



U

P

T

Universidad Politécnica de Tulancingo

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO
EXPERIMENTAL DE SONDA DE FIBRAS ÓPTICAS
PARA ESTUDIO DEL PIE DIABÉTICO MEDIANTE
ESPECTROSCOPIA DE REFLEXIÓN DIFUSA.**

Tesis que presenta:

Luis Rodolfo Castelan Olvera.

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN COMPUTACIÓN ÓPTICA

Director de tesis:

Dr. José Alberto Delgado Atencio

Dra. Margarita Cunill Rodríguez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo

Septiembre 2020

©UPT 2020

Derechos reservados

El autor otorga a UPT el permiso de reproducir y distribuir
copias de este reporte en su totalidad o en partes.





U

P

T

Universidad Politécnica de Tulancingo

**DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN PROTOTIPO
EXPERIMENTAL DE SONDA DE FIBRAS ÓPTICAS
PARA ESTUDIO DEL PIE DIABÉTICO MEDIANTE
ESPECTROSCOPIA DE REFLEXIÓN DIFUSA.**

Tesis que presenta:

Luis Rodolfo Castelan Olvera.

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN COMPUTACIÓN ÓPTICA

Director de tesis:

Dr. José Alberto Delgado Atencio

Dra. Margarita Cunill Rodríguez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo

Septiembre 2020

©UPT 2020

Derechos reservados

El autor otorga a UPT el permiso de reproducir y distribuir
copias de este reporte en su totalidad o en partes.



Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis padres, hermanos y mi abuelo Rodolfo por todo el apoyo brindado y ser un respaldo con el que siempre supe que podría contar, así como darme el impulso necesario para concluir este trabajo y alentarme a continuar en los momentos más difíciles.

A mi esposa Lucia por creer siempre en mí y ser completamente incondicional en todo momento, por siempre darme mil razones para no desistir de mis proyectos, ideas y sueños. Por demostrarme que todo es posible si se trabaja por ello.

A mis amigos por darme momentos necesarios de motivación e inspiración, por hacerme apreciar lo logrado y buscar constantemente ser mejor persona.

A mis profesores y asesores por todo el trabajo que fue la base de este proyecto y a los cuales debo mi formación académica.

Gracias a todos.

Agradecimientos

Al rector, el Dr. Arturo Gil Borja y a la Universidad Politécnica de Tulancingo por todas las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto de Tesis de Maestría

Al Laboratorio de Óptica Biomédica por permitirme formar parte de su grupo de trabajo y darme todo su apoyo académico y moral.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por el apoyo económico a través de su beca nacional, sin el cual no me habría sido posible estudiar la maestría.

A mis asesores, el Dr. José Alberto Delgado Atencio y la Dra. Margarita Cunill Rodríguez por haber dirigido el presente proyecto de tesis.

A la Dra. Nadia López Flores y la Mtra. Claudia Olvera García del Hospital General de Tulancingo por su valiosa contribución a este proyecto.

Resumen

El pie diabético es una condición médica provocada por la Diabetes Mellitus, en la cual se pierde sensibilidad en las extremidades inferiores debido a la neuropatía sensitiva causada por dicha enfermedad. Esto conlleva a una distribución de presión anormal sobre la planta del pie y disminución de flujo sanguíneo, lo que da lugar a la aparición de úlceras que pasan desapercibidas. Esta situación desemboca en consecuencias más graves para el paciente, como una morbilidad considerable y un elevado riesgo de amputación de la extremidad, incluso al fallecimiento del mismo.

Hasta el momento, dichas úlceras son detectadas por el personal médico mediante inspección visual, como parte de la revisión periódica a la cual debe ser sometida la población diabética. Sin embargo, el proceso de ulceración se compone de varias etapas y esta inspección visual es útil para el hallazgo de tejido ulcerado cuando este ya se encuentra en un estado avanzado, en el que ya no existe una gran probabilidad de preservar el pie y evitar complicaciones; esto se debe a que la ulceración comienza en capas más profundas del tejido, donde no es posible percatarse de ello a simple vista.

El presente trabajo de tesis plantea las bases del desarrollo de un prototipo funcional de sonda de fibras ópticas, que en conjunto con un sistema espectrométrico compacto sea capaz de hallar anomalías en el interior de la planta del pie que alerte al personal médico de sitios específicos donde se esté formando una posible úlcera y permita tomar acciones preventivas para evitar su avance. Esto representaría un beneficio para el paciente al evitar consecuencias posteriores que afecten negativamente su calidad de vida.

Abstract

Diabetic foot is a medical condition caused by Diabetes Mellitus, in which sensitivity is lost in the lower extremities due to the sensory neuropathy caused by said disease. This leads to an abnormal pressure distribution on the sole of the foot and decreased blood flow, which leads to the appearance of ulcers that go unnoticed. This situation leads to more serious consequences for the patient, such as considerable morbidity and a high risk of limb amputation, even upon death.

So far, these ulcers are detected by medical personnel through visual inspection, as part of the periodic review to which the diabetic population must be subjected. However, the ulceration process is made up of several stages and this visual inspection is useful for the discovery of ulcerated tissue when it is already in an advanced state, in which there is no longer a great probability of preserving the foot and avoiding complications; This is because the ulceration begins in deeper layers of the tissue, where it cannot be seen with the naked eye.

The present thesis work raises the bases for the development of a functional prototype of a fiber optic probe, which together with a compact spectrometric system is capable of finding anomalies inside the sole of the foot that alerts medical personnel to specific sites where a possible ulcer is forming and allow preventive actions to avert its advance. This would represent a benefit for the patient by avoiding subsequent consequences that negatively affect their quality of life.

Contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Aspectos Generales.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Aspectos Fisiológicos del Pie Diabético.....	4
1.4.1 Estructura de la piel.....	4
1.4.2 Estructura y Composición de los Vasos Sanguíneos.....	8
1.4.3 Vida de las Células Sanguíneas.....	12
1.4.4 Valores de Referencia de la Hemoglobina y Glucosa.....	13
1.4.5 Zonas de Presión del Pie Diabético.....	14
1.4.6 Parámetros Ópticos del Pie Diabético.....	15
1.5 Transporte de la Luz en el Pie Diabético.....	19
1.5.1 Espectroscopía de Reflexión Difusa: Problema Directo.....	19
1.5.2 Espectroscopía de Reflexión Difusa: Problema Inverso.....	28
1.6 Objetivos.....	32
1.7 Solución del Problema.....	32
1.8 Referencias.....	33
2. Desinfección de la Sonda de Fibras Ópticas.....	39
2.1 Introducción.....	39
2.2 Antecedentes.....	40
2.3 Desinfectante Alkacide.....	43
2.3.1 Entrevista Cara a Cara con especialista de la UPT.....	45
2.3.2 Entrevista Cara a Cara con especialista del HGT.....	47
2.3.3 Determinación del Espectro de Absorbancia.....	49
2.3.3.1 Materiales y Métodos.....	50
2.3.3.2 Resultados.....	52
2.3.3.3 Discusión.....	54
2.4 Referencias.....	55
3. Influencia del Material de la Sonda de Fibras Ópticas en los Espectros de Reflexión Difusa.....	57
3.1 Prototipo de Sonda de Fibras Ópticas.....	57
3.1.1 Introducción.....	
3.1.2 Materiales y Métodos.....	57
3.1.3 Mecanismo de Funcionamiento.....	62
3.2 Estudio de la Influencia de la Frontera en los Espectros de Reflexión Difusa.....	63
3.2.1 Introducción.....	
3.2.2 Materiales y Métodos.....	64
3.2.3 Resultados.....	67
3.2.4 Discusión.....	69
3.3 Estudio de la Influencia del Material de la Sonda en los ERD's.....	70
3.3.1 Introducción.....	70
3.3.2 Materiales y Métodos.....	74

3.3.3	Resultados.....	75
3.3.4	Discusión/Conclusión.....	79
3.4	Toma de Espectros a Muestra de Abrasión Cutánea de un Voluntario.....	81
3.4.1	Introducción.....	81
3.4.2	Materiales y Métodos.....	83
3.4.2.1	Adquisición de Espectros.....	83
3.4.3	Resultados y Discusión.....	85
3.5	Estancia de investigación en la Universidad de Cantabria	85
3.6	Referencias.....	87
4.	Acciones Para la Prevención del Pie Diabético.....	95
4.1	Introducción.....	95
4.2	Materiales y Métodos.....	97
4.2.1	Revisión de Campañas Preventivas.....	97
4.2.1.1	Campañas Nacionales.....	98
4.2.1.2	Campañas Internacionales.....	103
4.2.2	Diseño de la Página Web BioSpectroscopy.....	107
4.3	Resultados.....	109
4.4	Discusión.....	115
4.5	Conclusiones.....	116
4.6	Referencias.....	117
5.	Conclusiones Generales.....	122
5.1	Discusión.....	124

Índice de tablas

Tabla 1.1 Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores.....	12
Tabla 1.2 Grosos de la piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores.....	20
Tabla 1.3 Contenido de agua en la piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores.....	22
Tabla 1.4 Parámetros fisiológicos hallados por investigadores especialistas en el pie diabético.....	30
Tabla 2.1 Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores	40
Tabla 2.2 Trabajos previos de ERD sobre pie diabético y sus métodos de desinfección/protección.....	42
Tabla 2.3 Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores	44
Tabla 2.4 Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores	48
Tabla 3.1. a) Espectros de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos obtenidos para cada voluntario.....	69
Tabla 3.2. a) Espectros promedio de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos para los valores promedio de cada voluntario	71
Tabla 3.3. a) Espectros de reflexión difusa tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros.....	77
Tabla 3.4. a) Espectros de reflexión difusa Promedio tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD Promedio obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros	79
Tabla 4.1. Organización del contenido recopilado para la página web BioSpectroscopy. Cada fila corresponde a un conjunto de datos que cambiarán conforme el usuario se desplace en la galería. Las referencias aquí usadas se presentarán en la página web en forma de corchetes con el número correspondiente y el enlace será colocado en la parte inferior de la página.....	112

Índice de Figuras

Figura 1.1. Estratos que componen la epidermis humana. https://www.lifeder.com/estrato-espinoso/	6
Figura 1.2. Partes que conforman la dermis humana. https://mejorconsalud.com/fisiologia-de-la-piel/	7
Figura 1.3. Capas de los vasos sanguíneos. https://aminoapps.com/c/medicina_amino/page/blog/vasos-sanguineos-parte-1/3n16_3ptBu06DVeNL80r8bMRW5EdJjNVX1	9
Figura 1.4. Presiones promedio aplicadas sobre los pies. http://www.drjorgecastellini.com.ar/lab_estatico.html	15
Figura 1.5. Coeficiente de absorción (μa) a 830 nm para dos heridas que mostraron una regeneración baja o nula durante el estudio [24]	16
Figura 1.6. Coeficiente de absorción (μa) a 830 nm para dos heridas que presentaron regeneración durante el estudio [24]	17
Figura 1.7. Espectros de reflectancia promedio de varias partes de la planta de pies de seis voluntarios en el rango de 400-800 nm [25]	18
Figura 1.8. Reflectancia difusa en dependencia de la distancia según el modelo de Farrell [46]	26
Figura 1.9. Representación visual del planteamiento de la teoría de la difusión de Farrell. Imagen generada por el autor de la tesis	27
Figura 2.1. Presentación comercial de Alkacide 1L con dosificador http://www.aminosumos.com/producto/alkacide-frasco-de-1-lt-con-dosificador/	43
Figura 2.2. Configuración típica para la obtención de la absorbancia de una muestra. Manual Ocean Optics SpectraSuite https://oceanoptics.com/support/technical-documents/	48
Figura 2.3. Arreglo experimental para la obtención de espectro de absorbancia	49
Figura 2.4. Espectro de absorbancia obtenido	49
Figura 2.5. Ajuste de parámetros de adquisición. Manual Ocean Optics SpectraSuite. https://oceanoptics.com/support/technical-documents/	50

Figura 2.6. Espectros de absorbancia de la solución Alkacide.....	51
Figura 2.7. Espectro promedio de absorbancia de Alkacide	51
Figura 3.1. Sonda de fibras ópticas de fabricación artesanal	59
Figura 3.2. Extremo unificado de la sonda de fibras ópticas	59
Figura 3.3. Extremo bifurcado de la sonda de fibras ópticas	60
Figura 3.4. Esquema de la sonda de fibras ópticas	60
Figura 3.5. Espectrómetro Ocean Optics USB2000+UV-VIS con conexión SMA 905. Ocean Optics (https://oceanoptics.com/product/usb2000uv-vis/)	62
Figura 3.6. Esquema de acople de fronteras de la sonda de fibras ópticas	63
Figura 3.7. Arreglo experimental para la toma de DRS	64
Figura 3.8. Espectrómetro USB 4000 y muestra de plastilina utilizada	65
Figura 3.9. Manos de los voluntarios medidos. El círculo denota el lugar de colocación de la sonda	65
Figura 3.10. Fuente de luz Newport LSM-T-S conectada al extremo de la sonda de fibra	66
Figura 3.11. Punta de sonda de fibras ópticas a) con las fronteras acopladas y b) con las fronteras desacopladas.....	67
Figura 3.12. Espectros de DRS obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas para la plastilina roja.....	68
Figura 3.13. Piel humana con abrasión cutánea	85
Figura 3.14. Arreglo experimental para la toma de espectros a voluntario	86
Figura 3.15. Mano del voluntario	87
Figura 3.16. Espectros de reflexión difusa obtenidos (Primer día)	88
Figura 3.17. Espectros de reflexión difusa obtenidos (Segundo día)	88
Figura 4.1. Diagrama estratégico del “programa de acción”. Se busca la implementación de acciones atendiendo al aumento en la demanda de las consultas médicas y la hospitalización	

posterior. El objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la población adulta a través de la prevención o retraso de la aparición de diabetes	100
Figura 4.2. Información estadística proporcionada en el Modelo Preventivo IMSS 2017 mostrada a la población	103
Figura 4.3. Imagen que formó parte de la divulgación de la campaña “Fue la obesidad, después la diabetes...” [22]	104
Figura 4.4. Infografía producida como parte de la campaña “Familia y Diabetes” para fomentar la detección temprana [24].	107
Figura 4.5. Interfaz inicial de la página web BioSpectroscopy, Desarrollada por la Mtra. Alejandra Cárdenas Rosales. [16].	109
Figura 4.6. Muestra de las fotografías correspondientes a lesiones diabéticas. Por proceder ético, las imágenes fueron modificadas y no se mostrarán en la tesis ni la página web	110
Figura 4.7. Esquema de la organización de los elementos incluidos en la página web BioSpectroscopy	111
Figura 4.8. (a,b) Interface de la página BioSpectroscopy con dos ejemplos de ilustraciones acompañadas de información en forma de texto	116

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos Generales

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1], la Diabetes Mellitus (DM) ocupa el primer lugar entre las enfermedades crónicas degenerativas al afectar a más de 200 millones de personas actualmente. Adicionalmente, la DM ocupa el tercer lugar entre las causas de mortalidad. El pie diabético es una secuela que afecta a pacientes que han padecido esta enfermedad a largo plazo, es un síndrome complejo que engloba las alteraciones anatómicas y/o funcionales que ocurren en los pies de las personas con DM, como consecuencia de la propia enfermedad [2].

La principal causa del pie diabético es la neuropatía ocasionada por la hiperglucemia. La neuropatía conduce a la destrucción progresiva del sistema nervioso, por lo cual los pacientes a menudo no son conscientes del avance del padecimiento, ya que no sienten molestias. Por consecuencia, se produce una atrofia gradual en los músculos del pie ocasionando la pérdida de apoyo sobre el mismo, generando úlceras y deformidades [3]. Un 15% de las personas con DM experimentarán ulceración en una o ambas de sus extremidades inferiores a lo largo de su afección, por lo que la revisión médica de forma periódica es de suma relevancia para detectar la aparición de los primeros signos de ulceración y, por tanto, llevar a cabo su debido tratamiento.

El pie diabético, dada su evolución y complicaciones inherentes, por lo regular requiere de largos periodos terapéuticos; sin embargo, aún existen probabilidades de reulceración, lo que a menudo conlleva a la amputación de la extremidad. Esto representa un problema importante, puesto que un tercio de los diabéticos que sufren o han sufrido amputaciones mayores pierden la extremidad contralateral de forma posterior y un tercio de ellos suele fallecer dentro de los 12 meses siguientes [4].

El proyecto propone investigar la efectividad de la espectroscopía de reflexión difusa (ERD) en el desarrollo de algoritmos que sirvan de soporte al médico especialista en la emisión de un diagnóstico temprano y acertado de los primeros signos de ulceración en los pacientes diabéticos.

1.2 Planteamiento del Problema

Se ha observado una elevada frecuencia de más del 75% de los pacientes diabéticos con una disminución en la velocidad de conducción nerviosa, lo que favorece que ocurra una herida en el pie sin que el paciente se percate de ello [5]. Como fue mencionado anteriormente, el 15 % de pacientes con DM presentan signos y síntomas de ulceración, de los cuales del 7 al 20% requerirán posteriormente amputación.

Además del suministro periódico de insulina a pacientes diabéticos y su constante monitoreo del nivel glucémico en el torrente sanguíneo, existen varias medidas que deben tomarse buscando un control aceptable de la DM, como el uso de prendas

junto con calzado especial, el seguimiento de un plan de alimentación adecuada y la actividad física moderada. No obstante, aún existe cierta probabilidad de manifestación de neuropatía, lo que conduce a la ulceración en los pies, la cual no es detectada hasta la aparición de los primeros signos visibles, ya que actualmente no existe una manera de diagnosticarla antes de la generación de una úlcera. Esto representa una limitante a los métodos de diagnóstico tradicionales, puesto que, a pesar de ser un padecimiento común entre la población diabética, la localización de áreas del pie con probabilidad de exhibir indicios de ulceración aún constituye un reto.

Aunado a la problemática actual de diagnóstico, el tratamiento de las úlceras existentes tiene un costo muy elevado, con un promedio de \$1929 (USD) para úlceras grado 1 o 2 de Wagner, \$3980 para úlceras grado 3 y hasta \$15,792 en grado 5 [6].

1.3 Justificación

Existe una necesidad urgente de métodos no subjetivos que permitan la obtención de elementos diagnósticos significativos para la detección temprana o prevención de úlceras en el pie de pacientes con DM, más allá de la examinación visual o métodos tradicionales.

El estudio aquí propuesto persigue investigar la efectividad de la ERD para lograr satisfacer dicha necesidad y eliminar las limitantes presentes hasta el momento. Su

viabilidad está fundamentada por características como el corto tiempo de análisis, el alto índice de sensibilidad y especificidad esperado además del hecho de ser un método no invasivo, por lo que no se requiere de ningún procedimiento de extracción de tejido y su aplicación no representa molestia alguna a los pacientes.

También, se pretende que la implementación futura del proyecto sea una herramienta auxiliar de diagnóstico que pueda complementar a otros estudios patológicos mediante la toma y análisis de Espectros de Reflexión Difusa, que serán interpretados de forma posterior para detectar indicios de ulceración en el tejido. Dicha herramienta se desarrollará en el marco de este proyecto de tesis de maestría.

Cabe mencionar que los métodos derivados de esta tesis son versátiles y se pueden transferir con facilidad relativa a otras patologías y especialidades médicas como lesiones de la piel, retinopatía y cáncer de piel, entre otras.

1.4 Aspectos Fisiológicos del Pie Diabético

1.4.1 Estructura de la Piel

Epidermis

La epidermis está conformada principalmente por queratinocitos, seguidos de los melanocitos (su función es proveer de pigmentación y proteger de los rayos UV), células de Langerhans y linfocitos; estos últimos contribuyen al sistema inmune. La epidermis se encuentra en un constante proceso de renovación, por lo que su

tamaño se mantiene constante a pesar de su crecimiento. Las células formadas en el estrato germinativo emigran de forma progresiva hacia la superficie, donde se desprenden. Este proceso tiene una duración de cuatro semanas [7]. Según Lee [8], el grosor de la dermis oscila entre 31 y 637 μm .

Estratos

El estrato germinativo o capa basal contiene queratinocitos y melanocitos, formando una capa única.

El estrato espinoso contiene una cantidad mayor de tonofibrillas que las del estrato germinativo. Asimismo, contiene citosol, células con prolongaciones espinosas, razón por la cual recibe ese nombre.

El estrato granuloso es una capa aplanada compuesta de 3 a 5 capas que contiene células de citosol y gránulos de queratohialina, sustancia precursora de la queratina. Los queratinocitos mueren al llegar a este estrato.

El estrato lúcido posee características eosinófilas en parte de ella, donde los núcleos de los queratinocitos desaparecen por completo.

El estrato córneo se compone de células córneas, que son queratinizadas y anucleadas, llamadas corneocitos. Todos los días se desprenden capas de estas células. Tiene un grosor de 6 – 19 μm , dependiendo la zona, como lo muestra la Fig. 1.1 [9].

El estrato disyunto es simplemente la descamación de los corneocitos [10].

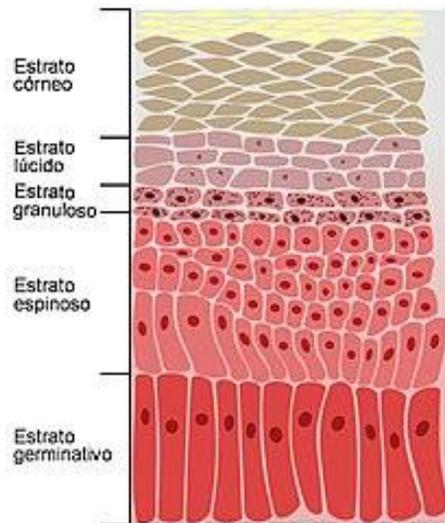


Figura 1.1. Estratos que componen la epidermis humana.
<https://www.lifeder.com/estrato-espinoso/>

Dermis

La dermis se caracteriza por su abundancia en fibras de colágeno y elastina dispuestas de forma paralela, lo que le da a la piel su consistencia. Su grosor total va de 469 a 1,942 μm [8] e histológicamente se divide en 2 capas, mostrada por la Fig. 1.2.

El estrato papilar es el más superficial y se forma por tejido conectivo laxo y fibras de colágeno tipo III. Representa el 20% del espesor de la dermis.

El estrato reticular está formado por tejido conectivo denso, fibras de colágeno tipo I y fibras elásticas. Contiene mastocitos, reticulocitos y macrófagos. Representa el 80% del espesor de la dermis.

