</sup> publicaron una pequeña serie de casos en la que se utilizó MCR para caracterizar algunas enfermedades del cabello. La estructura del tallo piloso presentó la misma apariencia en



controles sanos, AA y AGA, sin embargo, en este último se observó heterogeneidad en el grosor de los tallos.

Se han reportado criterios de MCR para el diagnóstico de alopecias no cicatriciales tales como papilas dérmicas delimitadas, tallos pilosos miniaturizados y queratinización folicular (Figura 3). Estos hallazgos fueron publicados en un estudio retrospectivo del 2016,<sup>18</sup> donde se establecieron varios parámetros descriptivos de las alopecias cicatriciales (28 con LPP y 9 con LED) y no cicatriciales (30 con AGA y 19 con AA) y se identificaron características estadísticamente significativas para ambos tipos de alopecia (Tabla 3). Si bien no se identificaron características distintivas significativas para AGA comparado con AA, en AA se encontraron células inflamatorias en epidermis superior y alrededor de estructuras anexiales en varios pacientes, lo que se explicaría por su origen autoinmune.

En tiña capitis se han descrito estructuras hiperreflectantes homogéneas redondeadas de 5 a 10  $\mu\text{m}$  en la zona proximal del tallo piloso, correspondientes a conidias que en condiciones in vivo, se observaron compactas, mientras que ex vivo, fueron más dispersas.<sup>19,20</sup>

Por su parte, en la alopecia inducida por quimioterapia (AIQ) también se han encontrado hallazgos distintivos. En un estudio observacional prospectivo de 16 mujeres con cáncer de mama se describieron características confocales y tricoscópicas propias de las fases evolutivas de la AIQ<sup>21</sup>

#### Alopecia cicatricial

Con MCR se han descrito células inflamatorias en dermis, epidermis y alrededor de estructuras anexiales, lo cual concuerda con la patogenia inflamatoria/autoinmune de las alopecias cicatriciales. A su vez, se han identificado tres características altamente específicas: células inflamatorias en epidermis, ausencia de miniaturización y ausencia de queratinización folicular.<sup>18</sup> De hecho, uno de los criterios principales que permite discriminar entre alopecias cicatriciales y no cicatriciales, es la

inflamación activa en epitelio anexial y/o unión dermo-epidérmica, con el consiguiente oscurecimiento de las papilas dérmicas y ausencia de su borde normal. Otro criterio importante es la esclerosis dérmica, caracterizada por fibras aumentadas y engrosadas dispuestas radialmente alrededor del folículo. Si bien, estos hallazgos son propios de alopecias cicatriciales, se han descrito en algunos casos de alopecia no cicatricial crónica, como en fase tardía de AGA, lo que se atribuye al daño solar severo e inflamación crónica.<sup>18,22</sup>

Específicamente en LPP y AFF hay un estudio del 2020<sup>23</sup> donde se evaluaron 10 pacientes con LPP y 2 con AFF se describieron células inflamatorias en epidermis próxima al infundíbulo anexial en casi la mitad de los casos, hallazgo consistente con la histopatología de estadios tempranos.<sup>18,23</sup> En lesiones de larga duración se observaron vasos sanguíneos dilatados, aumento de fibras dérmicas gruesas mal definidas y fibrosis perifolicular extensa (Figura 4).

En LPP y LED también se han descrito características que han mostrado correlación con la histopatología. Hay predominio de infiltrado inflamatorio en epidermis y cambios de interfase difusos en LPP, focales en LED con compromiso de la unión dermoepidérmica y localizados exclusivamente en la capa basal del epitelio anexial en LPP con compromiso folicular prominente. Estos hallazgos se describieron en un estudio de 7 pacientes con diagnóstico histológico previo de LPP y LED.<sup>24</sup>

En particular para casos de LED el proceso diagnóstico puede ser difícil, por lo que el uso de MCR es prometedor. Un estudio observacional de 12 pacientes con LED encontró que la dermatitis de interfase y la dilatación infundibular fueron las características que presentaron mayor nivel de concordancia con la histopatología.<sup>25</sup> A su vez, el análisis confocal asociado a tres hallazgos tricoscópicos logró mejorar concordancia con la histopatología.