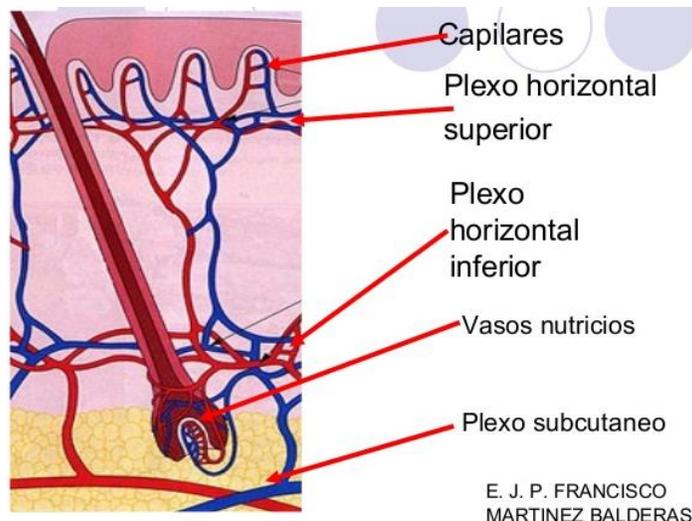


Figura 1.2. Partes que conforman la dermis humana.

<https://mejorconsalud.com/fisiologia-de-la-piel/>

La dermis contiene a los anexos cutáneos, tanto córneos (vello y uñas) como glandulares (glándulas sebáceas y sudoríparas). Asimismo, contiene otras estructuras, como el folículo piloso, músculos piloerectores, terminaciones nerviosas y vasos sanguíneos y linfáticos [11,12].

Hipodermis

Se encuentra debajo de la dermis y se compone de tejido conjuntivo laxo que contiene adipocitos que almacenan grasa. Algunas estructuras encontradas en la hipodermis son vasos linfáticos y sanguíneos, así como nervios y ligamentos cutáneos [12].

1.4.2 Estructura y Composición de los Vasos Sanguíneos

Existen dos tipos de vasos sanguíneos: Las arterias y las venas. Las paredes de los vasos sanguíneos poseen una elasticidad considerable y están formadas por tres capas: La capa adventicia, media e íntima, ilustradas en la [Fig. 1.3](#).

La túnica íntima es la capa interna del vaso sanguíneo y permite interacciones químicas entre la sangre y la pared vascular. Su composición principal se forma de células planas (capa endotelial), situadas sobre una lámina basal, y tejido conectivo, formado por fibras colágenas y redes elásticas.

La túnica media regula el diámetro del vaso sanguíneo mediante contracciones musculares controladas. Esta capa se encuentra compuesta de células musculares lisas, así como de fibras colágenas y de elastina. La tensión provocada por el latido y la presión sanguínea es recibida esta capa, que se adapta según corresponda.

La túnica adventicia envuelve al vaso sanguíneo, formando una red de fibras colágenas, que a su vez forman parte de otras redes elásticas. Su estructura fija los vasos al entorno [\[13\]](#).

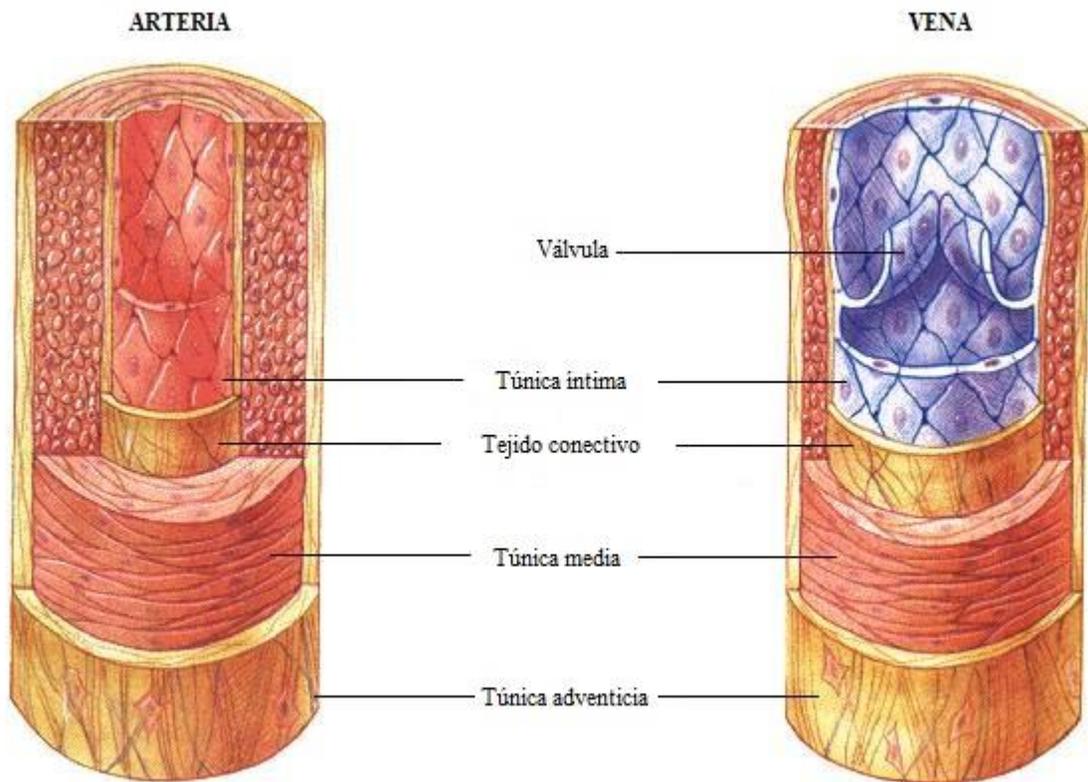


Figura 1.3. Capas de los vasos sanguíneos.

https://aminoapps.com/c/medicina_amino/page/blog/vasos-sanguineos-parte-1/3n16_3ptBu06DVeNL80r8bMRW5EdJjNVX1

Las arterias transportan la sangre a todo el organismo. Por lo general, las arterias llevan sangre oxigenada, con excepción de la pulmonar. Las arterias pequeñas se denominan arteriolas.

Dada su abundancia de fibras elásticas, las arterias suelen poseer alta distensibilidad, lo que significa que su pared tiene la propiedad de expandirse sin riesgo de desgarre en respuesta a incrementos menores de presión sanguínea [14]. Sus paredes se expanden cuando el corazón bombea la sangre, de allí que se origine la medida de la presión arterial como método diagnóstico para

la hipertensión, un factor de riesgo para el padecimiento de diversas cardiopatías valvulares e isquémicas, así como las enfermedades cerebrovasculares.

Las venas son vasos sanguíneos con un calibre mayor que las arterias. Desde los lechos capilares llevan la sangre con oxigenación escasa de vuelta al corazón. Las únicas que llevan sangre oxigenada al corazón son las venas pulmonares. Debido a la menor presión sanguínea del sistema venoso, las paredes de las venas poseen un grosor menor. Las venas de menor tamaño son llamadas vénulas [15].

Las venas están provistas de valvas dispuestas a forma de acceder el flujo de la sangre hacia el corazón, pero impedirlo en la dirección opuesta. Dichas valvas son pliegues de la túnica íntima con refuerzos centrales de tejido conectivo; asimismo hay fibras elásticas en la fisonomía de las valvas. Las válvulas venosas tienen varias funciones: Primero, contrarrestan la fuerza de la gravedad al impedir el flujo retrógrado, pero además ejerce otros efectos como ceder el "ordeño" de las venas cuando los músculos que circundan a éstas se contraen y actúan como bombas. Además, evitan que la fuerza de la contorsión muscular origine una presión retrógrada en los lechos capilares drenados por las venas.

Una de las condiciones médicas más características de la DM es la hiperglucemia; esta desencadena una serie de complicaciones, como cambios químicos y funcionales de las proteínas, alteración en la expresión de los genes y daño del endotelio, donde existe un desequilibrio en la producción de sustancias vasoactivas, como la disminución de vasodilatadores como el óxido nítrico, y el aumento de vasoconstrictores como la endotelina-1 (ET-1), así como un aumento en la

liberación de factores procoagulantes. Estas alteraciones en conjunto explican la mayor incidencia de aterosclerosis e hipertensión en pacientes diabéticos [16].

También existen cambios en las capas media e íntima de la pared del vaso, provocados por la formación de depósitos de lípidos, colesterol y calcio. Dichos depósitos suelen ser más extensos entre los pequeños vasos arteriales situados por debajo de la rodilla, donde la obstrucción de dichos vasos es capaz de desembocar en necrosis. Cabe mencionar que el progreso del daño a los vasos de mayor calibre es distinto a aquellos de menor tamaño. Un ejemplo de ello son los dedos de los pies, cuyos vasos sanguíneos son pequeños y presentan un daño más avanzado que aquellos que se encuentran próximos a ellos por lo que a pesar de la presencia de pulso pedio o tibial, el dedo del pie puede tener signos de insuficiencia vascular.

La fragmentación de la capa basal, la laminación del material homogéneo y la aparición de tejido conectivo en la periferia de los vasos son procesos responsables de los cambios en los vasos cutáneos. La hiperglucemia interfiere con la respuesta inmune humoral y celular y dificulta o impide el transporte de antitoxinas, citosinas y antibióticos [17].

Tabla 1.1 Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores.

Sustancias vasoactivas.

Moléculas que ensanchan (vasodilatación) o estrechan (vasoconstricción) los vasos sanguíneos. Por ejemplo, la angiotensina 2, la adrenalina, la noradrenalina, la fenilefrina, la PGF2 y la vasopresina serían agentes vasoconstrictores y la PGI2 (prostaciclina) y el óxido nítrico agentes vasodilatadores.

Wikipedia, <https://es.wikipedia.org/wiki/Vasoactivo>

Coagular

Del lat. coagulāre.

tr. Cuajar un líquido, especialmente la sangre. U. t. c. prnl.

RAE, <https://dle.rae.es/?id=9WMDA0f>

Aterosclerosis

Del gr. ἀθήρα athéra 'papilla' y σκλήρωσις sklērōsis 'endurecimiento'
f. Med. Endurecimiento de los vasos sanguíneos, en especial de ciertas arterias, por la formación de ateromas.

RAE, <https://dle.rae.es/?id=4DkpZVd>

Inmunidad humoral

Principal mecanismo de defensa contra los microorganismos extracelulares y sus toxinas, en el cual, los componentes del sistema inmunitario que atacan a los antígenos, no son las células directamente sino son macromoléculas, como anticuerpos o proteínas del sistema del complemento.

Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Inmunidad_humoral

Citocina (citoquina)

Del ingl. cytokine, y este de cyto- 'cito-' y la t. de lymphokine 'linfocina'.

f. Bioquím. Polipéptido responsable del crecimiento y la diferenciación de distintos tipos de células.

RAE, <https://dle.rae.es/?id=9NC7hxq>

Antitoxina

Una antitoxina es un anticuerpo formado en un organismo como respuesta a la presencia de una toxina bacteriana en su interior, a la cual puede neutralizar. Las personas que se han recuperado de enfermedades bacterianas desarrollan antitoxinas específicas que les proporcionan inmunidad contra la reincidencia del padecimiento.

Wikipedia, <https://es.wikipedia.org/wiki/Antitoxina>

1.4.3 Vida de las Células Sanguíneas

De acuerdo con el Memorial Sloan Kettering Cancer Center [18], el tiempo de vida de un glóbulo rojo es de aproximadamente de 120 días. En el caso de los glóbulos blancos, su intervalo de vida es amplio, variando de horas a años. Las plaquetas viven aproximadamente entre 9 y 12 días.

Los glóbulos rojos no son capaces de renovarse mediante la síntesis de nuevos componentes, ya que carecen de núcleo y orgánulos, por lo que su membrana se debilita progresivamente y es propensa a su ruptura durante la circulación. Los macrófagos son los encargados de retirar y destruir los eritrocitos degradados. Este proceso se conoce como fagocitosis.

Posteriormente, la hemoglobina es reutilizada y la porción de globina es separada en aminoácidos usados para la síntesis de proteínas. El grupo hemo es separado en hierro y bilirrubina. El hierro es llevado a la médula ósea, donde se emplea para la producción de hemoglobina. La bilirrubina se excreta en la bilis, donde es llevada desde el hígado hasta el intestino delgado, donde pasa al intestino grueso y se transforma en urobilinógeno.

La mayor parte del urobilinógeno se elimina en las heces en forma de estercobilina, que proporciona el color marrón a las heces. El resto es absorbido hacia la sangre, donde es transformado en urobilina y excretado en la orina [19].

1.4.4 Valores de Referencia de la Hemoglobina y Glucosa

De acuerdo a los trabajos de Domínguez [20] y Palomares [21], los valores de referencia para la hemoglobina glicosilada presentan niveles variables con base en la edad del paciente, así como si padece o no diabetes. Dichos valores fueron obtenidos mediante el método de cromatografía de afinidad, presentados a continuación.

- Adultos normales 2.2 a 4.8 %
- Niños normales 1.8 a 4.0 %
- Diabéticos controlados 2.5 a 5.9
- Diabéticos con control suficiente 6 a 8 %
- Diabéticos mal controlados Mayores del 8 %

En cuanto a la glucosa, los valores de referencia obtenidos por Yofre [22] fueron 0.74 a 1.07 g/L. Asimismo, los valores de referencia de la hemoglobina para el sexo femenino son de 11.70 a 15.17 g/dL, y para el sexo masculino de 13.09 a 17.19 g/dL, esto en pacientes mayores de 18 años de edad.

1.4.5 Zonas de Presión del Pie Diabético

El estrato córneo en la planta del pie tiene la función de responder a las demandas de fuerza, estrés y movimiento, cargando todo el peso corporal. La queratinización se incrementa en las áreas de mayor presión, como pueden verse en la Fig. 1.4, lo que da lugar a la formación de callosidades. Dichas formaciones tienden a fragmentarse y ulcerarse en pacientes de mediana edad, diabéticos o no.

En una investigación de la presión plantar para la detección de úlceras en pacientes con DM se midió el pico de presión normalizada del cuadro máximo de presión (CMP), la presión-tiempo integral (PTI) y la fuerza-tiempo (FTI) en cada uno de los pies. Los diabéticos con neuropatía periférica y úlceras presentaron un aumento en los niveles de CMP y PTI debajo de la cabeza del cuarto y quinto metatarsiano [23].

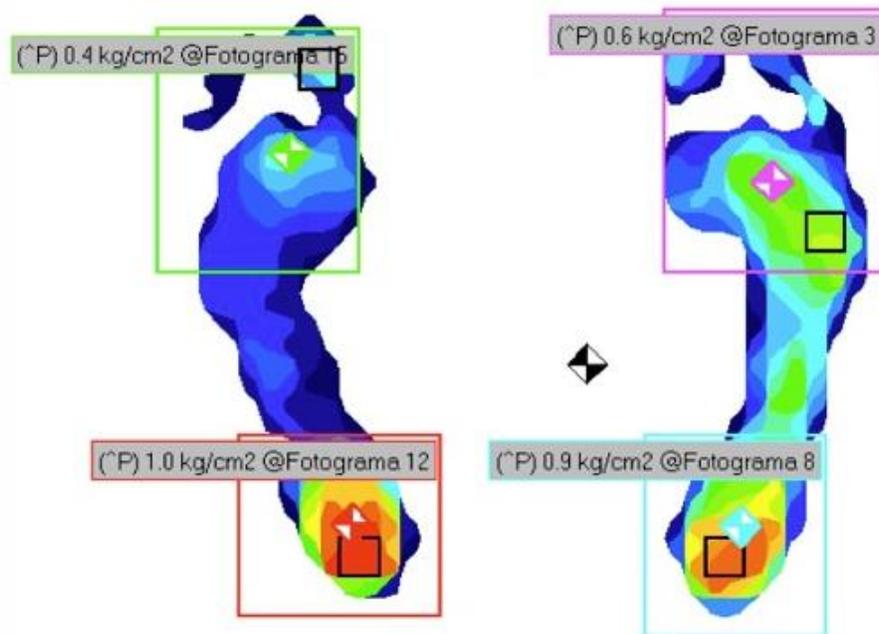
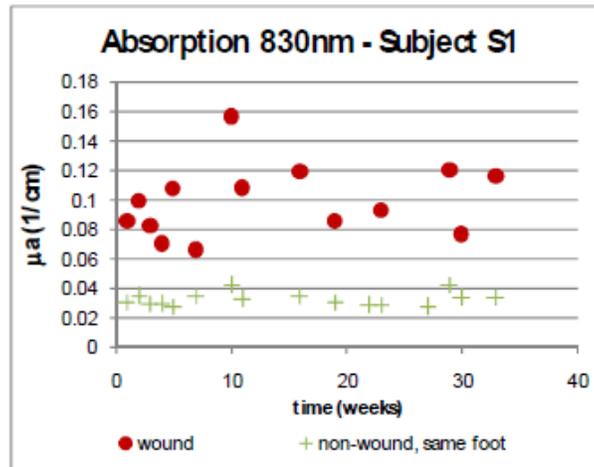


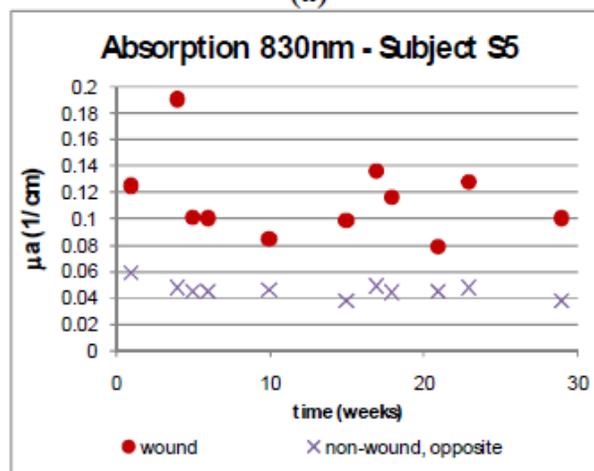
Figura 1.4. Presiones promedio aplicadas sobre los pies.
http://www.drjorgecastellini.com.ar/lab_estatico.html

1.4.6 Parámetros Ópticos del Pie Diabético

Papazoglou *et al.* [24] determinaron el coeficiente de absorción a 830 nm de la planta de pacientes diabéticos con úlceras que sanaron, así como aquellas que no presentaron regeneración mediante la espectroscopía de reflexión difusa en el rango del infrarrojo cercano (NIR). La Figura 1.5 muestra los resultados obtenidos para dos sujetos representativos con úlceras sin regenerar. Cabe mencionar que, en los casos de todos los demás pacientes con la misma condición, los resultados fueron similares. Se tomaron mediciones al centro de la lesión, así como en tejido sano del mismo pie y de la extremidad opuesta. Puede apreciarse que la absorción en los sitios sanos se mantuvo constante en el tiempo, mientras la correspondiente a las lesiones no muestra una tendencia predecible.



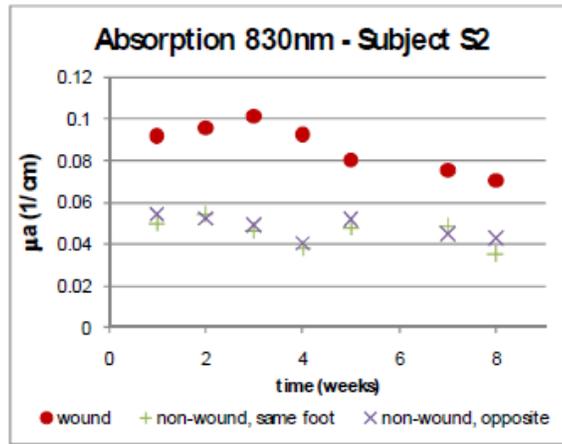
(a)



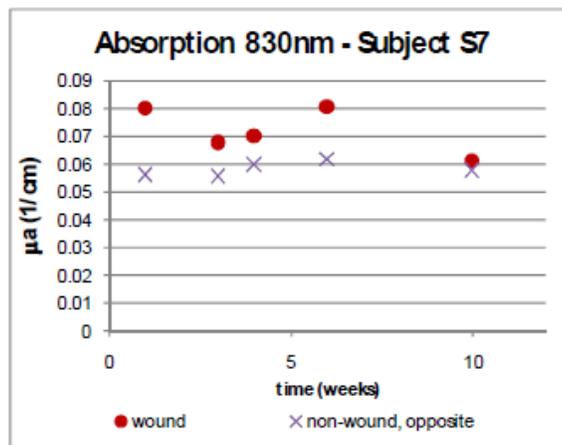
(b)

Figura 1.5. Coeficiente de absorción (μ_a) a 830 nm para dos heridas que mostraron una regeneración baja o nula durante el estudio [24].

Se realizó el mismo procedimiento de medición en pacientes con úlceras que presentaban una evolución favorable en el tiempo, donde puede verse una absorción constante en sitios no ulcerados, mientras que en las úlceras se establecía una tendencia dinámica, disminuyendo hasta acercarse al nivel del coeficiente de absorción del tejido sano. Además, se demostró que se pueden obtener datos estables, tanto de sitios no ulcerados en el mismo pie que presenta la lesión como en el pie opuesto, sin lesión, como lo muestra la Fig. 1.6.



(a)



(b)

Figura 1.6. Coeficiente de absorción (μ_a) a 830 nm para dos heridas que presentaron regeneración durante el estudio [24].

Mientras Anand *et al.* [25] implementaron la ERD en los pies de pacientes diabéticos, obteniendo espectros de distintos sitios, tal como lo muestra la Fig. 1.7. Obtuvieron la concentración de hemoglobina, así como saturación de oxígeno. Sin embargo, no menciona las propiedades ópticas (μ_a, μ_s') con las cuales fueron capaces de obtener la información.

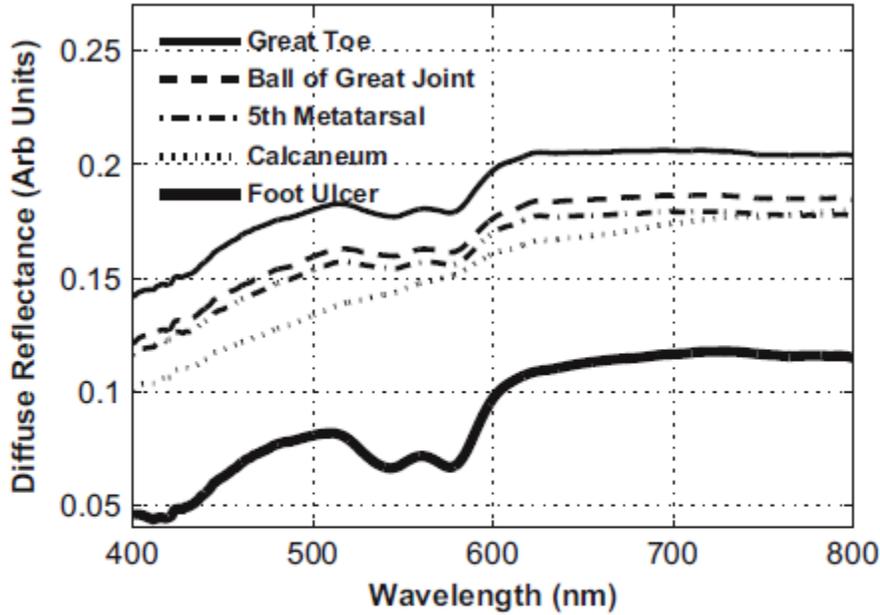


Figura 1.7. Espectros de reflectancia promedio de varias partes de la planta de pies de seis voluntarios en el rango de 400-800 nm [25].

Schleicher *et al.* simularon un medio esparcidor de dos capas como parte de su investigación en el pie diabético, donde definieron el coeficiente de esparcimiento reducido general de $\mu'_s = 0.8 \text{ mm}^{-1}$, así como un coeficiente de absorción fijo de $\mu_a = 0.005 \text{ mm}^{-1}$ para la capa superior, simulando tejido adiposo con una presencia sanguínea pequeña [26].

1.5 Transporte de la Luz en el Pie Diabético

1.5.1 Espectroscopía de Reflexión Difusa: Problema Directo

El presente epígrafe describe un modelo biológico de la planta del pie, sitio de vital importancia para la investigación presente, puesto que representa el sitio corporal con mayor índice de ulceración en pacientes que padecen DM (Diabetes Mellitus). Se busca la caracterización del tejido presente en el sitio bajo condiciones

normales, así como de cómo este se ve afectado de forma progresiva por la ulceración, producto de la neuropatía inherente a la DM.

La planta del pie, al igual que otras partes del cuerpo, es una parte corporal con piel compuesta de diversos estratos, como la epidermis, dermis y tejido subcutáneo. No obstante, dada la función fisiológica que cumplen los pies de soportar el peso corporal, se encuentra constantemente bajo una presión considerable, por lo que la composición, distribución y espesor de dichas capas es necesariamente distinta del resto del cuerpo, donde se encuentran distintas constituciones del tejido cutáneo [27].

Una de las diferencias más notables a nivel tejido del pie respecto al resto del cuerpo es que no posee glándulas sebáceas, por lo que existe una cantidad menor de componentes grasos, así como una presencia mucho menor de melanina [28]. Adicionalmente, el estrato córneo tiene un mayor espesor con el propósito de amortiguar los impactos producidos por caminar y correr, principalmente [29].

Como se mencionó anteriormente, la epidermis de la planta del pie posee un mayor espesor que el resto del cuerpo, ya que su espesor habitual es de alrededor de 0.1 mm, mientras que en la planta oscila entre 1 y 5 mm [27,30]. La [Tabla 1.2](#) recopila una serie de datos referentes a los grosores de piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores. Estos datos corresponden a personas no diabéticas.

Tabla 1.2. Grosos de la piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores

Autor/Año	Título	Grosos establecidos
2001/Schleicher	Application of NIR spectroscopy in the assessment of diabetic foot disorders	Piel completa: 4 – 8 mm
2002/Lee	Skin thickness of Korean adults	Epidermis: 1 – 5 mm
2003/Thomas	The Role of Skin Hardness, Thickness, and Sensory Loss on Standing Foot Power in the Development of Plantar Ulcers in Patients With Diabetes Mellitus—A Preliminary Study	Tejido blando Grupo de control: 6.4 – 14.6 mm Diabético sin úlcera: 5.9 – 14.3 mm Diabético con úlcera: 10.4 – 22.6 mm
2002/Duffin	Ultrasonography of plantar soft tissues thickness in young people with diabetes	Aponeurosis plantar Grupo de control: 1.3 – 1.5 mm Grupo diabético: 1.5 – 1.8 mm Piel Grupo de control: 1.0 (±0.1) mm Grupo diabético: 1.0 (±0.1) mm
2001/Abouaesha	Plantar Tissue Thickness Is Related to Peak Plantar Pressure in the High-Risk Diabetic Foot	Metatarsianos en ambos pies (Grosor del tejido) MTH1 Sin callos: 6.4 ± 1.7 mm Con callos: 5.5 ± 1.3 mm MTH2 Sin callos: 9.1 ± 1.8 mm Con callos: 7.9 ± 1.7 mm MTH3 Sin callos: 8.1 ± 1.6 mm Con callos: 7.0 ± 1.4 mm MTH4 Sin callos: 7.6 ± 1.5 mm Con callos: 6.7 ± 1.3 mm MTH5 Sin callos: 5.9 ± 1.4 mm Con callos: 5.2 ± 1.2 mm

Tabla 1.2 (CONTINUACIÓN). Grosos de la piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores

2011/Chao	Epidermal Thickness And Biomechanical Properties Of Plantar Tissues In Diabetic Foot	EPIDERMIS
		<p>Yema del dedo gordo: DU: 0.43 ± 0.14 mm DPN: 0.45 ± 0.11 mm DM: 0.55 ± 0.18 mm Normal: 0.51 ± 0.17 mm</p> <p>1er Metatarsiano DU: 0.51 ± 0.16 mm DPN: 0.51 ± 0.17 mm DM: 0.56 ± 0.18 mm Normal: 0.55 ± 0.19 mm</p> <p>3er Metatarsiano DU: 0.51 ± 0.17 mm DPN: 0.56 ± 0.18 mm DM: 0.66 ± 0.15 mm Normal: 0.62 ± 0.15 mm</p> <p>5to Metatarsiano DU: 0.52 ± 0.19 mm DPN: 0.58 ± 0.17 mm DM: 0.68 ± 0.14 mm Normal: 0.61 ± 0.14 mm</p> <p>Almohadilla del talón DU: 0.53 ± 0.15 mm DPN: 0.58 ± 0.14 mm DM: 0.68 ± 0.15 mm Normal: 0.66 ± 0.13 mm</p> <p>GROSOR TOTAL DEL TEJIDO BLANDO</p> <p>Yema del dedo gordo: DU: 8.64 ± 1.15 mm DPN: 8.04 ± 1.37 mm DM: 7.71 ± 1.58 mm Normal: 7.11 ± 1.53 mm</p> <p>1er Metatarsiano DU: 10.27 ± 2.26 mm DPN: 10.21 ± 2.67 mm DM: 9.95 ± 1.63 mm Normal: 9.43 ± 1.88 mm</p> <p>3er Metatarsiano DU: 10.92 ± 1.52 mm DPN: 10.92 ± 1.62 mm DM: 10.51 ± 2.00 mm Normal: 9.58 ± 1.55 mm</p> <p>5to Metatarsiano DU: 9.53 ± 2.35 mm DPN: 10.02 ± 1.68 mm DM: 8.87 ± 2.08 mm Normal: 8.38 ± 2.06 mm</p> <p>Almohadilla del talón DU: 25.12 ± 3.10 mm DPN: 25.02 ± 3.19 mm DM: 25.73 ± 2.54 mm Normal: 23.65 ± 3.29 mm</p> <p>DU = Úlcera Diabética DPN=Neuropatía Diabética Periférica DM = Diabetes sin complicaciones</p>

No obstante, la planta del pie elimina una mayor cantidad de agua, sales y sustancias residuales del funcionamiento corporal, por lo que presenta un número elevado de glándulas sudoríparas [28]. La [Tabla 1.3](#) muestra las diversas concentraciones de agua en la planta del pie en personas no diabéticas de acuerdo a varios autores.

Tabla 1.3. Contenido de agua en la piel presente en la planta del pie de acuerdo a varios autores

Autor/Año	Título	Contenido de agua
1983/Steck	Juvenile plantar dermatosis: the "wet and dry foot syndrome"	Estrato córneo (persona sana): 10%
1952/Irvin	Factors Which Influence The Water Content Of The Stratum Corneum	Estrato córneo (persona sana): 10% Estrato córneo (callo en la planta del pie): 20%
1953/Irvin	Further Observations On Factors Which Influence The Water Content Of The Stratum Corneum	Estrato córneo (persona sana): 10 - 20%
1998/Simonsen	Glucose metabolism in chronic diabetic foot ulcers measured in vivo using microdialysis	Paciente diabético Dentro de la úlcera: 50%

Las personas diabéticas son más vulnerables a las alteraciones en los pies, ya que el padecimiento puede dañar tanto los vasos sanguíneos como los nervios; altera la vascularización periférica, por lo que es probable la aparición de lesiones gangrenosas. Cualquier ulceración abre la posibilidad de una infección, por lo que

se recomienda aumentar la higiene en el sitio, el uso del calzado adecuado, mantener las uñas en buenas condiciones y evitar el uso de callicidas [29].

En el problema directo, se busca la determinación de todos los puntos de interacción de los fotones con la materia, teniendo los parámetros de absorción y esparcimiento definidos. Esto resulta de relevancia para aplicaciones como el cálculo de la intensidad de la luz en la atmósfera o el océano, teniendo en cuenta las características de la fuente y la composición del medio, lo que permite predecir el comportamiento de la luz a través de la materia [31].

Con el avance y crecimiento de las técnicas dermatológicas ópticas, tanto diagnósticas como terapéuticas, es necesario el conocimiento de la potencia, eficacia y seguridad de la luz incidiendo sobre el tejido, por lo que se debe evaluar el alcance de las distintas longitudes de onda que penetran en las distintas capas de la piel.

La espectroscopía de reflexión difusa (ERD) es una medición de frontera de la luz esparcida hacia atrás por un medio turbio, lo que resulta de utilidad para la caracterización de las propiedades de esparcimiento de un medio de forma no invasiva, siendo esto de beneficio en la óptica biomédica, ya que se obtiene información médica de las mediciones hechas a tejidos [32]. El modelado de la reflectancia difusa es de suma importancia para la interpretación de las mediciones realizadas a muestras con propiedades desconocidas, para lo cual, dicho modelado debe tener precisión en cuanto a parámetros espaciales, temporales y frecuenciales, así como de implementación sencilla.

De acuerdo con el modelo de Rodhe *et al.* [33], existen tres escalas de longitud en este problema: el recorrido libre medio l_s , la longitud de absorción característica l_a y el ancho del haz w . Por lo general, el recorrido libre medio en tejidos biológicos es mucho menor que el ancho del haz, el cual a su vez es mucho menor que la longitud de absorción característica. Así, se asume que $l_s \ll w \ll l_a$.

Este modelo es una combinación lineal de la solución de la ecuación de Laplace o de la ecuación de difusión (según la cantidad relativa de absorción en el problema) y su derivada normal evaluada en el límite, y perfil de haz incidente.

El recorrido libre medio es la distancia promedio cubierta por un fotón antes de un evento de absorción o esparcimiento, y es de $\sim 10\text{-}100 \mu\text{m}$ [34].

Según Cheong [35], la dermis humana tiene una $l_s \sim 10\text{-}2 \text{ mm}$ y una $l_a \sim 1 \text{ mm}$ a una longitud de onda $\lambda=633 \text{ nm}$.

El modelo de Fawzy *et al.* [36] relaciona las partículas esparcidoras individuales con el espectro de reflectancia dentro del marco de la teoría de transporte de la luz y la aproximación de modelado de partículas discretas [37]. Esto fue realizado asumiendo que las variaciones de índice de refracción en el tejido podrían representarse mediante un volumen equivalente de partículas discretas con un índice de refracción constante pero distintas formas y tamaños [36].

De acuerdo a Wilson *et al.* [34], los coeficientes ópticos para tejidos blandos (como el cerebro, hígado, pulmones y piel) son $\mu_a \approx 0.01 - 1 \text{ mm}^{-1}$ y $\mu_s \approx 10 - 100 \text{ mm}^{-1}$ en el rango de 600-1300 nm. La luz roja e infrarroja tiene la propiedad de penetrar a una mayor profundidad en el tejido que el resto de longitudes de onda a pesar de tener un recorrido libre medio relativamente corto. Esto es debido a dos factores: El primero es que la mayoría de los eventos ocurridos en el tejido corresponden a

esparcimiento, siendo estos más frecuentes que los de absorción; el segundo es que dichos esparcimientos son altamente direccionados hacia el frente, por lo que el fotón continúa penetrando a pesar de los eventos de esparcimiento [34].

Según Jacques *et al.* [38], los valores de absorción y esparcimiento de cualquier tejido, especialmente de capas homogéneas, se encuentran arraigados a su composición bioquímica, por lo que esta se ve reflejada en los espectros obtenidos. Ya se conoce la composición molecular de las principales capas de la piel [38, 39], las cuales poseen picos de absorción conocidos [40].

La línea base de la piel, así como la melanina son componentes que ocasionan los eventos de absorción y esparcimiento en la epidermis, mientras en la dermis la línea base de dicha capa, así como la sangre son responsables de dichos eventos [38, 41]. Meglinski y Altshuler [42, 43] también consideran el agua como elemento influyente en la caracterización de ambas capas de la piel. Jacques y Svaasand [38, 41] asumen que el esparcimiento producido por la epidermis es similar al correspondiente a la dermis. Jacques también considera el colágeno como una parte importante en los resultados obtenidos. El esparcimiento de Mie se extrapoló de las largas fibras de colágeno de la dermis, mientras el esparcimiento de Rayleigh [44] se extrapoló de estructuras a menor escala asociadas con el colágeno y otras estructuras. Svaasand [40, 45] fija el esparcimiento como un valor empírico a 577 nm y asume que la variación de longitud de onda sigue la ley $(1/\lambda)$.

En el presente trabajo de tesis se empleará el modelo propuesto por Farrell *et al.* [46] debido a que describe la reflectancia difusa en los tejidos con base en una dependencia radial; dicho modelo es válido para distancias detector-emisor desde

0.5mm, donde tiene una precisión aceptable, en comparación con el método Monte Carlo. Dicho modelo se reduce a la expresión

$$R(\rho) = \int_0^{\infty} R(\rho, z_0) \delta\left(z_0 - \frac{1}{\mu'_t}\right) dz_0$$

Lo que equivale a

$$R(\rho) = \frac{a'}{4\pi} \left[\frac{1}{\mu'_t} \left(\mu_{eff} + \frac{1}{r_1} \right) \frac{e^{-\mu_{eff} r_1}}{r_1^2} + \left(\frac{1}{\mu'_t} + 2z_b \right) \left(\mu_{eff} + \frac{1}{r_2} \right) \frac{e^{-\mu_{eff} r_2}}{r_2^2} \right]$$

Donde:

a' es el albedo de transporte

μ'_t es el coeficiente de interacción total, dado por $\mu'_t = \mu_a + \mu'_s$

μ_{eff} es el coeficiente de atenuación efectiva, dado por $\mu_{eff} = [3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)]^{1/2}$

z_0 es la posición de la fuente respecto a la superficie

$$r_1 = [(z - z_0)^2 + \rho^2]^{1/2}$$

$$r_2 = [(z - z_0 + 2z_b)^2 + \rho^2]^{1/2}$$

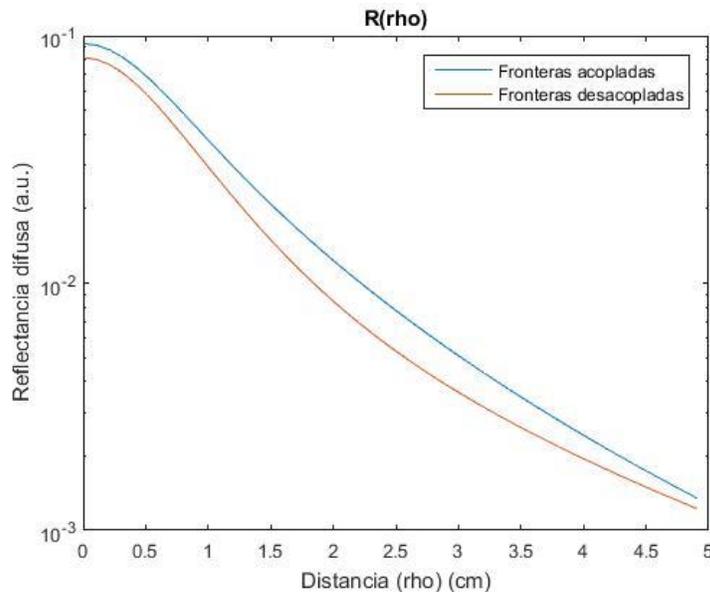


Figura 1.8. Reflectancia difusa en dependencia de la distancia según el modelo de Farrell [46].

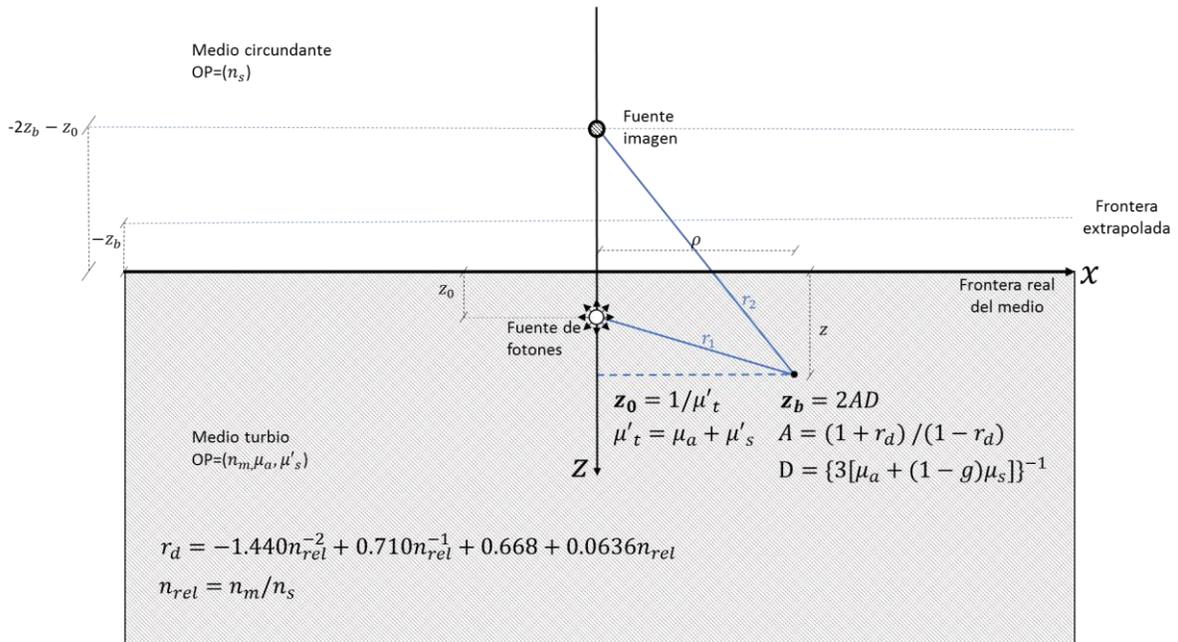


Figura 1.9. Representación visual del planteamiento de la teoría de la difusión de Farrell.

La Fig. 1.9 muestra la geometría en la que el modelo se encuentra basado, mediante el uso de una fuente dipolo de fotones y una frontera extrapolada. Los términos de dicha fuente consisten en una distribución lineal de fuentes puntuales a lo largo del eje z , cuya posición es dependiente de la longitud de onda, donde la reflectancia está determinada por las propiedades ópticas del tejido. La fluencia está determinada por las condiciones de frontera, donde se encuentran acopladas si el índice de refracción del medio circundante coincide con el del tejido y desacopladas si ambos índices de refracción son distintos. Se ha demostrado que, para un caso de fronteras desacopladas, la fluencia es nula en la frontera extrapolada [47].

1.5.2 Espectroscopía de Reflexión Difusa: Problema Inverso

Las mediciones no invasivas representan un componente fundamental para la investigación actual, ya que permiten la extracción de información en cuanto a las propiedades ópticas de tejidos y posteriormente tener una visión acerca del estado de salud del paciente. El problema inverso consiste en un espectro de luz dado de un medio, mediante el cual es posible deducir el estado físico del mismo; dicho espectro representa una herramienta para la comparación de los resultados obtenidos a través de distintos modelos, y las ecuaciones relacionadas al estado del medio deben ser usadas para el problema inverso. Por lo general, se requiere de una ecuación suplementaria, como la de transferencia radiativa, sujeta a la constante de conservación de energía [31].

El modelo de transporte de fotones más aceptado es la ecuación de transferencia radiativa (ETR) [48], se trata de una ecuación integro-diferencial para obtener la radiancia y posee parámetros de difusión y absorción como coeficientes, al principio desconocidos. Por lo tanto, el problema es inferir, a partir de las mediciones de alguna función de la densidad de fotones en el límite, los coeficientes de absorción y difusión en el tejido. La aproximación de la difusión (AD) de la ETR ha sido estudiada en los últimos años, siendo ampliamente usada para el cálculo del transporte de luz en tejidos biológicos [49]. Los modelos existentes para el problema inverso en tejidos biológicos se basan casi de forma exclusiva en la AD [50].

En el caso de la Espectroscopía de Reflexión Difusa, se busca la obtención de propiedades ópticas a partir de la luz proveniente del interior de la piel tras haber

sufrido múltiples esparcimientos, cuyas características espectrales proveen los datos para estimar la concentración de cromóforos como la hemoglobina.

La teoría del transporte radiativo caracteriza la propagación de la luz en los tejidos [32, 51]. Dicha teoría hace uso de homogeneidades presentes en el tejido que causan absorción y esparcimiento. Sin embargo, la Ecuación de Transporte Radiativa (ETR) emplea un gran número de variables, por lo que es matemáticamente complicada y posee una mayor demanda computacional.

Por lo regular, los tejidos biológicos poseen propiedades esparcidoras mayores a las absorbentes, por lo que la aproximación de la difusión (AD) constituye una opción más simple de resolver, ya que asume que la luz será casi isotrópica debido al fuerte esparcimiento [52].

Tabla 1.4. Parámetros fisiológicos hallados por investigadores especialistas en el pie diabético.