También hay reportes en morfea y foliculitis decalvante (FD). En una paciente con diagnóstico de morfea en golpe de sable la MCR mostró marcadas áreas hiperreflectantes con atrofia severa de glándulas ecrinas, desaparición de glándulas sebáceas y algunos folículos de pequeño tamaño<sup>26</sup>, contribuyendo en el diagnóstico de etapas tempranas (con predominio de infiltrado linfocítico) y tardías (con esclerosis más prominentes). En relación a FD, la MCR en 14 pacientes con FD identificó estructuras tubulares altamente reflectantes, estructuras brillantes redondas u ovaladas rodeadas de un borde regular e hiperqueratosis interfolicular, correspondientes en tricoscopia con pelos en penacho, pústulas y escamas/costras, respectivamente.<sup>27,28</sup>

#### Tomografía de coherencia óptica

La tomografía de coherencia óptica (TCO) es una técnica de imagen que emplea luz de banda ancha en el infrarrojo cercano para detectar fotones retrodispersados a diferentes profundidades y con ello crear cortes transversales de alta resolución. Su uso se ha extendido en dermatología ya que permite visualizar cambios celulares y morfológicos hasta 2-3 mm de profundidad.<sup>29</sup> En tricología se ha incorporado recientemente como herramienta diagnóstica, mostrando el cuero cabelludo como una superficie brillante y los tallos pilosos como lúmenes oscuros y huecos dentro de los cuales hay anillos brillantes y reflectantes.<sup>4</sup> Su ventaja es la alta resolución similar a la EUAF y su principal limitación es la baja penetración ya que no permite observar el tejido celular subcutáneo completo.

#### Alopecias no cicatriciales

Para determinar morfología y vitalidad del pelo con TCO, se utilizan dos parámetros que permiten realizar comparaciones y análisis en los estudios: sección transversal (ST) y factor de forma (FF), éste último determinado por la relación de los diámetros máximo y mínimo del cabello. La variación en

la ST en voluntarios sanos ha reportado ser  $<3\%$ , mientras que el FF correspondiente varía en  $\leq 4\%$ <sup>30</sup> y se ha observado que empeoran en pacientes en tratamiento con quimioterapia<sup>31</sup> y con AA.<sup>32</sup>

El examen de 20 pelos de zonas frontal y occipital, ex vivo, en mujeres con cáncer de mama que recibieron tamoxifeno (17) versus quimioterapia (17) mostró que el diámetro medio después de quimioterapia fue 15% más bajo y la ST fue significativamente menor comparado con los pelos obtenidos antes del tratamiento; el FF no varió para el área frontal, pero sí para el área occipital. En las pacientes tratadas con tamoxifeno no se observaron cambios en ST ni en FF.

García Bartels et al<sup>32</sup> publicaron cambios morfológicos detectados con TCO en 9 pacientes con AA. La ST en los parches alopécicos fue significativamente menor en comparación con las áreas no afectadas, sin embargo, el FF no mostró diferencias significativas. Estos resultados sugieren que las anomalías estructurales de los tallos se encuentran sólo en lesiones activas de AA. Otra publicación monitorizó la evolución de 2 pacientes con AA en parches y uno con AA universal tratados con tres sesiones de plasma rico en plaquetas.<sup>33</sup> Encontraron aumento de la longitud y cantidad de folículos en AA en parches y ningún cambio significativo en el paciente con AA universal. Otro estudio publicado este año en AA detectó que 22 de 30 escaneos de la unión dermoepidérmica tenían más folículos en comparación con la superficie,<sup>34</sup> lo que sugiere presencia de pelos en crecimiento en AA que no son visibles en la superficie.

#### Alopecias cicatriciales

En una publicación reciente se propone un atlas de las características tomográficas obtenidas de la evaluación en 6 sujetos sanos, 12 con alopecia cicatricial y 14 con alopecia no cicatricial.<sup>35</sup> Destacan los hallazgos de aumento del grosor epidérmico y disminución del recuento de folículos en el grupo de alopecia cicatricial, comparado con los grupos de alopecia no cicatricial y control. Si bien se

analizan pocos pacientes, este estudio entrega un valioso conjunto de imágenes potencialmente útiles para el seguimiento y manejo de las alopecias, incluidas las cicatriciales (Tabla 4).