Año/Autor	Título	Concentración Hb	Concentración HbO2	Saturación de oxígeno
2003/Nyström	Combined near-infrared spectroscopy and multifrequency bio-impedance investigation of skin alterations in diabetes patients based on multivariate analyses	-	-	-
2014/Anand	Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring diabetic Foot ulcer – A pilot study	0.02 – 0.7 gm/dl tejido normal 0.01 – 0.36 gm/dl tejido ulceroso	0.02 – 0.07 gm/dl tejido normal 0.03 – 0.29 gm/dl tejido ulceroso	28 - 70% tejido normal 32 – 84% tejido ulceroso
2001/Schleicher	Application of NIR spectroscopy in the assessment of diabetic foot disorders			46 – 72% paciente sano 15 – 56% paciente con pie diabético
2015/Sujatha	Assessment of microcirculatory hemoglobin levels in normal and diabetic subjects using diffuse reflectance spectroscopy in the visible region — a pilot study	0.026 – 0.068 gm/dl tejido normal 0.02 – 0.042 gm/dl tejido de paciente diabético con neuropatía (sin úlcera)	0.04 – 0.055 gm/dl tejido normal 0.035 – 0.055 gm/dl tejido de paciente diabético con neuropatía (sin úlcera)	52% tejido normal 56% tejido de paciente diabético con neuropatía (sin úlcera) (PROMEDIOS)
2009/Papazoglou	Noninvasive assessment of diabetic foot ulcers with diffuse photon density wave methodology: pilot human study	0.03 – 0.04 Mm tejido ulceroso que sanó 0.026 – 0.57 Mm tejido ulceroso que no sanó	0.06 – 0.12 Mm tejido ulceroso que sanó 0.075 – 0.18 Mm tejido ulceroso que no sanó	-
2010/Neidrauer	Near Infrared Wound Monitor Helps Clinical Assessment of Diabetic Foot Ulcers	-	0.05 – 0.3 Mm tejido ulceroso que sanó 0.07 – 0.2 Mm tejido ulceroso que no sanó y desembocó en amputación	-
1999/Rajbhandari	Early Identification of Diabetic Foot Ulcers That May Require Intervention Using the Micro Lightguide Spectrophotometer	-	-	Para tejido ulceroso 58% con una Media de 47% durante su recuperación y posteriormente a 45% justo antes de sanar 40 – 43% tejido normal 46 – 52% tejido ulceroso sin sanar
2010/Weingarten	Prediction of wound healing in human diabetic foot ulcers by diffuse near-infrared spectroscopy: A pilot study		Úlcera en regeneración Inicial: 0.3 mM Final: 0.05 mM Tejido en sitio de control Inicial: 0.04 mM Final: 0.01 Mm Úlcera sin regeneración Inicial: 0.12 mM Final: 0.13 mM Tejido en sitio de control Inicial: 0.06 mM Final: 0.03 mM	
2012/Weingarten	Diffuse near-infrared spectroscopy prediction of healing in diabetic foot ulcers: A human study and cost analysis	Úlcera en regeneración Inicial: 0.033 µM Final: 0.037 µM Tejido en sitio de control Inicial: 0.018 µM Final: 0.015 µM Úlcera sin regeneración Inicial: 0.033 µM Final: 0.065 µM Tejido en sitio de control Inicial: 0.025 µM Final: 0.025 µM	Úlcera en regeneración Inicial: 0.10 µM Final: 0.06 µM Tejido en sitio de control Inicial: 0.035 µM Final: 0.01 µM Úlcera sin regeneración Inicial: 0.14 µM Final: 0.19 µM Tejido en sitio de control Inicial: 0.025 µM Final: 0.046 µM	

1.6 Objetivos

1. Identificar de forma temprana la aparición de úlceras en el pie diabético que permita un diagnóstico acertado mediante el desarrollo de métodos ópticos y computacionales, proporcionando un sistema preventivo que brinde información acerca del estado de salud del pie diabético de pacientes que acuden al servicio médico.
2. Tomar espectros de reflexión difusa de áreas específicas de pacientes mediante equipo especializado.
3. Determinar parámetros ópticos para definir el tejido sano, así como para tejido ulceroso en cada una de sus etapas.

1.7 Solución del Problema

El proyecto se basa en el uso de espectroscopía de reflexión difusa para el diagnóstico temprano de la ulceración en el pie diabético, lo que resulta de gran utilidad para una evaluación vascular con el fin de detectar de forma prematura la enfermedad arterial periférica (PAD), que constituye un precursor importante para la ulceración, siendo esto un método con mayor eficacia que el tradicional método de índice de presión de tobillo braquial (ABI) [53].

1.8 Referencias

- [1] Tooms, Robert campell. Cirugía ortopédica. Amputaciones. Vol. I pág. 633-673, México editorial interamericana 8ª edición 1996
- [2] Pinzur MS, Slovenkai MP, Trepman E, Shields NN. Guidelines for diabetic foot care: recommendations endorsed by the Diabetes Committee of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society. *Foot Ankle Int.* 2005;26(1):113-19.
- [3] Eckhard Schleicher, Eckhard Schleicher, Uwe Hampel, Uwe Hampel, Richard Freyer, Richard Freyer, "Application of NIR spectroscopy in the assessment of diabetic foot disorders", *Proc. SPIE 4432, Diagnostic Optical Spectroscopy in Biomedicine*, (31 October 2001); doi: 10.1117/12.447150;
- [4] México, asociación mexicana de cirugía general, pie diabético, atención integral, México D.F: Mac graw- Hill 1999
- [5] Said G. "Diabetic neuropathy: A review". *Nat Clin Pract Neurol.* 2007;3(6):331-40.
- [6] Á. J. Montiel-Jarquín, A. G. Villaseñor, C. Castillo Rodríguez, M. S. Romero-Figueroa, I. Etchegaray-Morales, E. García-Cano, M. Arévalo-Ramírez, "Costes directos de atención médica del pie diabético en el segundo nivel de atención médica" (2017), *Revista Chilena de Cirugía*, Volume 69, Issue 2, Pages 118-123, ISSN 0379-3893.
- [7] Alzola, R. (2002). Sistema Tegumentario. Consultado en 15 de febrero de 2019 de <http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/HistologiaEmbriologiaTeratologia/images/Documentos/2015/SistemaTegumentario.pdf>
- [8] Y., L., & K., H. (2002). Skin thickness of Korean adults. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 24(3-4), 183–189. doi:10.1007/s00276-002-0034-5
- [9] Jacobi, U., Kaiser, M., Toll, R., Mangelsdorf, S., Audring, H., Otberg, N., ... Lademann, J. (2007). Porcine ear skin: an in vitro model for human skin. *Skin Research and Technology*, 13(1), 19–24. doi:10.1111/j.1600-0846.2006.00179.x
- [10] Navarrete Franco, G. (2003). Skin histology. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 46(4), 130-133. Consultado en 15 de febrero de 2019 de <http://www.medigraphic.com/pdfs/facmed/un-2003/un034d.pdf>
- [11] Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2010). PRINCIPIOS DE ANATOMIA Y FISILOGIA (11a. ed., 4a. reimp.). BUENOS AIRES: MEDICA PANAMERICANA.
- [12] Ian P & Muralitharan N. (2012). ANATOMIA Y FISILOGIA PARA ENFERMERAS (1ª ed.). MC GRAW HILL
- [13] Redacción Onmeda (2012). ANATOMÍA DE LOS VASOS SANGUÍNEOS: ESTRUCTURA. Consultado el 12 de Marzo de 2019 de

https://www.onmeda.es/anatomia/anatomia_vasos_sanguineos-estructura-3836-2.html

[14] Gerard J. Tortora •Sandra Reynolds Grabowski. en Principios de Anatomía y Fisiología.Ed. Oxford.México.2003 cap.21

[15] WINLKINS William. Fundamentos De La Anatomia Con Orientacion Clinica.EEUU: 2 Ediccion. 2002 Pag.26

[16] Díaz-Flores, Margarita, Baiza-Gutman, Luis Arturo, Ibáñez-Hernández, Miguel Ángel, Pascoe-Lira, Dalila, Guzmán-Greenfel, Alberto M, & Kumate-Rodríguez, Jesús. (2004). Aspectos moleculares del daño tisular inducido por la hiperglucemia crónica. Gaceta médica de México, 140(4), 437-447. Consultado en 14 de febrero de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00163813200400040014&lng=es&tlng=es

[17] Salvador López-Antuñano, Francisco J. López-Antuñano. (1998). Diabetes mellitus y lesiones del pie. Gaceta médica de México, 140(4), 437-447. Consultado en 14 de febrero de 2019, de https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0036-36341998000300010&script=sci_arttext&tlng=en#ModalArticles

[18] Memorial Sloan Kettering Cancer Center (2014). Información sobre la sangre y las células sanguíneas. Consultado el 15 de febrero de 2019 de http://es.mskcc.org/_onelink/_mskcc/en2es/pdfs/5_mskcc_blood_cells_es.pdf?inline=1

[19] Föller, M., Huber, S. M., & Lang, F. (2008). Erythrocyte programmed cell death. IUBMB life, 60(10), 661-668.

[20] Domínguez, A. L. R., Zarate, G. R., & Páez, F. S. (2008). Evaluación de hemoglobina glicosilada en pacientes diabéticos del Centro de Salud de Teocelo Veracruz. Revista Médica de la Universidad Veracruzana, 8(2), 11-13. Consultado en 14 de febrero de 2019 de <http://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2008/muv082b.pdf>

[21] Angulo Palomares, E. E., Lazcano, F., Ma, R., Félix Lazcano, A. R., Hernández Martínez, L., & Martínez Vega, K. G. (2014). Concentraciones de hemoglobina glucosilada A1c en diferentes tratamientos para la diabetes. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, 19(1). Consultado en 14 de febrero de 2019 de <https://www.redalyc.org/html/473/47330738004/>

[22] Yofre, Pablo, Fuentealba, Sebastián, Torrent, Marcela, Finocchietto, Paola, Robelli, Mariana, Bórquez, Fabián, Loscar, Sarina, & Allassia, Elsa. (2012). Intervalos de referencia de determinaciones bioquímicas en el laboratorio central del Hospital de Trelew. Acta bioquímica clínica latinoamericana, 46(1), 15-22. Recuperado en 19 de febrero de 2019, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03252957201200010003&lng=es&tlng=es.

- [23] López-Antuñano, S., & López-Antuñano, F. J. (1998). Diabetes mellitus y lesiones del pie. *Salud pública de Mexico*, 40, 281-292.
- [24] Papazoglou, E. S., Weingarten, M. S., Zubkov, L., Neidrauer, M., & Pourrezaei, K. (2008, October). Assessment of diabetic foot ulcers with diffuse near infrared methodology. In 2008 8th IEEE International Conference on Bioinformatics and BioEngineering (pp. 1-5). IEEE.
- [25] Anand, S., Sujatha, N., Narayanamurthy, V. B., Seshadri, V., & Poddar, R. (2014). Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring diabetic foot ulcer—A pilot study. *Optics and Lasers in Engineering*, 53, 1-5.
- [26] Schleicher, E., Hampel, U., & Freyer, R. (2001, October). Application of NIR spectroscopy in the assessment of diabetic foot disorders. In *Diagnostic Optical Spectroscopy in Biomedicine* (Vol. 4432, pp. 279-288). International Society for Optics and Photonics.
- [27] Y., L., & K., H. (2002). Skin thickness of Korean adults. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 24(3-4), 183–189. doi:10.1007/s00276-002-0034-5
- [28] Wikipedia, Planta (pie) (2020). Consultado el 4 de Julio de 2020 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_\(pie\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_(pie))
- [29] Leire Azcona, La piel del pie, *Farmacia Profesional*, Vol. 21. Núm. 6. Junio 2007 p. 7-65
- [30] Eucerin.com, Comprendiendo la piel en diferentes partes del cuerpo. Consultado el 22 de enero de 2019. <https://www.eucerin.com.mx/acerca-de-la-piel/conocimientos-basicos-sobre-la-piel/la-piel-en-diferentes-partes-del-cuerpo>
- [31] Shore, S. N. (2002). Blue Sky and Hot Piles: The Evolution of Radiative Transfer Theory from Atmospheres to Nuclear Reactors. *Historia Mathematica*, 29(4), 463–489. doi:10.1006/hmat.2002.2360
- [32] L.V. Wang and H. Wu, *Biomedical Optics: Principles and Imaging* (Wiley, Hoboken, NJ, 2007).
- [33] Rohde, S. B., & Kim, A. D. (2012). Modeling the diffuse reflectance due to a narrow beam incident on a turbid medium. *Journal of the Optical Society of America A*, 29(3), 231. doi:10.1364/josaa.29.000231
- [34] Wilson, B. C., & Jacques, S. L. (1990). Optical reflectance and transmittance of tissues: principles and applications. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 26(12), 2186–2199. doi:10.1109/3.64355
- [35] W. F. Cheong, S. A. Prahl, and A. J. Welch, “A review of the optical properties of biological tissues,” *IEEE J. Quantum Electron.* 26, 2166–2185 (1990)
- [36] Fawzy, Y. S., & Zeng, H. (2006). Determination of scattering volume fraction and particle size distribution in the superficial layer of a turbid medium by using diffuse reflectance spectroscopy. *Applied Optics*, 45(16), 3902. doi:10.1364/ao.45.003902

- [37] J. M. Schmitt and G. Kumar, "Optical scattering properties of soft tissue: a discrete particle model," *Appl. Opt.* 37, 2788–2797 (1998).
- [38] S.L. Jacques, "Optical properties of biological tissues: a review," *Phys. Med. Biol.* 58(11), R37–R61 (2013).
- [39] V. Raicu and Y. Feldman, "Dielectric Relaxation in Biological Systems," (2015).
- [40] S. L. Jacques, R. D. Glickman, J. A. Schwartz, "Internal absorption coefficient and threshold for pulsed laser disruption of melanosomes isolated from retinal pigment epithelium," *Proc. SPIE* 2681(1), 468-477 (2016).
- [41] L.O. Svaasand, L.T.T. Norvang, E.J.J. Fiskerstrand, E.K.S Stopps, M.W. Berns and J.S. Nelson, "Tissue parameters determining the visual appearance of normal skin and port-wine stains," *Lasers Med. Sci.* 10(1), 55–65 (1995).
- [42] I. V. Meglinski and S. J. Matcher, "Quantitative assessment of skin layers absorption and skin reflectance spectra simulation in the visible and near-infrared spectral regions," *Physiol. Meas.* 23(4), 741 (2002).
- [43] G. Altshuler, M. Smirnov and I. Yaroslavsky, "Lattice of optical islets: a novel treatment modality in photomedicine," *J. Phys. D* 38(15), 2732–2747 (2005).
- [44] I. S. Saidi, S. L. Jacques and F. K. Tittel, "Mie and Rayleigh modeling of visible-light scattering in neonatal skin," *Appl. Opt.* 34(31), (1995).
- [45] M.J.C. Van Gemert, S.L. Jacques, H.J.C.M. Sterenborg and W.M. Star, "Skin optics," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 36(12), 1146–1154 (1989).
- [46] Farrell, T. J., Patterson, M. S., & Wilson, B. (1992). A diffusion theory model of spatially resolved, steady-state diffuse reflectance for the noninvasive determination of tissue optical properties in vivo. *Medical physics*, 19(4), 879-888.
- [47] Eason, G., Veitch, A. R., Nisbet, R. M., & Turnbull, F. W. (1978). The theory of the back-scattering of light by blood. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 11(10), 1463.
- [48] Epshteyn, Yekaterina & Khan, Taufiqar & B Riv Ere, And. (2009). Inverse problem in optical tomography using discontinuous Galerkin method.
- [49] A. Hielscher, R. Alcoue, and R. Barbour. Comparison of finite-difference transport and diffusion calculations for photon migration in homogenous and heterogenous tissues. *Phys. Med. Biol.*, 42:1285-1302, 1998.
- [50] B. Chance and R.R. Alfano, editors. *Optical tomography, photon migration, and spectroscopy of tissue and model media: theory, human studies, and instrumentations*, part 1 and 2, volume 2389. SPIE, 1995.
- [51] A. Ishimaru, *Wave Propagation and Scattering in Random Media* (IEEE, New York, 1997).

[52] Lehtikangas, O., Tarvainen, T., & Kim, A. D. (2012). Modeling boundary measurements of scattered light using the corrected diffusion approximation. *Biomedical Optics Express*, 3(3), 552. doi:10.1364/boe.3.000552

[53] Boulton, Andrew J.M. *et al.* "Comprehensive Foot Examination and Risk Assessment: A Report of the Task Force of the Foot Care Interest Group of the American Diabetes Association, with Endorsement by the American Association of Clinical Endocrinologists." *Diabetes Care* 31.8 (2008): 1679–1685. PMC. Web. 31 Aug. 2018.

CAPÍTULO 2

Desinfección de la Sonda de Fibras Ópticas

2.1 Introducción

La espectroscopía de reflexión difusa (ERD) ha sido un método ampliamente investigado debido a que posee el potencial de brindar información cuantitativa de tejido biológico, por lo que es posible la predicción de la aparición de úlceras en el pie de pacientes diabéticos y, por lo tanto, determinar su tratamiento médico más apropiado.

La espectroscopía de fibra óptica funciona mediante fibras de emisión en conjunto con fibras colectoras, que reciben los fotones esparcidos en el interior de la muestra analizada; la luz reflejada difusamente contiene información relevante acerca del objeto de estudio, la cual es posteriormente procesada e interpretada.

Esta técnica ha sido implementada principalmente mediante el uso de una sonda que contiene a las fibras, tanto emisoras como colectoras, lo que facilita su uso al proveer una estructura que proteja a las fibras y permita su manipulación. No obstante, dada la naturaleza de la óptica biomédica, dicha sonda debe permanecer en contacto con los pacientes sometidos a análisis con el fin de obtener la información necesaria; y dicho contacto implica la existencia de residuos biológicos en la sonda.

Se han empleado métodos para evitar la contaminación de la sonda por contacto con pacientes, siendo los más comunes la limpieza del área a estudiar con alcohol [1] y colocar una película transparente entre la sonda y la piel [2-6].

Si bien estos métodos fueron considerados apropiados para cada investigación realizada por sus respectivos autores, no se ha hallado información sobre la desinfección de la sonda *per se*. Esto representa un factor más a tomar en cuenta, ya que es imperativo evitar la transmisión de microorganismos de un paciente a otro; adicionalmente, es necesaria una caracterización de la sustancia desinfectante para determinar su posible influencia sobre los resultados.

El presente capítulo plantea una caracterización espectral de la sustancia Alkacide®, así como información médica acerca de la sustancia proporcionada por expertos en salud que brindan una panorámica en cuanto a su correcto uso.

Se tomaron espectros de absorbancia a una muestra de Alkacide® colocada en un arreglo espectrométrico con posterior procesamiento y graficado. Dichos espectros dieron información relevante acerca de sus características ópticas y plantea las bases de futuros estudios de las propiedades de dicha sustancia.

2.2 Antecedentes

La ERD funciona mediante fibras de emisión en conjunto con fibras colectoras, que reciben los fotones esparcidos en el interior de la muestra analizada; la luz reflejada difusamente contiene información relevante acerca del objeto de estudio, la cual es posteriormente procesada e interpretada. Dichas características han sido aprovechadas en el área de la óptica biomédica, donde dicha técnica resulta de gran utilidad en el momento de conocer el estado del sistema capilar del paciente, ya que permite conocer, entre otras características, el contenido de hemoglobina,

tanto oxigenada como desoxigenada [1-3]. Esto permite un monitoreo de la microcirculación en los pies de los pacientes, ayudando a determinar el riesgo de padecimiento de Diabetes Mellitus. Asimismo, el monitoreo de la hemoglobina es relevante para pacientes que ya son portadores de la enfermedad debido a que da a conocer el estado de regeneración del tejido ulceroso, por lo que es posible saber si una úlcera se encuentra en proceso de sanación [4].

La variación lineal de los niveles de hemoglobina es un parámetro de gran utilidad para discernir heridas en proceso de recuperación de aquellas que no presentan mejoría alguna [5]. La oxigenación vascular es un indicio fuerte del tipo de úlceras presentes en el pie diabético, permitiendo así determinar cuáles de ellas tienen bajas probabilidades de regenerarse y, por lo tanto, requieren de una intervención quirúrgica [6].

El conjunto de datos espectrales proporciona datos de suma importancia acerca del estado de la piel y sus propiedades, las cuales se ven afectadas si el paciente padece diabetes. De acuerdo a una investigación previa [7], la espectroscopía de reflexión difusa (DRS) en conjunto con el análisis de bio-impedancia multifrecuencial corporal total “MFBIABody” posee un potencial de clasificación cutánea prometedor.

La [Tabla 2.2](#) muestra distintos trabajos donde se emplea la ERD con fibra óptica y los métodos de desinfección/prevención empleados.

Tabla 2.1. Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores.

<p>hemoglobina</p> <p>1. f. Bioquím. Proteína de la sangre, de color rojo característico, que transporta el oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos.</p> <p>RAE, http://dle.rae.es/?id=K8tFKdo</p>
--

Tabla 2.2. Trabajos previos de ERD sobre pie diabético y sus métodos de desinfección/protección.

Año/Autor	Título	Estructura y composición de la sonda	Desinfectante/método de protección empleado
2003/Nyström	Combined near-infrared spectroscopy and multifrequency bio-impedance investigation of skin alterations in diabetes patients based on multivariate analyses	Ventana de medición: 2 x 2 cm Sonda de 210 fibras Carcasa: Acero inoxidable	Ninguno
2014/Anand	Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring diabetic Foot ulcer – A pilot study	Sonda bifurcada 6 fibras de iluminación y 1 fibra de colección Carcasa de acero inoxidable	La sonda separada 5 mm mediante una película de polivinil.
2001/Schleicher	Application of NIR spectroscopy in the assessment of diabetic foot disorders	Arreglos lineales de fibras detectoras y colectoras	Ninguno
2015/Sujatha	Assessment of microcirculatory hemoglobin levels in normal and diabetic subjects using diffuse reflectance spectroscopy in the visible region — a pilot study	Sonda bifurcada 6 fibras de iluminación y 1 fibra de colección. Carcasa de acero inoxidable. Núcleos de 400 µm Apertura numérica de 0.22	La sonda separada 5 mm mediante una película de polivinil.
2009/Papazoglou	Noninvasive assessment of diabetic foot ulcers with diffuse photon density wave methodology: pilot human study	Arreglo lineal de fibras ópticas, Una fibra emisora en el extremo y 4 fibras colectoras a 4, 8, 12 y 16 mm d la fibra emisora. Fibras inmovilizadas con una sonda de teflón.	Vendaje estéril transparente Tegaderm (3M) para cubrir la sonda. Los resultados previos sugieren que el Tegaderm no afecta los coeficientes NIR medidos.
2001/Vinik	Methods for Evaluation of Peripheral Neurovascular Dysfunction	Sonda plana Diámetro: 2.25 cm Capaz de calentarse (26–44°C) Se coloca dentro de una cápsula con líquido cargado eléctricamente para mejorar la absorción de la piel.	La piel se prepara usando hisopos con alcohol

Tabla 2.2 (CONTINUACIÓN). Trabajos previos de ERD sobre pie diabético y sus métodos de desinfección/protección.

2010/Neidrauer	Near Infrared Wound Monitor Helps Clinical Assessment of Diabetic Foot Ulcers	Sonda de arreglo lineal 1 fibra emisora y 4 fibras colectoras Distancias: 4, 8, 12 y 16 mm Material: teflón	Vendaje estéril transparente Tegaderm (3M) para cubrir la sonda.
1999/Rajbhandari	Early Identification of Diabetic Foot Ulcers That May Require Intervention Using the Micro Lightguide Spectrophotometer	Sonda con una fibra emisora rodeada por 6 fibras colectoras. Cubierta de goma flexible Carcasa exterior de nylon (diámetro: 10 mm) Espectrofotómetro Erlangen EMPHO II/BB	Película transparente de poliuretano (Opsite)

2.3 Desinfectante Alkacide

El presente epígrafe describe el análisis médico de este desinfectante además de una caracterización espectral del mismo a través de la medición de absorbancia con el propósito de adoptar el conocimiento necesario para distinguir cualquier residuo de Alkacide presente en la sonda de fibras ópticas que pudiera afectar los resultados obtenidos durante la obtención de espectros de reflexión difusa a pacientes, ya que se utilizará para la desinfección de la sonda de fibras ópticas, evitando la transmisión de infecciones entre los pacientes estudiados.

El Alkacide es una solución compuesta principalmente de glutaraldehído potencializado cuya principal aplicación es la desinfección de instrumental médico y de laboratorio [8]. Sin embargo, el uso de glutaraldehído está extendido a usos como limpieza de tuberías de petróleo y gas, tratamiento de aguas residuales, embalsamamiento de cuerpos, curtido de cuero, producción de papel y pesticida, entre otros [9].

El glutaraldehído puede evaporarse y ser liberado al aire al usarse en lugares como hospitales y clínicas dentales, así como otros productos cuya composición incluye esta sustancia (como algunas pinturas). Este efecto también sucede en industrias que hacen uso de la misma. En el aire es degradado debido a la radiación solar y en alrededor de 16 horas, la mitad será completamente desintegrada [9].

Estudios animales señalan que la mayor parte del glutaraldehído que ingresa al cuerpo se transforma en dióxido de carbono y es expulsado en la respiración. El resto abandona el cuerpo en la orina. Esta sustancia es dañina solamente bajo exposición a grandes concentraciones o tiempos prolongados.

El glutaraldehído es un líquido oleaginoso generalmente incoloro o con un tono ligeramente amarillento y olor acre, aunque en su forma comercial posee un color azul característico. Es un compuesto químicamente estable sin riesgo de polimerización.

Es un potente bactericida y en forma diluida mezclada con agua potable en concentraciones del 0.1% al 1.0%, resulta de utilidad para la desinfección en frío de equipo con sensibilidad al calor, incluyendo los instrumentos de diálisis y de cirugía, frascos de succión, broncoscopias, endoscopias, y el instrumental de oído, nariz, y garganta. Sin embargo, su efectividad no es alta frente a algas y hongos.



Figura 2.1. Presentación comercial de Alkacide 1L con dosificador
<http://www.aminosumos.com/producto/alkacide-frasco-de-1-lt-con-dosificador/>

Sin embargo, su manejo constante puede derivar en algunas complicaciones de salud, ya que, por contacto directo o exposición a sus vapores, puede ocasionar sensibilización e irritación de la piel y mucosas. Varios casos de colitis por glutaraldehído han sido reportados en la literatura mundial posterior a la realización de colonoscopías, probablemente causados por restos de glutaraldehído en el instrumental [10].

El glutaraldehído es causal de enfermedad ocupacional entre los trabajadores sanitarios, especialmente de dermatitis, alergia respiratoria y asma [11,12].

2.3.1 Entrevista Cara a Cara con especialista de la UPT

De acuerdo a la información brindada por el Dr. Cristóbal Arni Ramírez Ocádiz, médico de la Universidad Politécnica de Tulancingo en una entrevista realizada, el Alkacide es un agente antiséptico que es diluido en agua para su uso en una variedad de instrumental médico y quirúrgico, principalmente endoscopios y fibroscopios, los cuales son sumergidos en la solución bajo parámetros determinados. El grado de asepsia logrado mediante dicha sustancia se encuentra en función de su concentración; las dos proporciones principales empleadas son las siguientes:

- Desinfección: 20 ml de Alkacide por 1 Litro de agua durante 15 minutos.
- Esterilización: 60 ml de Alkacide por 1 Litro de agua durante 60 minutos.

Tabla 2.3. Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores.

<p style="text-align: center;">Desinfectar</p> <p>1. tr. Quitar a algo la infección o la propiedad de causarla, destruyendo los gérmenes nocivos o evitando su desarrollo. U. t. c. prnl. RAE, http://dle.rae.es/?id=D6Ta8Se</p> <p style="text-align: center;">Esterilizar</p> <p>1. tr. Hacer infecundo y estéril lo que antes no lo era. U. t. c. prnl.</p> <p>2. tr. Destruir los gérmenes patógenos. RAE, http://dle.rae.es/?id=GqgSQxz</p>
--

Tras la inmersión del instrumental en la solución, se procede a enjuagar con agua para eliminar restos del antiséptico y se procede a secar mediante el uso de gasas estériles, manipulando el material con guantes de látex estériles. Dicho procedimiento fue sugerido para la sonda de fibras ópticas.

Asimismo, se señala que el grado de esterilización se busca especialmente en un ambiente de quirófano donde se han de realizar cirugías internas, ya que es necesario que el entorno, así como el personal e instrumentación se encuentren totalmente libres de cualquier patógeno. Generalmente, esto se logra mediante el uso de autoclaves que eliminan dichos organismos mediante altas temperaturas, por lo que el uso del Alkacide se remite a instrumental para cirugías externas, endoscopía, urología, ginecología, neumología y todo material termosensible que no es apto para someterse a altas temperaturas, entre ellos los componentes ópticos como lentes y fibras ópticas empleadas en algunos fibroscopios. En este último caso, el Alkacide es apto para lograr la asepsia del material, ya que, de acuerdo al fabricante, no daña la óptica de los dispositivos.

El Alkacide puede causar irritación en la piel únicamente mediante exposiciones prolongadas a concentraciones altas y posible muerte celular, así como perforación intestinal en caso de ingesta. No representa ningún riesgo para el paciente bajo circunstancias de uso normal y tras asegurar que no existen residuos de la solución al momento de las pruebas médicas.

Uno de los aspectos más importantes de la implementación de la sonda en un ambiente clínico es la prevención de las infecciones inter-paciente, razón por la cual se contempla el uso del Alkacide. No obstante, existen condiciones específicas para la transmisión de patógenos durante las pruebas; existe un riesgo muy bajo de infección al realizar mediciones a un paciente con tejido ulceroso y se realizan posteriores mediciones a un paciente que aún no presenta ulceración, ya que la piel humana posee tejido con ciertas propiedades de impermeabilidad que forma una

barrera protectora para el organismo ante microorganismos nocivos. Sin embargo, el riesgo de infección aumenta al medir consecutivamente a dos pacientes con tejido ulceroso, ya que el tejido interno se encuentra faltante de dicha barrera y los patógenos encuentran un ambiente similar en el segundo paciente, promoviendo su proliferación.

2.3.2 Entrevista Cara a Cara con especialista del HGT

Se recibió una muestra de polvo de Alkazyme proporcionada por la Dra. Nadia López Flores, especialista en diabetes del Hospital General de Tulancingo, quien, a su vez, amablemente brindó información pertinente respecto a dicha solución. De acuerdo con los datos proporcionados, el Alkazyme es un agente antiséptico en polvo que se diluye en agua para su uso en una variedad de instrumental médico y quirúrgico, principalmente endoscopios y fresas de diamante o tungsteno; el instrumental se sumerge en la solución bajo parámetros determinados.

Tras la inmersión del instrumental en la solución, se procede a secar mediante el uso de apósitos estériles, manipulando el material con guantes de látex estériles. No representa ningún riesgo para el paciente siempre y cuando el procedimiento de desinfección sea realizado correctamente. Las cirugías internas requieren un grado de esterilización, por lo que en este ambiente se recurre al uso de autoclaves, por lo que su uso se limita a procedimientos de cirugía menor y componentes termosensibles.

La justificación principal para su uso reside en la prevención de las infecciones inter-paciente, por lo que se considera el uso del Alkazyme. De acuerdo a lo declarado por la especialista, siempre existirá un riesgo de infección; no obstante, si se realiza el procedimiento de desinfección correctamente, dicho riesgo se reduce considerablemente y se logra un nivel de asepsia adecuado para las mediciones. Se hizo mención del acceso limitado del personal al almacén de sustancias desinfectantes y medicamentos, además de las medidas necesarias para la entrada a dicha área, como la prohibición de teléfonos celulares. Asimismo, la especialista desconoce el origen del antiséptico, ya que el hospital cuenta con proveedores especiales, por lo cual no se tiene conocimiento del lugar donde se adquiere.

2.3.3 Determinación del espectro de absorbancia

Los espectros de absorción muestran cuánta luz es absorbida por una muestra en función de la longitud de onda. Normalmente, la absorbancia está linealmente relacionada a la concentración de la sustancia. El software SpectraSuite® define la absorbancia mediante la siguiente ecuación:

$$A_{\lambda} = -\log_{10}\left(\frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{R_{\lambda} - D_{\lambda}}\right)$$

Donde:

S_{λ} = Intensidad de la muestra a una longitud de onda λ

D_{λ} = Intensidad oscura a una longitud de onda λ

R_λ = Intensidad de referencia a una longitud de onda λ

El arreglo típico para la determinación de la absorbancia espectral de una sustancia consta de una fuente cuya luz es enviada a la fibra de entrada hacia un recipiente o cubeta contenida dentro de un porta cubeta. La luz interactúa con la muestra y viaja a través de la fibra de salida hacia el espectrómetro.

Tabla 2.4. Glosario de términos relevantes para los epígrafes anteriores.

Absorbancia
1. f. Fís. Medida de la atenuación de una radiación al atravesar una sustancia, que se expresa como el logaritmo de la relación entre la intensidad saliente y la entrante.



Figura 2.2. Configuración típica para la obtención de la absorbancia de una muestra. Manual Ocean Optics SpectraSuite

<https://oceanoptics.com/support/technical-documents/>

2.3.3.1 Materiales y métodos

El arreglo experimental para la toma de los espectros de absorbancia, mostrado en la Fig. 2.3 consta de una fuente de luz de halógeno (Newport LSM-T-S) así como 2 fibras monomodo (Ocean Optics) fijadas a un cuvette holder (Ocean Optics CUV) para el análisis de la muestra (Alkacide, concentración desconocida) y a su vez conectada a un espectrómetro (Ocean Optics USB4000), controlado mediante el software Spectra Suite y una computadora de escritorio, donde se guardaron los espectros, como puede verse en la Fig. 2.4.

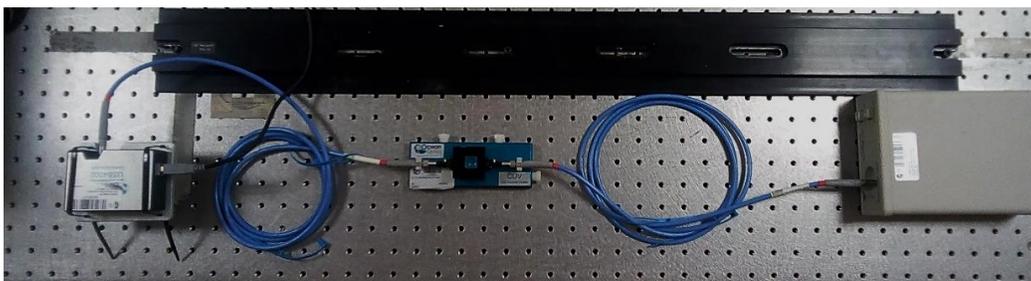


Figura 2.3. Arreglo experimental para la obtención de espectro de absorbancia.

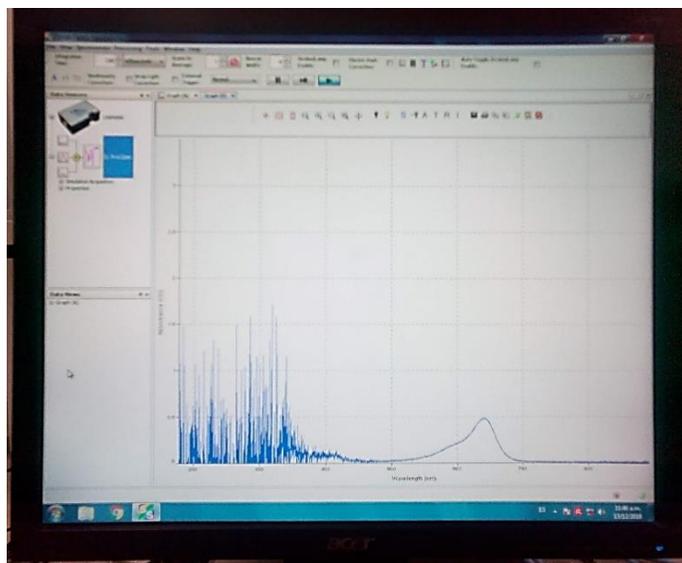


Figura 2.4. Espectro de absorbancia obtenido.

Tras iniciar la fuente se esperó por 10 minutos para que llegue a la temperatura indicada y su emisión sea estable, posteriormente se inició el software y se colocó el recipiente dentro del portacubeta; dicho recipiente fue llenado con agua embotellada para usarse como referencia del espectrómetro. Tras iniciar el asistente para la toma de espectros en el software y guardar los espectros oscuro y de referencia, se procedió a vaciar y secar la cubeta apropiadamente antes de ser llenada con la muestra de Alkacide.

Los espectros obtenidos se almacenaron en forma de archivo .txt y fueron graficados en el software MATLAB. Fueron tomados un total de 10 espectros, los cuales fueron promediados y graficados junto con su desviación estándar.

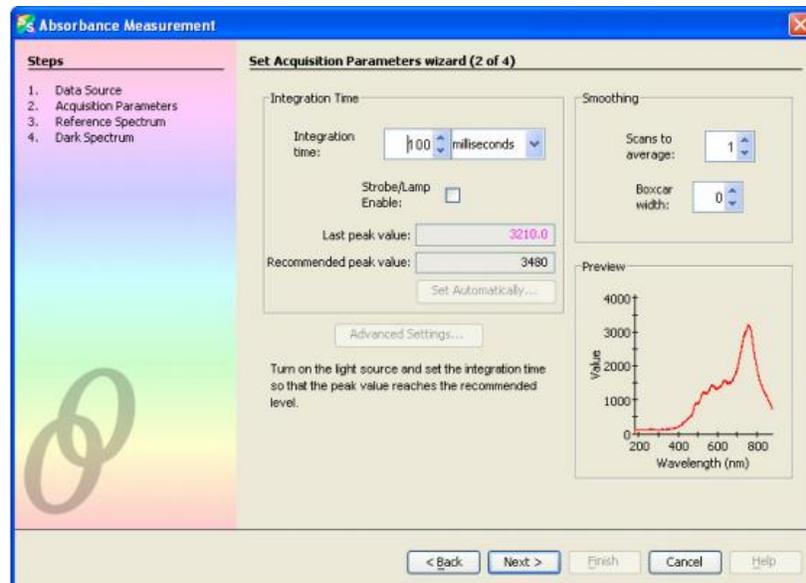


Figura 2.5. Ajuste de parámetros de adquisición. Manual Ocean Optics SpectraSuite.
<https://oceanoptics.com/support/technical-documents/>

2.3.3.2 Resultados

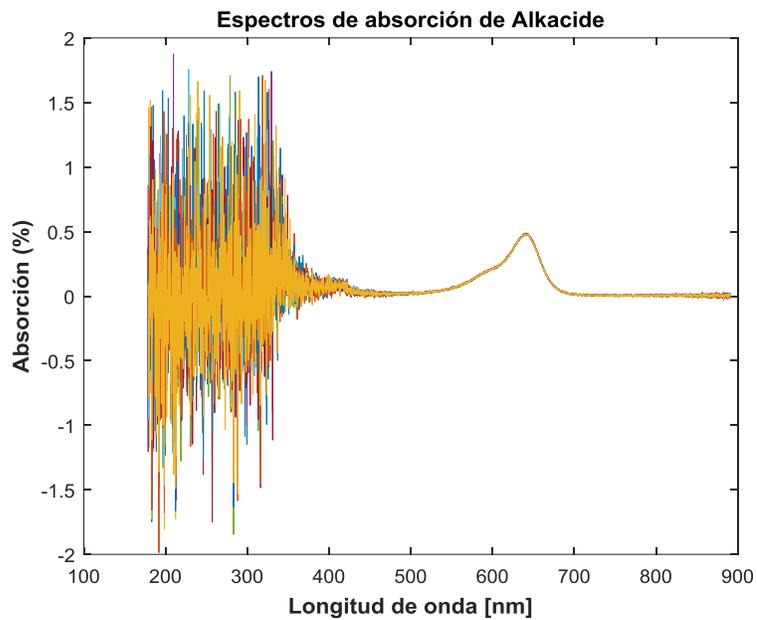


Figura 2.6. Espectros de absorción de la solución Alkacide.

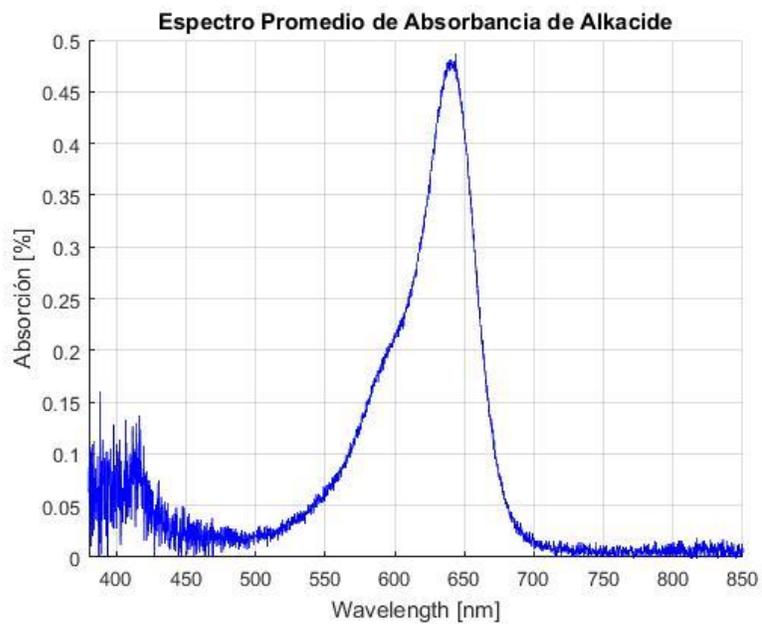


Figura 2.7. Espectro promedio de absorción de Alkacide.

Uno de los objetivos de la caracterización del desinfectante Alkacide es la determinación de las longitudes de onda a las que presenta mayor absorbancia, así como definir la forma en que dicha sustancia puede afectar los espectros medidos en pacientes, siendo esto un aspecto de gran relevancia para percatarse de la presencia de residuos de la misma durante las mediciones.

Se tomó un total de 10 espectros de la sustancia Alkacide, cuyas gráficas muestran un comportamiento constante a través del tiempo en la zona visible, dejando pequeñas variaciones limitadas a la zona del infrarrojo y una cantidad considerable de ruido en el ultravioleta y un pico de absorción alrededor de los 641 nm.

2.3.3.3 Discusión

Mediante la toma de espectros de absorbancia, se caracterizó de forma espectral la absorción del desinfectante Alkacide, proporcionado por personal del Hospital General de Tulancingo en una concentración hasta ahora desconocida y se buscó cualquier variabilidad entre los espectros.

El comportamiento de los resultados mostrados está parcialmente atribuido al rango espectral del espectrómetro, el cual está condicionado a las características propias de fábrica, así como de la rejilla de difracción y la rendija empleada con él. Sin embargo, los espectros obtenidos a partir de la caracterización del desinfectante representan un conocimiento novedoso y oportuno para futuras investigaciones, ya

que hasta el momento no se tiene conocimiento de literatura donde se brinde información espectral sobre la solución.

El trabajo de investigación más cercano hallado ha sido el desarrollado por Zhang *et al.* [13], donde se relaciona el índice de incremento y tiempo de respuesta de la fluorescencia producida por una solución compuesta de alcohol polivinílico y distintas concentraciones de glutaraldehído.