En AFF se ha empleado TCO para mostrar que el grosor epidérmico es mayor en la línea de implantación capilar y menor en la banda alopecica cicatricial.<sup>36</sup> Estos hallazgos se explican por la presencia de infiltrado inflamatorio y edema en zonas de actividad y de atrofia en las áreas cicatriciales, respectivamente. Además, a medida que las zonas inflamadas progresan a cicatriciales, el flujo vascular del plexo superficial disminuye progresivamente y el flujo más profundo aumenta, lo que ocurriría por obliteración de los vasos superficiales en etapa cicatricial con redistribución de flujo hacia los más profundos.

## CONCLUSIONES

Si bien el gold standard en la evaluación de las patologías del cabello es el análisis histológico, constituye una modalidad invasiva y no siempre representativa del proceso global. A su vez, la tricoscopia proporciona una imagen ampliada de la superficie, tallos pilosos y orificios foliculares, pero los folículos subyacentes son inaccesibles. Por lo tanto, estas nuevas herramientas diagnósticas no invasivas aportan mayor información y complementan los métodos tradicionales al evaluar estructuras más profundas e incluso permiten analizarlas durante y después de implementar un tratamiento. Sin embargo, existen aún varias dificultades para adoptar el uso de todas estas técnicas en tricología, tales como coste elevados, curva de aprendizaje para el dermatólogo, dificultad propia de la zona anatómica, estudios con número pequeño de pacientes y ausencia de comparación de las imágenes histopatológicas y tricoscópicas. Adicionalmente, se deben tener en cuenta las ventajas y limitaciones de cada técnica para poder aprovechar adecuadamente la información anatómica que provee cada modalidad.

## REFERENCIAS

1. D. Jasaitiene, S. Valiukeviciene, G. Linkeviciute, R. Raisutis, E. Jasiuniene, R. Kazys. Principles of high-frequency ultrasonography for investigation of skin pathology. *J Eur Acad Dermatol Venerol*, 25 (2011), pp. 375-382.
2. Wortsman X, Wortsman J, Matsuoka L, et al. Sonography in pathologies of scalp and hair. *Br J Radiol*. 2012;85:647-655.s.
3. Rudnicka L, Olszewska M, Rakowska A. In vivo reflectance confocal microscopy: usefulness for diagnosing hair diseases. *J Dermatol Case Rep*. 2008 Dec 27;2(4):55-9.

4. Yow AP, Lee WZ, Wong DWK, Tey HL. Subsurface detection of hair follicles in alopecia areata using optical coherence tomography. *Skin Res Technol.* 2022 Mar;28(2):379-381. 1
5. Wortsman X, Carreño L, Ferreira-Wortsman C, Poniachik R, Pizarro K, Morales C, Calderon P, Castro A. Ultrasound Characteristics of the Hair Follicles and Tracts, Sebaceous Glands, Montgomery Glands, Apocrine Glands, and Arrector Pili Muscles. *J Ultrasound Med.* 2019 Aug;38(8):1995-2004. Doi: 10.1002/jum.14888.
6. Wortsman X, Carreno L, Ferreira-Wortsman C, et al. Ultrasound characteristics of the hair follicles and tracts, sebaceous glands, montgomery glands, apocrine glands and arrector pili muscles. *J Ultrasound Med.* 2018;9999:1-10.
7. Mikiel D, Polańska A, Żaba R, Adamski Z, Dańczak-Pazdrowska A. High-frequency ultrasonography of the scalp - Comparison of ultrasound and trichoscopic images in healthy individuals. *Skin Res Technol.* 2021 Mar;27(2):201-207. doi: 10.1111/srt.12930. Epub 2020 Jul 20. 3
8. Kinoshita-Ise M, Ohyama M, Ramjist JM, Foster FS, Yang VXD, Sachdeva M, Sade S, Shear NH. Ultra high-frequency ultrasound with seventy-MHz transducer in hair disorders: Development of a novel noninvasive diagnostic methodology. *J Dermatol Sci.* 2021 Jun;102(3):167-176. doi:10.1016/j.jdermsci.2021.04.008. Epub 2021 May 2.
9. Wortsman X, Guerrero R, Wortsman J. Hair morphology in androgenetic alopecia: sonographic and electron microscopic studies. *J Ultrasound Med.* 2014 Jul;33(7):1265-72.
10. Mikiel D, Polańska A, Żaba R, Adamski Z, Dańczak-Pazdrowska A. Usefulness of high-frequency ultrasonography in the assessment of alopecia areata - comparison of ultrasound images with trichoscopic images. *Postepy Dermatol Alergol.* 2022 Feb;39(1):132-140.
11. Wortsman X, Roustan G, Martorell A. Color Doppler ultrasound of the scalp and hair. *Actas Dermosifiliogr.* 2015;106(Suppl 1):67-75.

12. Kaya İslamoğlu ZG, Uysal E. A preliminary study on ultrasound techniques applied to cicatricial alopecia. *Skin Res Technol.* 2019 Nov;25(6):810-814. doi: 10.1111/srt.12725. Epub 2019 May 29.
13. Mikiel D, Polańska A, Żaba R, Adamski Z, Dańczak-Pazdrowska A. Suitability of high-frequency ultrasonography (20 MHz) in evaluation of various forms of primary cicatricial alopecia in relation to trichoscopy - pilot study. *Skin Res Technol.* 2021 Sep;27(5):774-784.
14. Porriño-Bustamante ML, Fernández-Pugnaire MA, Castellote-Caballero L, Arias-Santiago S. Colour Doppler ultrasound study in patients with frontal fibrosing alopecia. *Skin Res Technol.* 2021 Sep;27(5):709-714. doi: 10.1111/srt.13004. Epub 2021 Jan 17. PMID: 33455050.
15. Cataldo-Cerda K, Wortsman X. Dissecting Cellulitis of the Scalp Early Diagnosed by Color Doppler Ultrasound. *Int J Trichology.* 2017 Oct-Dec;9(4):147-148. doi: 10.4103/ijt.ijt\_2\_17.
16. Rajadhyaksha M., González S., Zavislan J.M., Anderson R.R. et ál. In vivo confocal scanning laser microscopy of human skin II: Advances in instrumentation comparison with histology, *J. Invest. Dermatol.*, 1999, 113: 293-230.
17. Ulrich M, Lange-Asschenfeldt S. In vivo confocal microscopy in dermatology: from research to clinical application. *J Biomed Opt* 2013;18(6):061212.
18. Ardigò M, Agozzino M, Franceschini C, Donadio C, Abraham LS, Barbieri L, Sperduti I, Berardesca E, González S. Reflectance confocal microscopy for scarring and non-scarring alopecia real-time assessment. *Arch Dermatol Res.* 2016 Jul;308(5):309-18.
19. Cinotti E, Perrot JL, Labeille B, et al. Hair dermatophytosis diagnosed by reflectance confocal microscopy: six cases. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2015; 29: 2257–2259



20. Veasey JV, Meneses OMS, da Silva FO. Reflectance confocal microscopy of tinea capitis: comparing images with results of dermoscopy and mycological exams. *Int J Dermatol*. 2019 Jul;58(7):849-851.
21. Franceschini C, Garelli V, Persechino F, Sperduti I, Caro G, Rossi A, Ardigo M. Dermoscopy and confocal microscopy for different chemotherapy-induced alopecia (CIA) phases characterization: Preliminary study. *Skin Res Technol*. 2020 Mar;26(2):269-276.
22. Ardigo M, Agozzino M, Franceschini C, Lacarrubba F. Reflectance Confocal Microscopy Algorithms for Inflammatory and Hair Diseases. *Dermatol Clin*. 2016 Oct;34(4):487-496.
23. Kurzeja M, Czuwara J, Walecka I, Olszewska M, Rudnicka L. Features of classic lichen planopilaris and frontal fibrosing alopecia in reflectance confocal microscopy: A preliminary study. *Skin Res Technol*. 2021 Mar;27(2):266-271.
24. Agozzino M, Tosti A, Barbieri L, Moscarella E, Cota C, Berardesca E, Ardigo M. Confocal microscopic features of scarring alopecia: preliminary report. *Br J Dermatol*. 2011 Sep;165(3):534-40.
25. Melo DF, De Carvalho N, Ardigo M, Pellacani G, Mota ANCM, Barreto TM, Jorge Machado C, Pineiro-Maceira JM, Barcaui CB. Concordance among in vivo reflectance confocal microscopy, trichoscopy, and histopathology in the evaluation of scalp discoid lupus. *Skin Res Technol*. 2020 Sep;26(5):675-682.
26. Mazzilli S, Vollono L, Cosio T, Donati M, Piccolo A, Di Raimondo C, Campione E, Bianchi L. Reflectance Confocal Microscopy Applied to Linear (en Coup de Sabre) Morphea. *Skin Appendage Disord*. 2020 Jun;6(3):171-174.
27. Mazzilli S, Vollono L, Tassone F, Cappilli S, Peris K, Bianchi L. Reflectance Confocal Microscopy Applied to Folliculitis Decalvans: Preliminary Results of a Multicenter Study. *Skin Appendage Disord*. 2020 Jul;6(4):202-206.