2.4 Referencias

- [1] Vinik, A. I., Erbas, T., Park, T. S., Pierce, K. K., & Stansberry, K. B. (2001). Methods for evaluation of peripheral neurovascular dysfunction. *Diabetes technology & therapeutics*, 3(1), 29-50.
- [2] Anand, S., Sujatha, N., Narayanamurthy, V. B., Seshadri, V., & Poddar, R. (2014). Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring diabetic foot ulcer—A pilot study. *Optics and Lasers in Engineering*, 53, 1-5.
- [3] Sujatha, N., Anand, B. S., Nivetha, K. B., Narayanamurthy, V. B., Seshadri, V., & Poddar, R. (2015). Assessment of microcirculatory hemoglobin levels in normal and diabetic subjects using diffuse reflectance spectroscopy in the visible region—a pilot study. *Journal of applied spectroscopy*, 82(3), 432-437.
- [4] Papazoglou, E. S., Neidrauer, M. T., Zubkov, L., Weingarten, M. S., & Pourrezaei, K. (2009). Noninvasive assessment of diabetic foot ulcers with diffuse photon density wave methodology: pilot human study. *Journal of biomedical optics*, 14(6), 064032.
- [5] Neidrauer, M., Zubkov, L., Weingarten, M. S., Pourrezaei, K., & Papazoglou, E. S. (2010). Near infrared wound monitor helps clinical assessment of diabetic foot ulcers.
- [6] Rajbhandari, S. M., Harris, N. D., Tesfaye, S., & Ward, J. D. (1999). Early identification of diabetic foot ulcers that may require intervention using the micro lightguide spectrophotometer. *Diabetes care*, 22(8), 1292-1295.
- [7] Nyström, J., Lindholm-Sethson, B., Stenberg, L. *et al.* Med. Biol. Eng. Comput. (2003) 41: 324. <https://doi.org/10.1007/BF02348438>
- [8] Glutaraldehído (Wikipedia). Consultado el 29 de noviembre de 2018. <https://es.wikipedia.org/wiki/Glutaraldehído#Referencias>
- [9] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Consultado el 05 de diciembre de 2018. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs208.html
- [10] ESPINEL, J. *et al.* Colitis por glutaraldehído. Rev. esp. enferm. dig. [online]. 2006, vol.98, n.2, pp. 149-150. ISSN 1130-0108. doi: [10.4321/S1130-01082006000200014](https://doi.org/10.4321/S1130-01082006000200014)
- [11] El glutaraldehído. Los peligros ocupacionales en los hospitales. Folleto del Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) Cincinnati, OH. DHHS (NIOSH) Número de publicación 2001-115
- [12] Piédrola Gil, Gonzalo. Medicina preventiva y salud pública. 10 edición. Editorial Elsevier España, 2000. [ISBN 8445810243](https://doi.org/10.1016/B978-84-458-1024-3), 9788445810248
- [13] Qiu, L., Zhang, L., Turzhitsky, V., Khan, U., Zakharov, Y., Pleskow, D. K., Perelman, L. T. (2019). Multispectral Endoscopy With Light Gating for Early Cancer

Detection. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 25(1), 1–9.
doi:10.1109/jstqe.2018.2854608

CAPÍTULO 3

Influencia del Material de la Sonda de Fibras Ópticas en los Espectros de Reflexión Difusa

3.1 Prototipo de Sonda de Fibras Ópticas

El presente epígrafe describe la fabricación artesanal del primer prototipo de sonda de fibras ópticas cuyo propósito principal es la obtención de espectros en dos formas distintas: La primera consiste en colocar las puntas de las fibras sobresaliendo de una superficie de un protector cilíndrico, mientras la segunda consiste en colocar las puntas al mismo nivel de dicho protector, con una distancia constante entre ambas fibras. Este prototipo inicial ofrece la ventaja de medición en ambas modalidades, ya que la posición de las fibras aún no es fija y permite una mayor versatilidad, haciendo posible una comparación de resultados obtenidos bajo ambas condiciones.

3.1.1 Introducción

La espectroscopía de reflexión difusa (ERD) ha sido un método ampliamente investigado en aplicaciones médicas, donde ha permitido la detección de distintos padecimientos o anomalías en diversos sitios corporales, tanto internos (colon, cerebro, hígado, cavidad oral, pulmón, útero, próstata y ojo) [5-13] como externos (piel, senos) [14-18]. Por ejemplo, A'Amar *et al.* [12] emplearon la ERD con el

propósito de identificar tejido prostático *ex -vivo* en distintos estados, logrando una diferenciación aceptable con una sensibilidad de 0.83 y una especificidad de 0.87 para distinguir entre tejido sano y displásico, así como una sensibilidad de 0.80 y una especificidad de 0.88 para distinguir entre tejido displásico y tejido con prostatitis. Lisenko *et al.* [13] aplicaron esta técnica al estudiar la conjuntiva bulbar humana, obteniendo parámetros tanto estructurales como morfológicos de la misma. Por último, La ERD también ha sido empleada por Brouwer *et al.* [9] para la evaluación del tejido bucal remanente posterior a la extirpación de tejido canceroso local. El objetivo del análisis es identificar células cancerosas no extraídas mediante el desarrollo de un algoritmo clasificador de validación cruzada, obteniendo una sensibilidad, especificidad y precisión aceptables (89%, 82% y 86%, respectivamente).

La ERD en aplicaciones clínicas se ha implementado generalmente usando arreglos mediante sondas de fibras ópticas en combinación con fuentes de luz e instrumentación espectrométrica. La descripción de estos arreglos ópticos aparece en varios artículos de investigación [2] y de revisión [4]. Esencialmente, consisten en el uso combinado de fibras de emisión y fibras colectoras, donde las primeras, llevan radiación electromagnética proveniente de una fuente luminosa para explorar el tejido en estudio y las segundas, recolectan una fracción de la de luz que después de haber sufrido múltiples eventos de absorción y esparcimiento en el interior del tejido, reemerge por su superficie y es conducida hasta un espectrómetro. La luz reemergente es difusa y contiene información de la estructura y composición del tejido. Esta luz difusa es procesada e interpretada posteriormente mediante

diferentes modelos de transporte luminoso [17, 19-26] para emitir un juicio del estado de salud del tejido. Por ejemplo, Nachabé y Cappon [21, 22] usan la teoría de la difusión adoptando los resultados del modelo propuesto por Farrell [27], para realizar la extracción de parámetros ópticos del tejido analizado. En tanto que Palmer [24, 28] y Simpson [29] entre otros autores, extraen las propiedades ópticas de los tejidos utilizando el método Monte Carlo, que como es sabido es más flexible, riguroso y preciso aunque computacionalmente intensivo. También, se lleva a cabo la extracción de las propiedades ópticas de los tejidos biológicos empleando modelos empíricos [25, 30, 31]. Finalmente, otros autores realizan la evaluación del estado de salud de los tejidos mediante “clasificación basada en reglas” [21] o en redes neuronales artificiales [17, 32, 33].

3.1.2 Materiales y Métodos

El arreglo experimental se encuentra basado en artículos previos donde la técnica de ERD con fibras es implementada para una amplia gama de aplicaciones; cuyos componentes principales son una fuente de luz, una sonda bifurcada de fibra óptica, un espectrómetro y un ordenador [1-4]. Este método provee una comparación visual y cuantitativa entre los espectros de reflexión difusa, lo que permite una evaluación detallada.

El primer modelo de sonda de fibras ópticas empleado para las mediciones espectrales fue hecho de forma casera haciendo uso de los materiales disponibles en el laboratorio de Óptica Biomédica, como se aprecia en la Fig. 3.1; dicha sonda

se constituye de dos fibras ópticas monomodo de $1000\mu\text{m}$ (Edmund Optics 02-536), unidas en uno de los extremos mediante un tubo flexible plástico transparente de 7.6 mm de diámetro y 79.5 mm de longitud, el cual se encuentra a su vez insertado dentro de una barra cilíndrica hecha de nylamid color blanco con un diámetro de 12.8 mm y una longitud de 56 mm (desbastada con lija grado 100), donde los núcleos de ambas fibras sobresalen por 1.65 mm, como puede verse en la [Fig. 3.2](#).

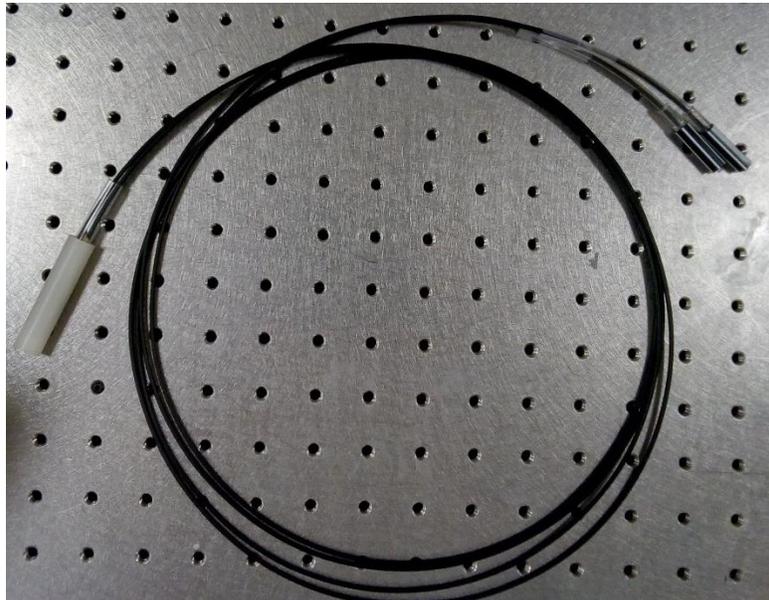


Figura 3.1. Sonda de fibras ópticas de fabricación artesanal.

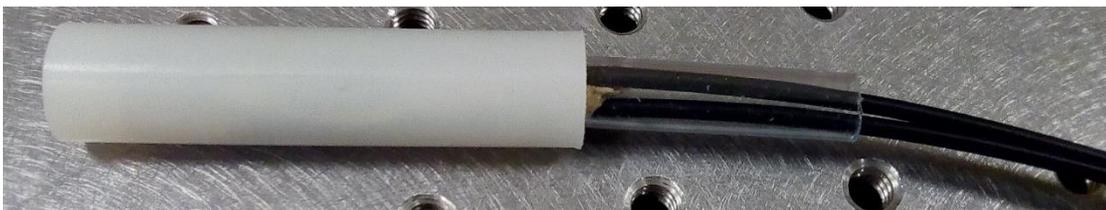


Figura 3.2. Extremo unificado de la sonda de fibras ópticas.

Los extremos opuestos de ambas fibras se encuentran insertados en tubos plásticos transparentes extraídos de sondas médicas para suero hechas de cloruro de polivinilo con un diámetro de 3.45 mm, unidos a terminales plásticas de 6 mm de diámetro, a su vez colocada dentro de cilindros plásticos color negro con un diámetro interno de 6.7 mm, utilizados como conectores hacia la fuente de luz y espectrómetro correspondiente, tal como lo muestra la [Fig. 3.3](#).



Figura 3.3. Extremo bifurcado de la sonda de fibras ópticas.

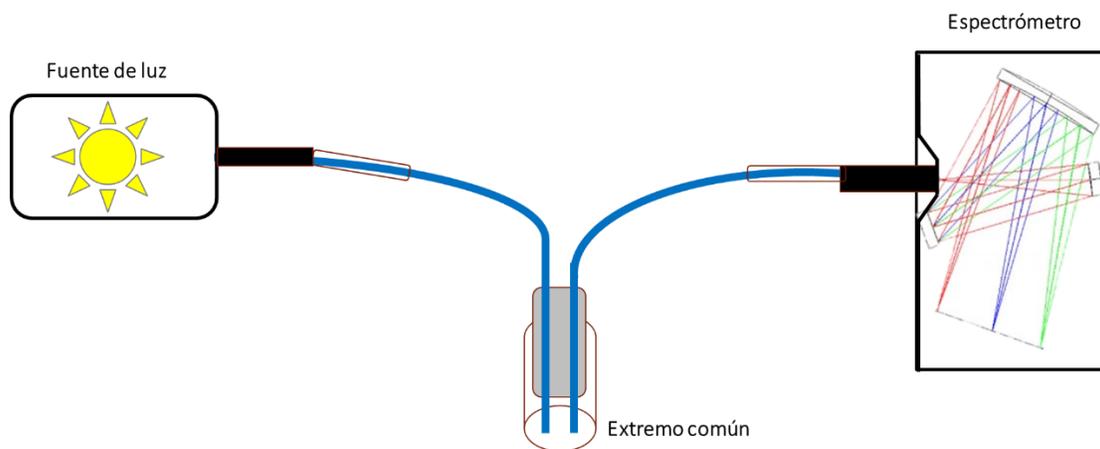


Figura 3.4. Esquema de la sonda de fibras ópticas.

El procedimiento de fabricación de la sonda se conforma de los siguientes pasos:

- La barra de nylamid fue perforada mediante el uso de brocas de distintos diámetros (4.3 mm, 5.5 mm y 7.4 mm, respectivamente) de forma gradual hasta alcanzar el diámetro del tubo insertado en su interior, con dicha perforación llegando hasta los 49 mm de profundidad.
- Una vez comprobado el correcto complemento entre el tubo plástico y la barra de nylamid, se realizaron dos perforaciones de 0.9 mm de diámetro en el fondo de la cavidad realizada, con una separación de 3 mm entre sus centros. Dichas perforaciones permitieron a las puntas de las fibras ópticas sobresalir de la superficie de la barra de nylamid.
- El tubo de 7.6 mm fue insertado dentro de la barra de nylamid, tras lo cual se insertaron las puntas descubiertas de las fibras ópticas, haciéndolas pasar por los orificios de 0.9 mm hasta llegar al revestimiento. Se colocó una pieza de cartón entre ambas fibras dentro del tubo plástico para mantener una distancia igual a la existente entre los orificios posteriores.
- Los extremos opuestos de las fibras fueron pelados removiendo los revestimientos exteriores. Posteriormente, fueron insertados en las sondas médicas. Estas se colocaron dentro de tubos plásticos negros que serán usados como conectores debido a su capacidad de adaptarse de forma aceptable a las conexiones de distintas fuentes de luz y espectrómetros con conector SMA 905 (Fig. 3.5).



Figura 3.5. Espectrómetro Ocean Optics USB2000+UV-VIS con conexión SMA 905.
Ocean Optics (<https://oceanoptics.com/product/usb2000uv-vis/>)

3.1.3 Mecanismo de funcionamiento

El presente diseño de sonda posee la capacidad de ajustar el acople de la frontera sonda-tejido mediante el desplazamiento interno de las fibras ópticas, lo que permite realizar la toma de espectros de reflexión difusa bajo ambas condiciones de frontera, tanto acoplada como desacoplada, lo cual lo hace una herramienta versátil para su propósito de diseño. Su posición permanente será determinada tras la cuantificación de parámetros ópticos a diversos materiales bajo ambas modalidades.

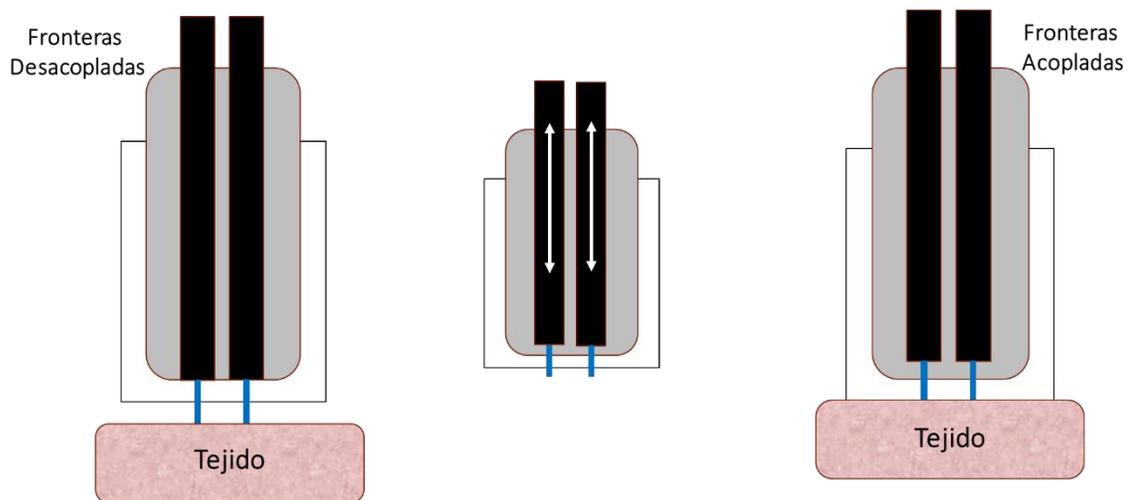


Figura 3.6. Esquema de acople de fronteras de la sonda de fibras ópticas.

3.2 Estudio de la Influencia de la Frontera en los Espectros de Reflexión Difusa

En el presente epígrafe se lleva a cabo una comparación espectral de mediciones tomadas a un material de muestra y tejido de voluntarios utilizando la sonda de fibras ópticas fabricada y descrita previamente, que permitirá la comparación de espectros tomados bajo condiciones de fronteras acopladas y desacopladas para posteriormente determinar si existen diferencias significativas que pudiesen alterar de forma negativa los resultados a obtener.

3.2.1 Introducción

Es conocido que la reflexión total interna (TIR) se manifiesta cuando la luz viaja a través de un medio con un índice de refracción dado n_1 que se encuentra en

contacto con otro medio cuyo índice de refracción n_2 es menor. Esto ocasiona que parte de la luz que penetre en tejido biológico en contacto con el aire presente TIR. El caso opuesto sucede al tener dos medios cuyo índice de refracción es comparable; la luz encontrará en el segundo medio una posible vía de salida del tejido, lo que favorece la pérdida de luz que puede ser captada por un detector si se quiere medir la reflexión difusa del primer tejido.

La piel humana presenta un índice de refracción mayor al aire, por lo que, si no hay alguna frontera acoplada a la misma, aumenta la posibilidad de múltiples reflexiones dentro de ella antes de salir. Dicha condición será utilizada para explicar los espectros de reflexión difusa tomados de un objeto de muestra y tejido in vivo tomados bajo las condiciones de fronteras acopladas y desacopladas.

3.2.2 Materiales y Métodos

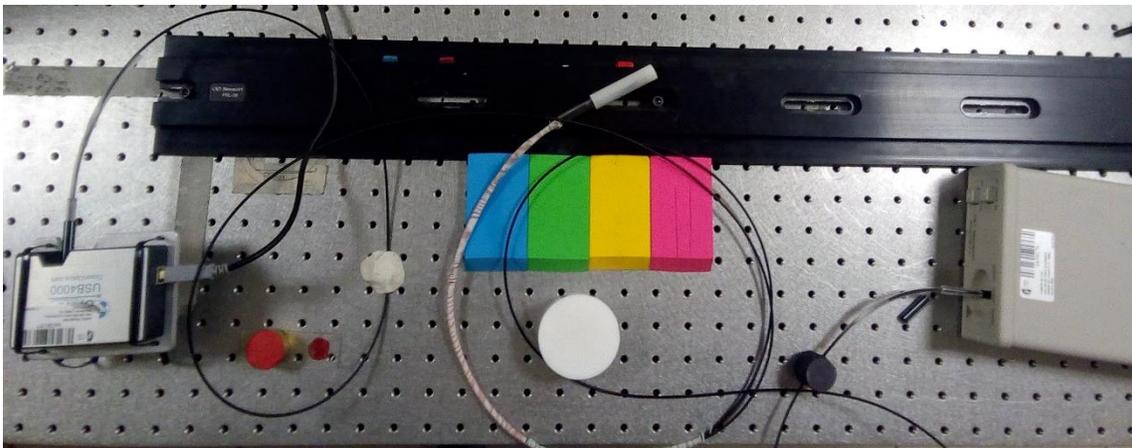


Figura 3.7. Arreglo experimental para la toma de DRS.

La toma de espectros de reflexión difusa fue llevada a cabo con una fuente de luz de halógeno (Newport LSM-T-S), conectada a uno de los extremos bifurcados de la sonda de fibras ópticas previamente descrita, el otro extremo se encuentra unido a un espectrómetro (Ocean Optics USB4000), conectado a un ordenador que controla las mediciones mediante el software Spectra Suite; el objeto de estudio fue una muestra de plastilina color rojo, mostrado en la Fig. 3.8, así como de cinco voluntarios, cuyo sitio de medición es marcado mediante un círculo. Esto puede verse en la Fig. 3.9.



Figura 3.8. Espectrómetro USB 4000 y muestra de plastilina utilizada.

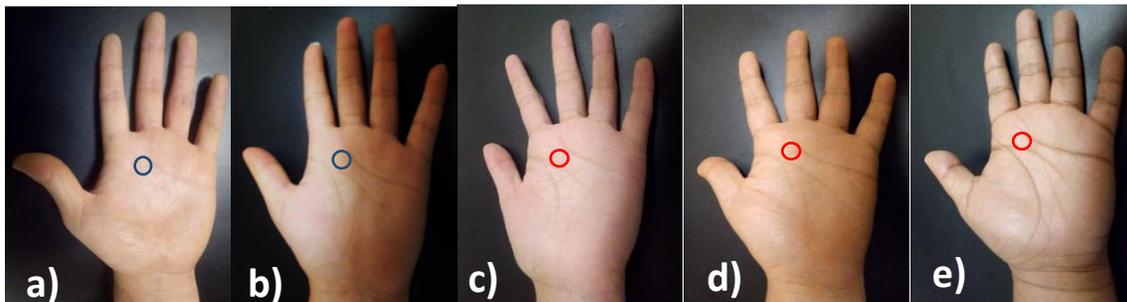


Figura 3.9. Manos de los voluntarios medidos. El círculo denota el lugar de colocación de la sonda.

El arreglo fue dispuesto de tal forma que la señal captada sea de suficiente intensidad para ser visualizada correctamente. Cabe mencionar que, al momento

de la experimentación, la fibra óptica no se encontraba correctamente centrada en sus respectivos conectores, por lo que se implementaron ajustes mecánicos con el fin de lograr resultados aceptables ya que al momento no se contaba con conectores SMA profesionales. La [Fig. 3.10](#) muestra dicho acople.



Figura 3.10. Fuente de luz Newport LSM-T-S conectada al extremo de la sonda de fibra.

La toma de espectros se realizó en dos formas descritas previamente: Con las fronteras de la muestra y el protector de Nylamid acoplados, donde las puntas de las fibras ópticas son introducidas en la barra de Nylamid hasta conseguir el mismo nivel entre ambos componentes, así como desacoplados, donde dichas puntas sobresalían por 1 mm y se encontraban en contacto con el objeto. Ambas formas son apreciables en la [\(Fig. 3.11\)](#).

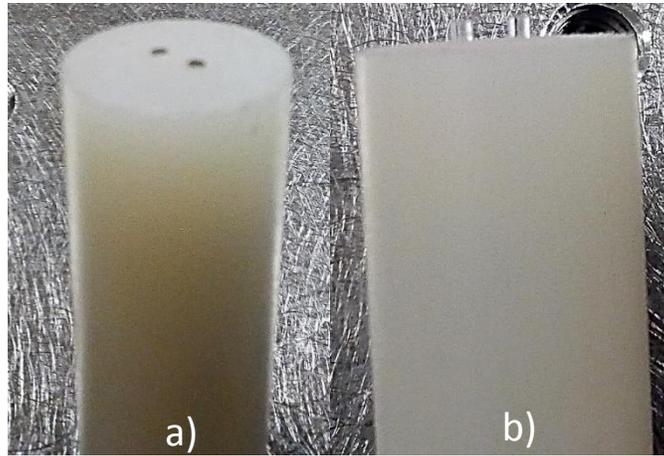


Figura 3.11. Punta de sonda de fibras ópticas a) con las fronteras acopladas y b) con las fronteras desacopladas.

La punta de la sonda en ambos casos fue colocada en contacto con el objeto de muestra de forma gentil, ejerciendo una presión mínima. Fueron tomados cinco espectros para cada modalidad; los resultados se muestran a continuación.