28. Peccerillo F, Mandel VD, Greco M, Ciardo S, Pellacani G. A headstrong case of folliculitis decalvans: Treatment options and evaluation with dermoscopy, reflectance confocal microscopy and optical coherence tomography. *Dermatol Ther.* 2020 Nov;33(6):e14049.
29. Gambichler T, Jaedicke V, Terras S. Optical coherence tomography in dermatology: technical and clinical aspects. *Arch Dermatol Res.* 2011;303(7):457–73.
30. Lademann J, Shevtsova J, Patzelt A, Richter H, Gladkova ND, Gelikonov VM, Gonchukov SA, Sterry W, Sergeev AM, Blume-Peytavi U. Optical coherent tomography for in vivo determination of changes in hair cross section and diameter during treatment with glucocorticosteroids--a simple method to screen for doping substances? *Skin Pharmacol Physiol.* 2008;21(6):312-7.
31. Lindner J, Hillmann K, Blume-Peytavi U, Lademann J, Lux A, Stroux A, Schneider A, Garcia Bartels N. Hair shaft abnormalities after chemotherapy and tamoxifen therapy in patients with breast cancer evaluated by optical coherence tomography. *Br J Dermatol.* 2012 Dec;167(6):1272-8.
32. Garcia Bartels N, Jahnke I, Patzelt A, Richter H, Lademann J, Blume-Peytavi U. Hair shaft abnormalities in alopecia areata evaluated by optical coherence tomography. *Skin Res Technol.* 2011 May;17(2):201-5.
33. Ekelem C, Juhasz M, Yu J, Hosking AM, Csuka E, Choi F, Pham CT, Heidari AE, Valdebran M, Rapaport JA, Chen Z, Mesinkovska NA. Monitoring Response to Platelet-Rich Plasma in Patients with Alopecia Areata with Optical Coherence Tomography: A Case Series. *J Investig Dermatol Symp Proc.* 2020 Nov;20(1):S50-S54.
34. Yow AP, Lee WZ, Wong DWK, Tey HL. Subsurface detection of hair follicles in alopecia areata using optical coherence tomography. *Skin Res Technol.* 2022 Mar;28(2):379-381.

35. Ekelem C, Feil N, Csuka E, Juhasz M, Lin J, Choi F, Asghari A, Heydarlou D, Mesinkovska NA. Optical Coherence Tomography in the Evaluation of the Scalp and Hair: Common Features and Clinical Utility. *Lasers Surg Med*. 2021 Jan;53(1):129-140.
36. Vazquez-Herrera NE, Eber AE, Martinez-Velasco MA, Perper M, Cervantes J, Verne SH, Magno RJ, Nouri K, Tosti A. Optical coherence tomography for the investigation of frontal fibrosing alopecia. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2018 Feb;32(2):318-322.

Journal Pre-proof

## FIGURAS

Figura 1. Ecografía Alopecia Androgénica (70 MHz). A. Normal. Folículos de morfología dentro de rangos normales en la región temporal lateral. B. Miniaturización folicular y leve ensanchamiento de los folículos pilosos en región frontal.

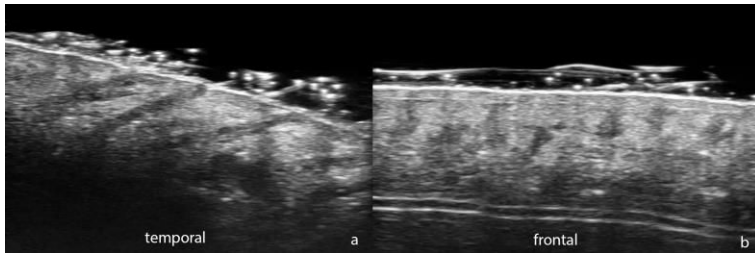


Figura 2. Ecografía alopecia frontal fibrosante. A. Perdida de folículos pilosos (\*) y de tejido adiposo subcutáneo. Perdida de la definición del límite dermo-hipodérmico (flecha oblicua), aumento de ecogenicidad subcutánea (o) y estructuras laminillares prominentes subcutáneas (flecha horizontal). B. Doppler color de la misma región demuestra aumento de la vascularización dérmica.

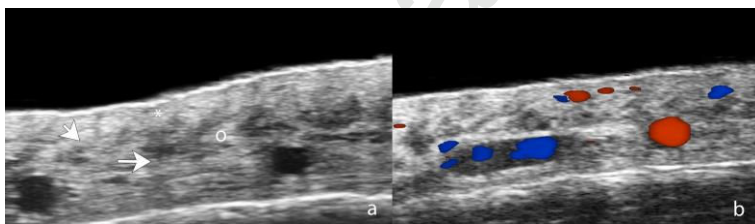


Figura 3. A. Placa eritematodescamativa en vértex. B. Dermatoscopia: se observa eritema difuso, tapones foliculares así como vasos arboriformes finos. C. MCR a nivel epidérmico: se observa tapón folicular (\*) y células de morfología dendrítica de distribución peri e interfolicular (→). D. MCR a

nivel de la UDE: se observa infiltrado inflamatorio conformado por células de morfología redonda

(→) así como vasos dilatados (o)

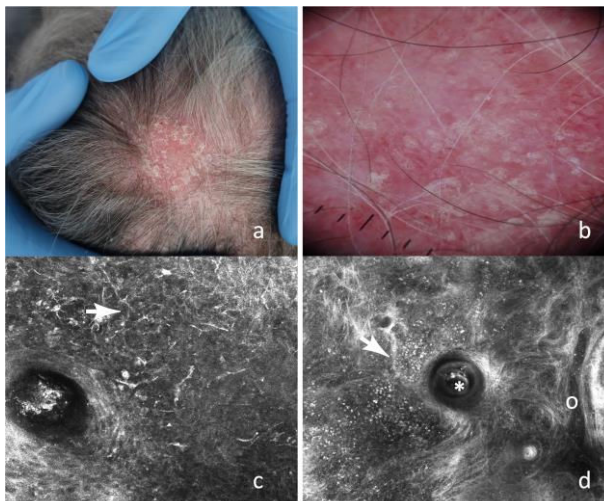


Figura 4. A. Placa alopécica cicatricial en área interparietal. B. Tricoscopia: eritema, hiperqueratosis perifolicular y tufting folicular. C. MCR: hiperqueratosis infundibular con material blanquecino que rellena el infundíbulo del folículo piloso y rodea el tallo piloso D. A nivel dérmico se observa un aumento del número de fibras dérmicas, mal definidas y gruesas.



## TABLAS

Tabla 1. Hallazgos ecográficos de estructuras foliculares (EF) comparadas con tricoscopia en cada grupo estudiado.

Grupo	Hallazgos ecográficos	Hallazgos tricoscópicos
AA fase activa	En forma de gota Zonas distales en dermis inferior	Puntos negros Pelos en signo de exclamación Pelos rotos Puntos amarillos
AA fase inactiva	Sin forma distintiva, disminución del número Zonas distales más anchas y en dermis inferior	Puntos amarillos Pelos vellosos
AA fase recrecimiento	Diversidad en el ancho Zonas distales en diferentes niveles de la piel, también penetran en capa subdérmica	Pelos verticales en recrecimiento Pelos en cola de cerdo Pelos vellosos Pelos terminales con o sin pigmento
AGA	Diversidad en el tamaño y mas anchos Zonas distales en diferentes niveles de la dermis Tallos pilosos bilaminares	Puntos amarillos Pelos vellosos Diversidad ancho tallos pilosos Mayor número de unidades foliculares con tallo único
DS	Zonas distales más anchas y penetran en capas subdérmicas	Áreas amarillentas Escamas blancas y amarillas Vasos arborizantes finos
Control (individuos sanos)	Bandas oblicuas elongadas, que penetran en capa subdérmica	Unidades foliculares regulares con 2 a 3 tallos