3.2.3 Resultados

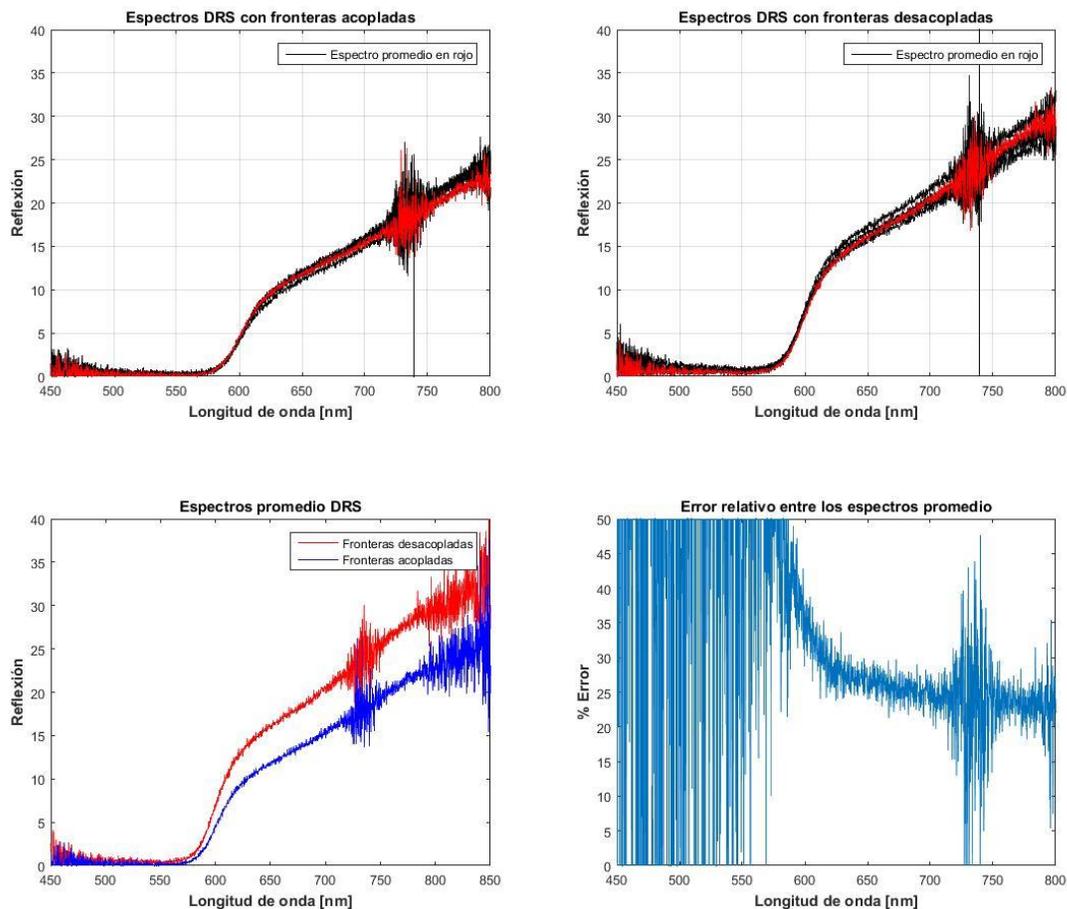


Figura 3.12. Espectros de DRS obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas para la muestra de plastilina roja.

Los espectros de la Fig. 3.12 muestran una forma que caracteriza a la muestra empleada para este estudio (plastilina roja), la cual posee un aumento gradual de la reflectancia que comienza a los 570 nm. Sin embargo, se aprecia una clara diferencia entre las intensidades producidas por la sonda con fronteras acopladas y desacopladas, cuyo porcentaje de error relativo presenta una gran oscilación de valores, por lo que existe una escasa coincidencia entre los espectros promedio de ambas variantes.

Tabla 3.1. a) Espectros de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos para los valores promedio de cada voluntario.

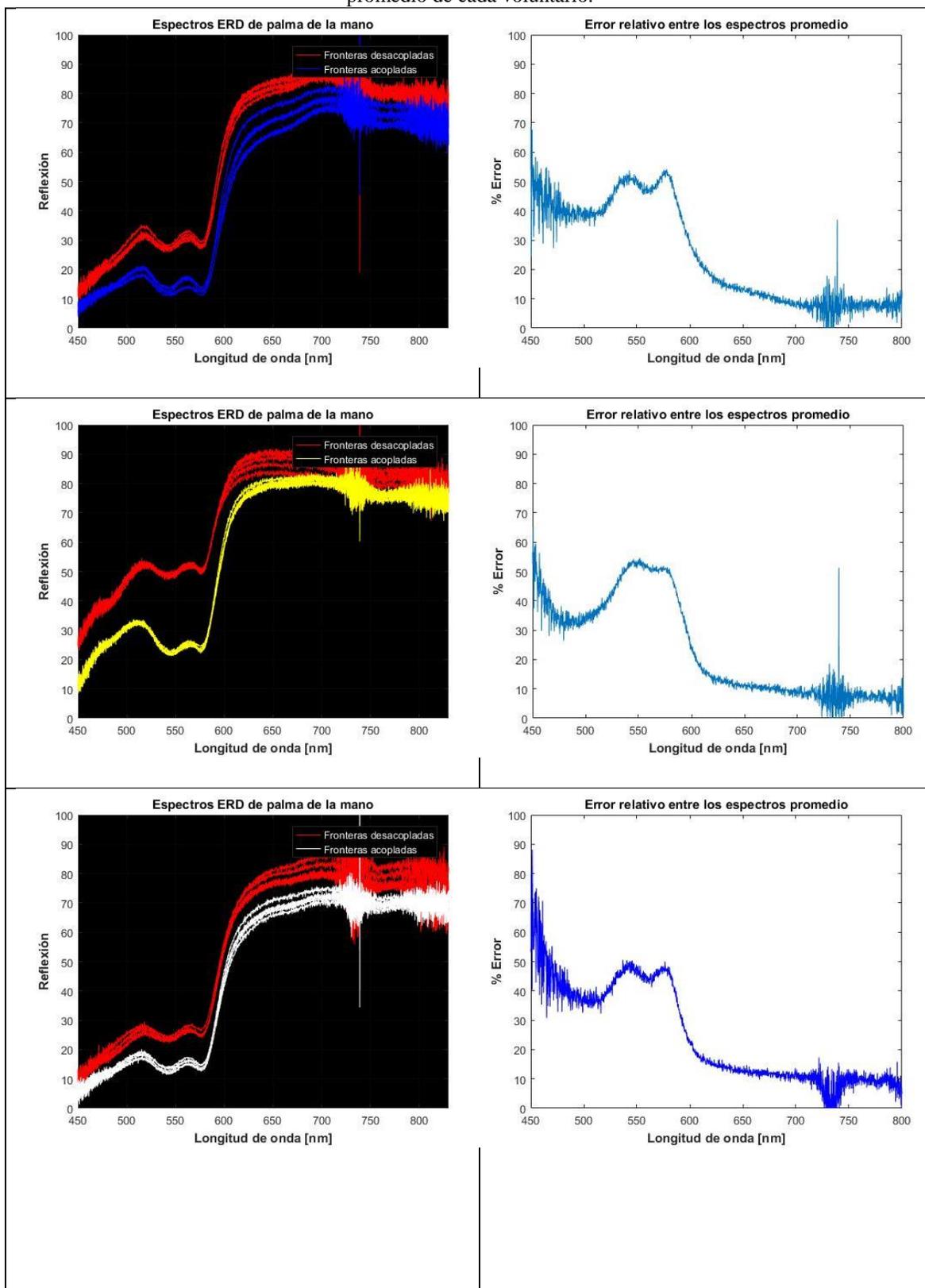


Tabla 3.1 (CONTINUACIÓN). a) Espectros de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos para los valores promedio de cada voluntario.

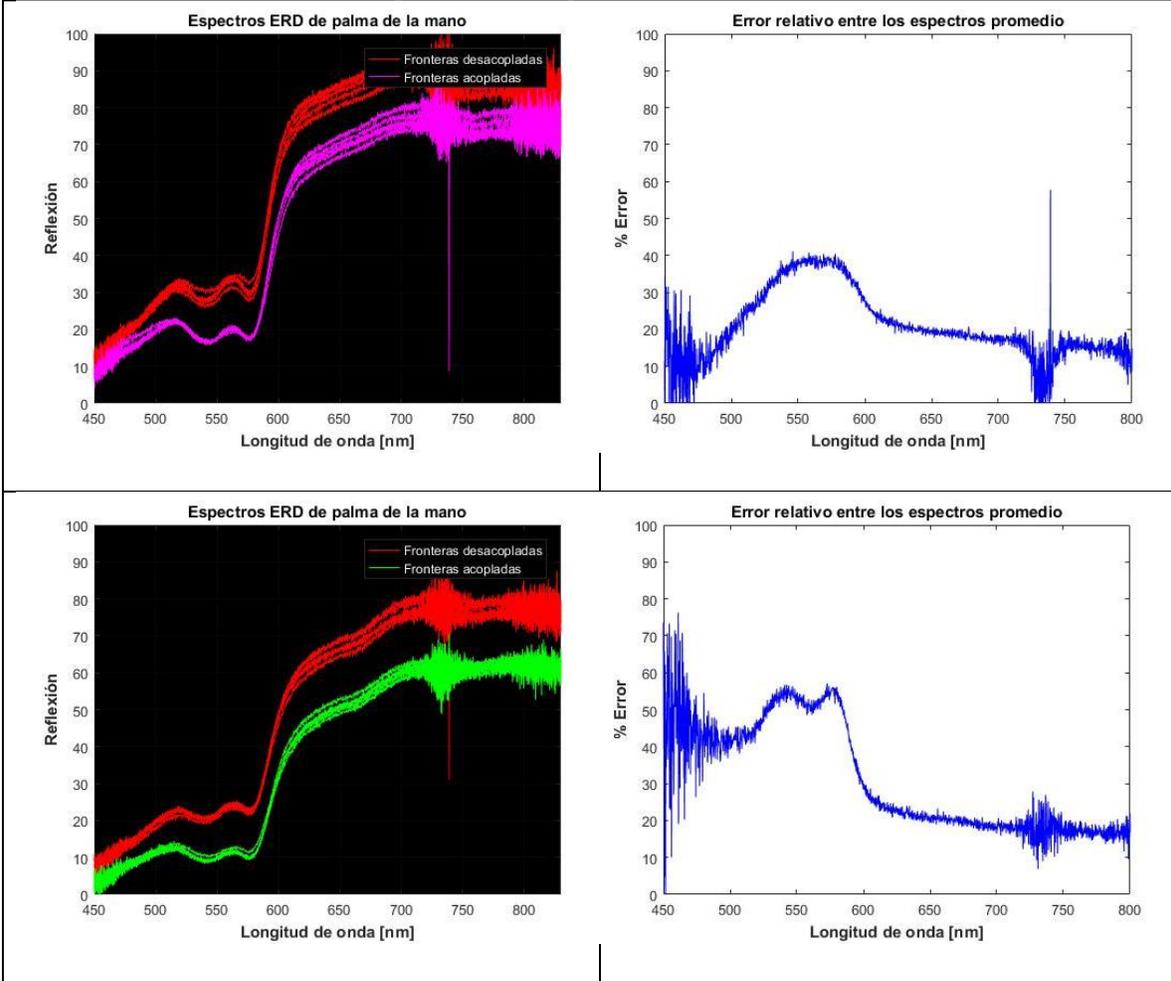


Tabla 3.2. a) Espectros promedio de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos para los valores promedio de cada voluntario. Estos últimos ya fueron utilizados en la **Tabla 3.1**

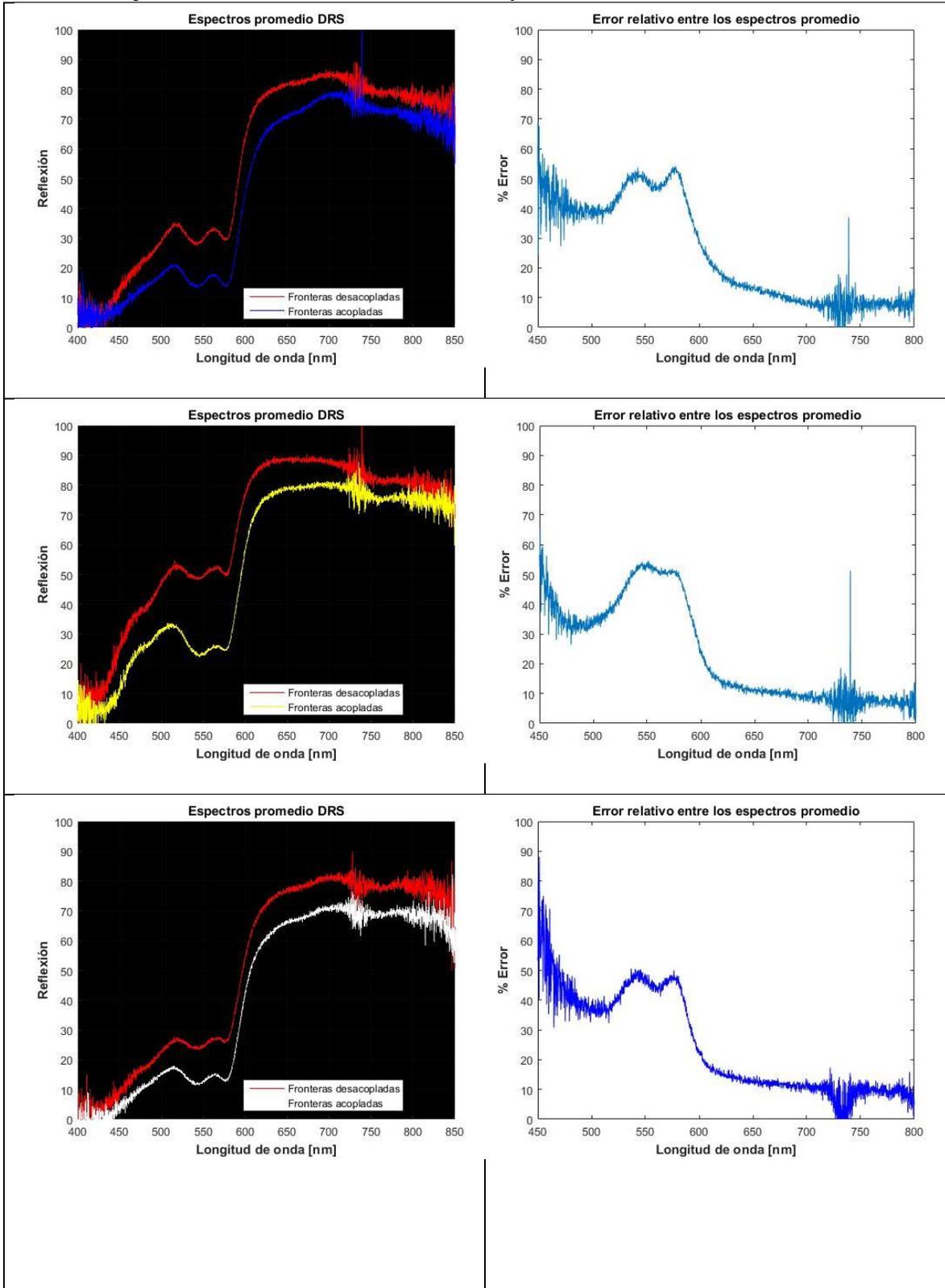
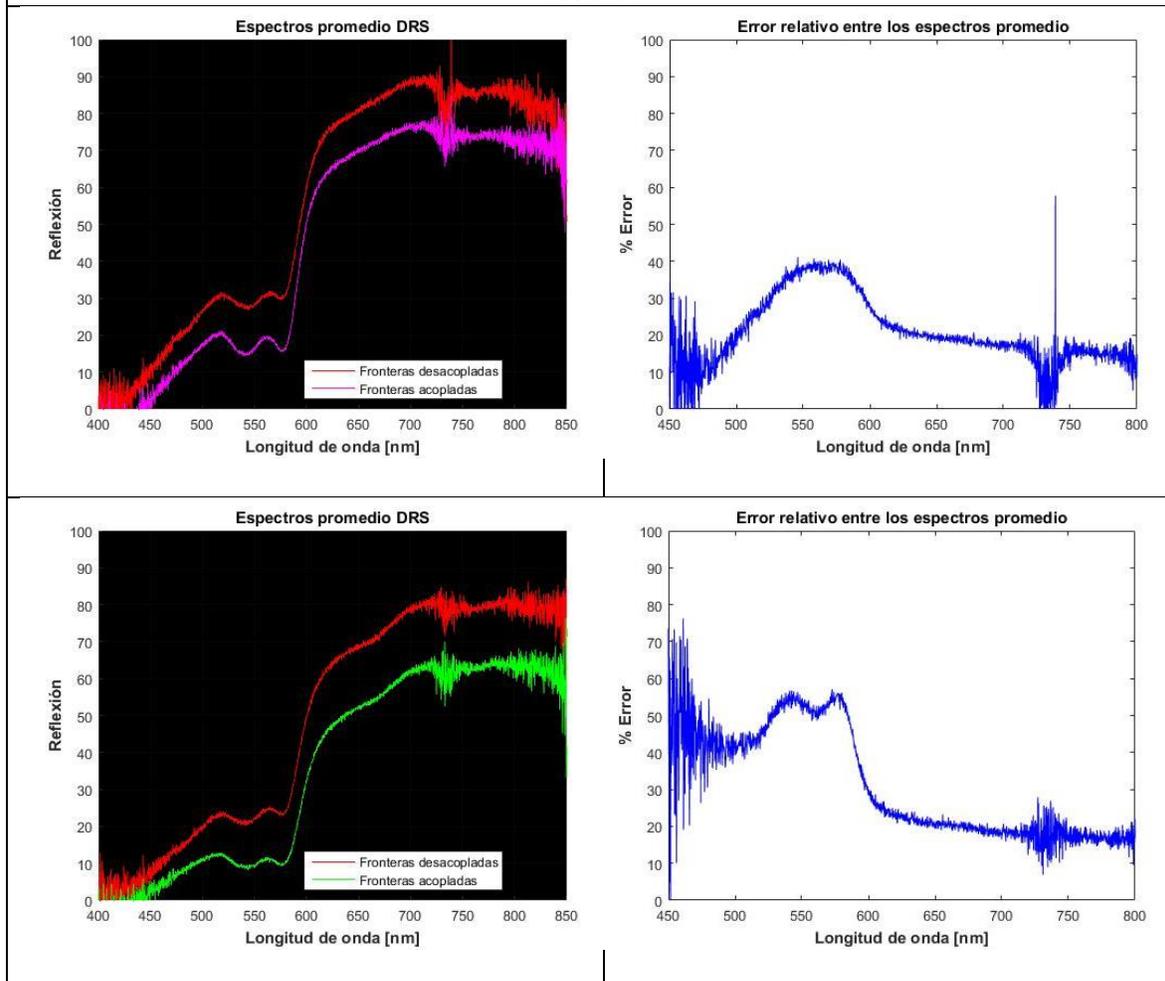


Tabla 3.2 (CONTINUACIÓN). a) Espectros promedio de RD obtenidos en ambas modalidades de la sonda de fibras ópticas con encapsulado de nylamid para la palma de la mano de los 5 voluntarios b) Errores relativos para los valores promedio de cada voluntario. Estos últimos ya fueron utilizados en la **Tabla 3.1**



3.2.4 Discusión

La evidente diferencia entre los espectros de las mediciones tomadas con las fronteras acopladas y desacopladas (véase Fig. 3.13) aunada al apreciable error relativo existente entre ambas posee connotaciones negativas para su uso en ambientes prácticos donde se busca la cuantificación de parámetros implícitos de un tejido, ya que el procesamiento de ambos espectros arrojará resultados

distantes, donde una de ellas tenderá a alejarse de la cantidad real presente en el tejido a analizar, tomando a las proporciones de hemoglobina oxigenada y desoxigenada como ejemplos de cantidades clave a obtener para la precisión en el diagnóstico del paciente.

3.3 Estudio de la Influencia del Material de la Sonda en los ERD's

3.3.1 Introducción

La sonda de fibras ópticas presente en los arreglos de ERD puede presentar una variedad de estructuras geométricas y materiales [4] dependiendo principalmente de la aplicación y los algoritmos de extracción que se utilicen. Durante la aplicación de la ERD, la sonda de fibras ópticas se pone contacto suave con la superficie del tejido para evitar que la presión mecánica de contacto afecte la medición del espectro [34, 35].

Ha sido demostrado, tanto a nivel teórico [26] como a nivel teórico y experimental [36], que la distribución geométrica y las dimensiones de las propias fibras de la sonda afectan la fracción de luz difusa recolectada por las fibras de detección. Sin embargo, la simulación Monte Carlo usada en el trabajo de [26], no toma en consideración la influencia de los materiales entre fibras y/o el material encapsulador (tubo/barra) de sondas reales como las adquiridas comercialmente o las desarrolladas artesanalmente por los propios investigadores. De hecho, dicha la simulación solo considera un escenario donde se emplean fibras independientes sin

material alguno entre ellas. Dicho material en sondas reales entraría en contacto con los tejidos a estudiar y podría perturbar el espectro medido.

A nivel clínico en diversos trabajos de investigación, se ha reportado el uso de sondas de fibras ópticas elaboradas con materiales distintos tales como acero inoxidable [11, 21, 37-41], teflón [42] y acrílico [43, 44], así como combinaciones de materiales, como por ejemplo, tubos de acero perforados lateralmente a los cuales se fijan interiormente las fibras ópticas mediante pegamento epóxico [30]. Atendiendo a la procedencia de la sonda de fibras ópticas empleada, los trabajos anteriores se pueden clasificar en: 1) Los que han empleado sondas de fibras ópticas comerciales [11, 21, 40, 41] y 2) Los que han elaborado artesanalmente sus propias sondas de fibras ópticas cuyos diseños y materiales se basan en las necesidades específicas de la aplicación clínica [38, 42, 44]. Sin embargo, en ninguno de estas dos categorías de sondas ópticas empleadas, se hace mención de la influencia del material de la sonda que está en contacto directo con el tejido sobre los espectros de reflexión difusa medidos. Finalmente, en el artículo de revisión de Utzinger *et al.* [4] sobre las sondas de fibra óptica para aplicaciones biomédicas, se discute otros materiales viables para la fabricación del encapsulado como son el óxido de aluminio (que posterior a un proceso de cristalización se transforma en zafiro) y algunos pegamentos epóxicos de la marca Epotek, como los tipos 353 y 375. Otra opción son los polímeros termoplásticos, ya que poseen cierta flexibilidad y pueden facilitar su manipulación de acuerdo a la aplicación. Tampoco en este artículo de revisión se comenta la influencia de dichos materiales en los espectros ópticos medidos con sondas que los contienen.