AA = alopecia areata; AGA = alopecia androgénica; DS = dermatitis seborreica

Tabla 2. Características ecográficas de estructuras foliculares y hallazgos tricoscópicos en alopecias cicatriciales.

Grupo	Hallazgos ecográficos	Hallazgos tricoscópicos
LPP fase activa	Estructuras foliculares en forma de cigarro	Descamación perifolicular Vasos elongados lineales
LPP fase inactiva	Disminución de estructuras foliculares Borde dérmico/subdérmico en forma de sierra	Ausencia de aperturas foliculares Puntos blancos Áreas blanco-lechosas desestructuradas
AFF fase activa	Estructuras foliculares en forma de cigarro	Eritema y descamación perifolicular Vasos arborizantes
AFF fase inactiva	Estructuras foliculares únicas Borde dérmico/subdérmico en forma de sierra	Ausencia de aperturas foliculares Signo del pelo solitario Áreas blancas desestructuradas
LED fase activa	Duplicación focal de ecos de entrada Estructuras foliculares más anchas Bandas hipoecogénicas desestructuradas en dermis	Puntos amarillos grandes Vasos arborizantes gruesos Puntos rojos
LED fase inactiva	Disminución de estructuras foliculares Sin patrón específico Borde dérmico/subdérmico borroso	Áreas blancas desestructuradas Vasos arborizantes delgados

LPP = liquen plano pilaris; AFF = alopecia fibrosante frontal; LED = lupus eritematoso discoide

Tabla 3. Hallazgos en MCR distintivos asociados a diagnóstico de alopecia y su respectiva histopatología.

Grupo	Hallazgos en MCR	Correspondencia con histopatología
Alopecia no cicatricial	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Papila dérmica bien delimitada</li> <li>2.Miniaturización de tallos pilosos</li> <li>3.Queratinización folicular</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Unión dermoepidérmica íntegra y pigmentada</li> <li>2.Miniaturización folicular</li> <li>3.Material queratósico en los ostium foliculares</li> </ol>
Alopecia cicatricial	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Infiltración inflamatoria en epidermis, perianexial y dermis superior</li> <li>2.Degeneración de fibras dérmicas y perianexiales</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Infiltración de células inflamatorias en epidermis, estructuras anexiales y dermis superior</li> <li>2. Fibras de colágeno con esclerosis difusa en dermis y localizada alrededor de estructuras anexiales</li> </ol>



Tabla 4. Principales hallazgos con TCO en los grupos estudiados.

Grupo	Características tomográfica
Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estructuras tubulares cilíndricas largas con absorción uniforme de la luz que proyecta sombras bien formadas</li> <li>-Todos los pelos tienen un diámetro similar</li> <li>-La unión dermoepidérmica se identifica fácilmente</li> </ul>
Alopecia no cicatricial	<ul style="list-style-type: none"> <li>-AGA: muchos pelos vellosos, la unión dermoepidérmica se identifica fácilmente y epidermis sin alteraciones</li> <li>-AA parcheada: aperturas foliculares con pelos terminales y algunos vellosos, la unión dermoepidérmica es fácilmente visible y el grosor de la epidermis es menor</li> <li>-AA universal: aperturas foliculares sin pelos, la superficie del cuero cabelludo es reflectante, pero la unión dermoepidérmica es fácilmente identificable y el grosor epidérmico es menor.</li> </ul>
Alopecia cicatricial	<ul style="list-style-type: none"> <li>-AFF: muchos pelos individuales, ningún pelo veloso y grandes áreas sin aperturas foliculares. La unión dermoepidérmica está claramente delimitada y epidermis engrosada.</li> <li>-LPP: grandes áreas de fibrosis, muchos pelos terminales solitarios, epidermis engrosada y unión dermoepidérmica disminuida.</li> </ul>