En este estudio, evaluamos experimentalmente la influencia que tiene el material del extremo de la sonda de fibras ópticas que está en contacto con el tejido a investigar sobre los espectros de reflexión difusa medidos. La evaluación se realiza para dos tipos de materiales (nylamid y acrílico) en forma de barra cilíndrica, a lo largo del interior de las cuales se colocan la fibra-emisora y la fibra-detectora de la sonda, dispuestas paralelamente entre sí y a la dirección lateral de la barra.

La evaluación se realiza en la palma de la mano de cuatro voluntarios. Los espectros son medidos mediante el uso de un espectrómetro de fibra óptica USB 4000 cuando la iluminación se realiza con una fuente de luz halógeno. La influencia de los materiales sobre los espectros se realiza mediante la comparación del espectro tomado cuando ambas fibras sobresalen de la cara frontal de la barra cilíndrica (frontera desacoplada, FNA) y cuando se encuentran totalmente rasantes dicha cara (frontera acoplada, FA).

Nuestros resultados preliminares indican que tanto para el nylamid como para el acrílico existen diferencias significativas entre el espectro tomado con la sonda en la condición de frontera acoplada y frontera desacoplada. El error relativo de estos espectros es dependiente de la zona espectral, siendo altamente variable (de 0% a %100) en la región 450-585 nm y de hasta 45% en la región 585-800 nm.

3.3.2 Materiales y Métodos

La investigación actual incluyó la toma y análisis de espectros de reflexión difusa a cuatro voluntarios sobre la palma de la mano mediante dos sondas de fibras ópticas similares confeccionadas con dos tipos de materiales encapsuladores

(acrílico y nylamid) con el objetivo de evaluar la influencia de los mismos en los espectros ópticos registrados.

Tanto el acrílico como el nylamid son materiales relativamente económicos, fáciles de maquinar y comercialmente disponibles. El acrílico como elemento encapsulador ha sido utilizado a nivel clínico en pocos trabajos de investigación [43-45] mientras que el nylamid, hasta donde sabemos, no ha sido reportado como material encapsulador en sondas ópticas para estudios biomédicos. Además, hasta donde se ha investigado, no se ha reportado la influencia de ninguno de estos dos materiales en los espectros de reflexión difusa.

3.3.3 Resultados

En el presente trabajo, se obtuvieron espectros de reflexión difusa mediante el uso de un arreglo espectrométrico típico y una sonda bifurcada de fibra óptica, elaborada artesanalmente. Los encapsulados para la sonda fueron hechos mediante la perforación de piezas de nylamid y acrílico empleando un taladro en miniatura equipado con una broca cuyo diámetro coincide con aquel correspondiente a las fibras seleccionadas para lograr un ajuste apropiado y evitar el movimiento de estas dentro de las cavidades practicadas. Las muestras aquí medidas constaron de tejido in vivo de voluntarios en el estudio. Dichas muestras fueron analizadas para ambos materiales, tanto en condiciones de frontera acoplada como desacoplada. La [Tabla. 3.3](#) muestra los ERD tomados de cada voluntario con el encapsulado de nylamid en ambas condiciones de fronteras.

Tabla 3.3. a) Espectros de reflexión difusa tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros.

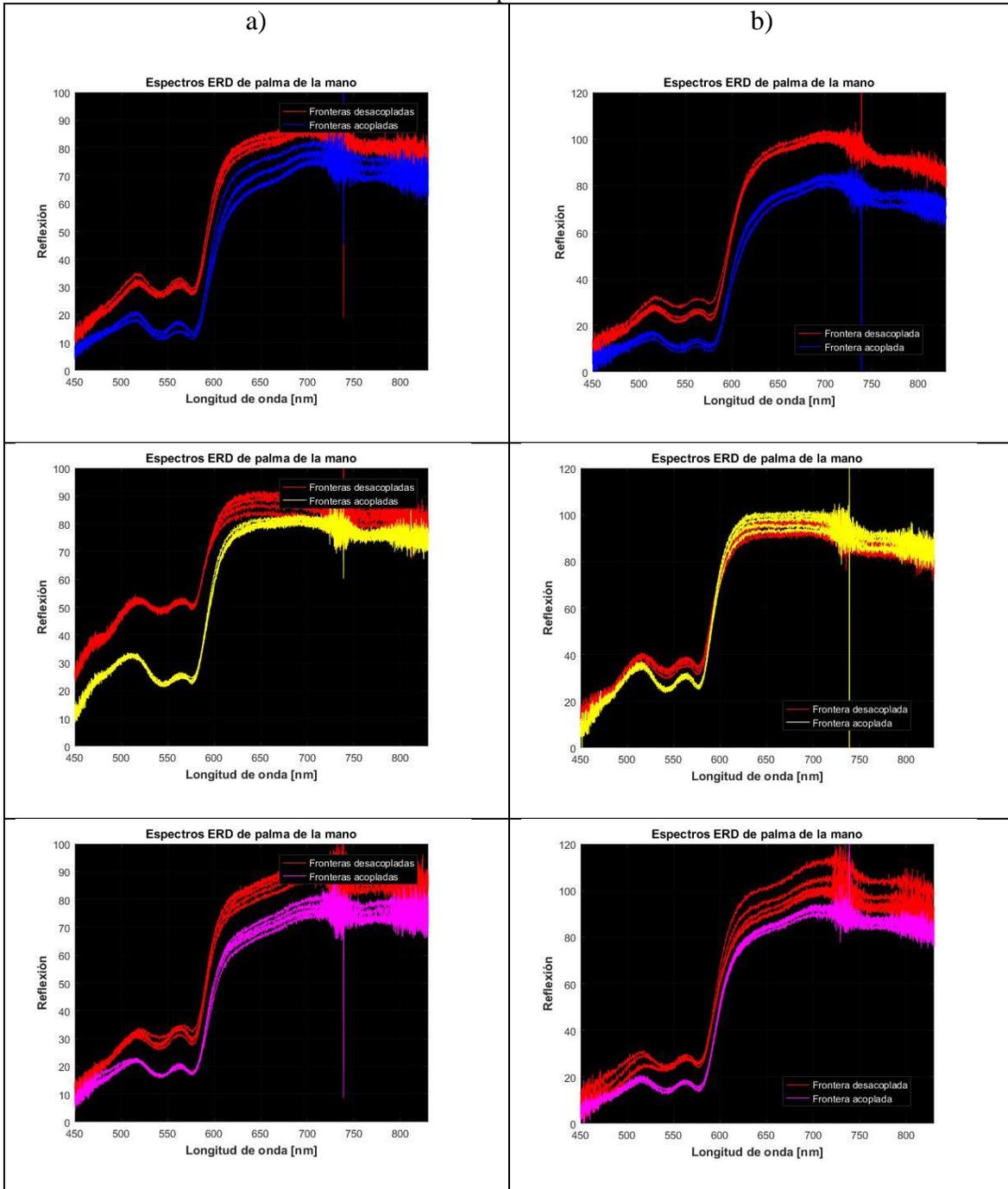


Tabla 3.3 CONTINUACIÓN. a) Espectros de reflexión difusa tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros.

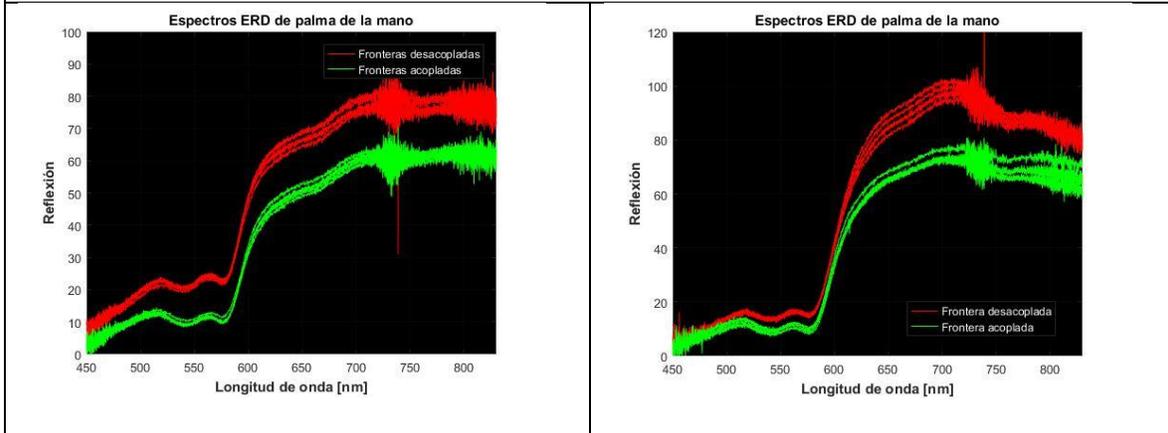


Tabla 3.4. a) Espectros de reflexión difusa Promedio tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD Promedio obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros.

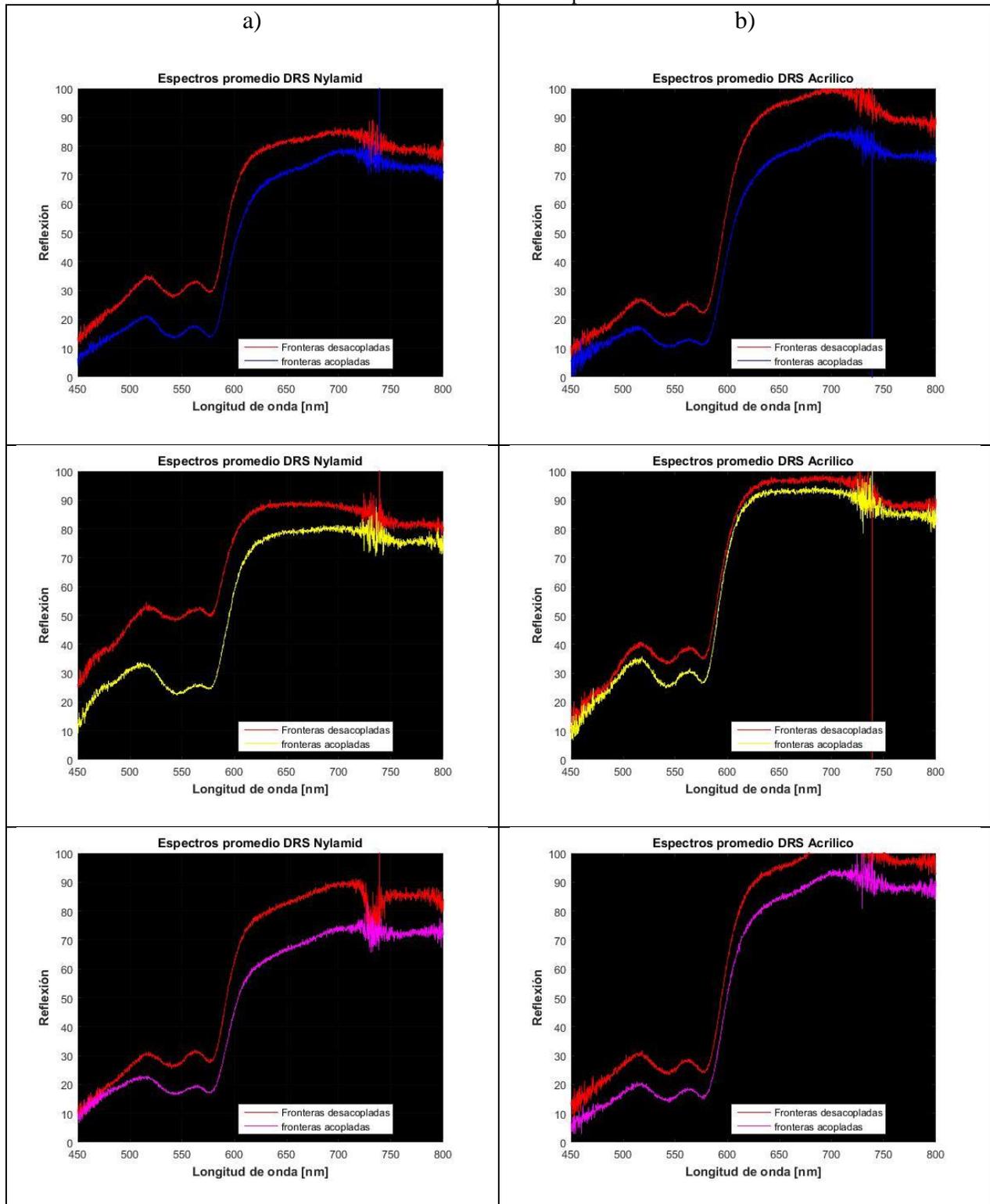
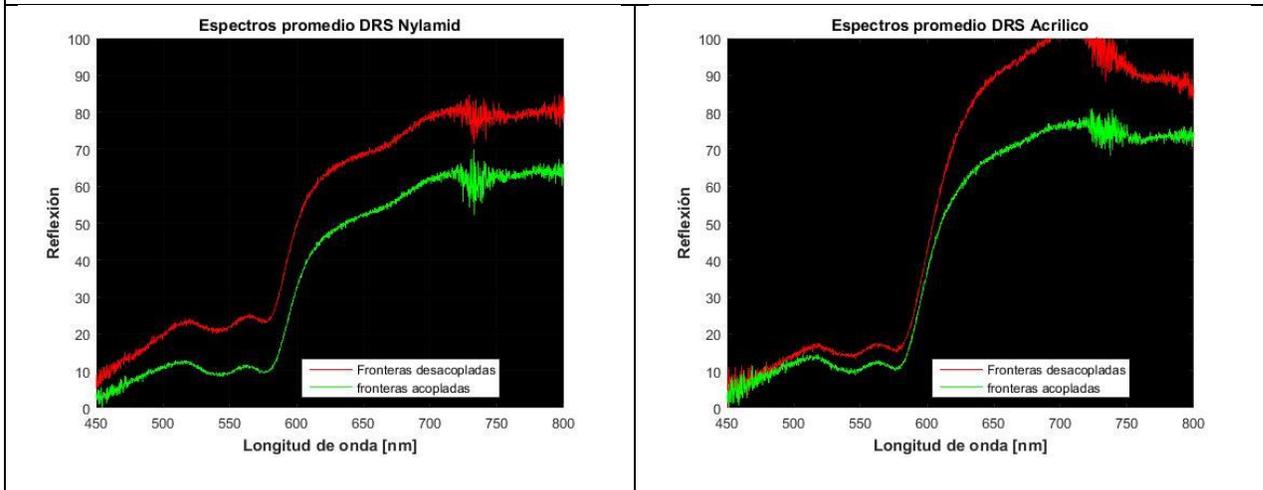


Tabla 3.4 (CONTINUACIÓN). a) Espectros de reflexión difusa Promedio tomados de 4 voluntarios con el encapsulado de nylamid con fronteras acopladas y desacopladas. b) Espectros de RD Promedio obtenidos en los mismos voluntarios con encapsulado de acrílico para la misma zona de la palma de la mano. Nótese la agrupación y la diferencia entre ambos tipos de espectros.



Como puede apreciarse, los espectros obtenidos bajo la condición de fronteras desacopladas presentaron, generalmente, una señal más elevada que aquellos medidos en condiciones de frontera acopladas. Este fenómeno resulta ser consistente para ambos materiales, ya que la presencia del material encapsulador en contacto con la muestra ofrece un escape a través de él para los fotones que sean reflejados difusamente de nuevo hacia la superficie.

Sin embargo, las comparaciones de los ERD tomados con el primer encapsulado de acrílico no fueron consistentes, debido a que la estructura del mismo presentaba irregularidades que hacían necesaria una serie de ajustes mecánicos y la comparación espectral no presentó un comportamiento estable. Esto llevó a la elaboración de un nuevo encapsulado de acrílico, hecho con una precisión mayor, lo que mejoró la repetitividad de los resultados.

Otros artículos de investigación [46] han demostrado que la reflectancia difusa resuelta radialmente bajo condiciones de fronteras desacopladas es mayor que aquella producida con fronteras acopladas, principalmente mediante el uso de simulaciones Monte Carlo. A pesar de que los resultados de trabajos previos no son de naturaleza espectral, los obtenidos en el presente trabajo coinciden con esta afirmación, tanto para los objetos de referencia como las mediciones in vivo.

Mediante el software SpectraSuite®, se almacenaron los datos gráficos en forma de archive de texto .txt para ser posteriormente procesados y representados de manera gráfica por el software Matlab®, lo que permitió la comparación entre los espectros de ambas condiciones de frontera de cada material, así como los obtenidos para cada uno de ellos.

Los espectros tomados de voluntarios en ambas condiciones de frontera presentan diferencias variables de acuerdo al individuo. Si bien los ERD tomados con fronteras desacopladas presentan un nivel superior que su contraparte, la diferencias entre ambos tipos de espectros varían notablemente al comparar los resultados de un voluntario con otro. Esto es atribuido principalmente al fenotipo de piel de cada uno, ya que la presencia de melanina se encuentra directamente relacionada con la absorción de la luz.

Lo encontrado en este estudio demuestra que las condiciones de frontera, así como el material encapsulador de una sonda de fibras ópticas tienen una influencia notable sobre los espectros de reflexión difusa obtenidos a través de ella, lo que implica una diferencia entre los parámetros ópticos obtenidos de una muestra bajo una serie de condiciones respecto a otra.

3.3.4 Discusión/Conclusión

Estudios previos han demostrado de manera teórica que un cambio en las condiciones de frontera al momento de medir la reflectancia de cualquier muestra implica una modificación en la intensidad de ésta en su forma radial. Churmakov [46], por ejemplo, consideró la influencia de un acople entre índices de refracción en la interface de un medio sobre la intensidad de la reflectancia difusa, mostrando claramente ciertas diferencias respecto al desacople entre dichas fronteras.

Sin embargo, dichas investigaciones no han demostrado esas diferencias entre condiciones de frontera a nivel spectral. Además, el material cuya frontera se acopla o entra en contacto con la muestra no ha sido considerado, tanto a nivel teórico como experimental.

En este estudio, se tomaron en cuenta tanto la condición de frontera como el encapsulado de la sonda a nivel de simulación y experimental mediante la toma de espectros de reflexión difusa a voluntarios.

Se encontró que, para ambos tipos de muestra, los ERD tomados bajo condiciones de fronteras desacopladas presentan una intensidad mayor que aquellos tomados en condiciones de fronteras acopladas, con una diferencia entre ambos que cambia de acuerdo al rango spectral analizado. Asimismo, los ERD medidos empleando el encapsulado de nylamid son claramente distintos de aquellos obtenidos con el acrílico.

Esto extiende la comparación entre condiciones de frontera, llevándola al aspecto experimental y ampliando el conocimiento que se tiene de ello, realizado en otros trabajos de forma teórica y mediante simulaciones.

Adicionalmente, lo obtenido aporta una panorámica novedosa en cuanto a la influencia del material de encapsulado sobre las mediciones de ERD, considerando al nylamid como material encapsulador para mediciones espectrales de reflexión difusa, lo que aporta novedad al presente trabajo.

Esta investigación indica que la obtención de parámetros ópticos de cualquier material, ya sea tejido biológico u objetos inertes requiere la consideración de las características de la sonda que se utilizará para la toma de espectros. Para esto, se considera necesario la caracterización de la misma, tanto en sus propiedades ópticas como en su contacto con la muestra.

Además, cabe mencionar que hasta donde tenemos conocimiento, este es el primer estudio en analizar dicho aspecto de la espectroscopía de reflexión difusa con fibras ópticas y cómo esto afecta a las características de los ERD obtenidos.

Nuestros resultados proveen de evidencia que resulta de utilidad al diseñar una sonda de fibras ópticas para reflexión difusa y plantea una serie de rasgos teóricos a modificar de forma acorde al material seleccionado al llevar a cabo la extracción de parámetros ópticos.

Sin embargo, el presente estudio se encuentra limitado hacia dos materiales únicamente, por lo que es necesaria la caracterización de una mayor variedad de

los mismos para poder ampliar el panorama aquí planteado. Ampliar el número de voluntarios y clasificarlos de acuerdo a su fenotipo de piel también es considerado.

Por lo tanto, el trabajo futuro debería incluir un seguimiento a las pruebas aquí consumadas en cuanto a la obtención de un prototipo de sonda con características que favorezcan la obtención de ERDs en un ambiente clínico capaz de proveer información diagnóstica precisa.

3.4 Toma de Espectros a Muestra de Abrasión Cutánea de un Voluntario

3.4.1 Introducción

En este estudio, se analiza de forma espectral una muestra de abrasión cutánea sufrida por un voluntario en su mano derecha.

Se denomina abrasión cutánea a las heridas superficiales en la piel causadas por fricción contra superficies rugosas o duras que elimina capas de la epidermis por desgarro. Suele afectar solo a la epidermis (primer grado) o capas superiores de la dermis (segundo grado); si afecta a tejido subcutáneo se denomina avulsión (tercer grado). Cuando el roce produce irritación cutánea, pero sin que se produzcan heridas abiertas se denomina excoriación.

La abrasión cutánea es muy común y suele ocurrir en caídas y accidentes menores.



Figura 3.13. Piel humana con abrasión cutánea.

Pueden ocurrir en cualquier parte del cuerpo, pero por su exposición, son más comunes en manos, brazos, pies y piernas.

La abrasión cutánea se puede diagnosticar por observación de la zona afectada. Las heridas por abrasión suelen ser irregulares, superficiales y con sangrado nulo o mínimo. En abrasiones más profundas puede aparecer sangrado punteado, señal de rotura de capilares superficiales. Puede haber un sangrado abundante en abrasiones en cara y otras partes de la cabeza debido a la mayor vascularización de estas zonas o en avulsiones que afecten a tejido subcutáneo [47].

3.4.2 Materiales y métodos

Para la toma de los espectros RD se utilizó una fuente de luz de halógeno (Newport LSM-T-S) así como una sonda de fibras ópticas elaborada previamente.

Las fibras del extremo común quedan en contacto con la muestra (mano de voluntario). A partir de dicho extremo, la sonda queda bifurcada con un extremo acoplado a las fuentes de luz y el otro extremo acoplado al puerto de entrada de un espectrómetro (Ocean Optics USB4000).

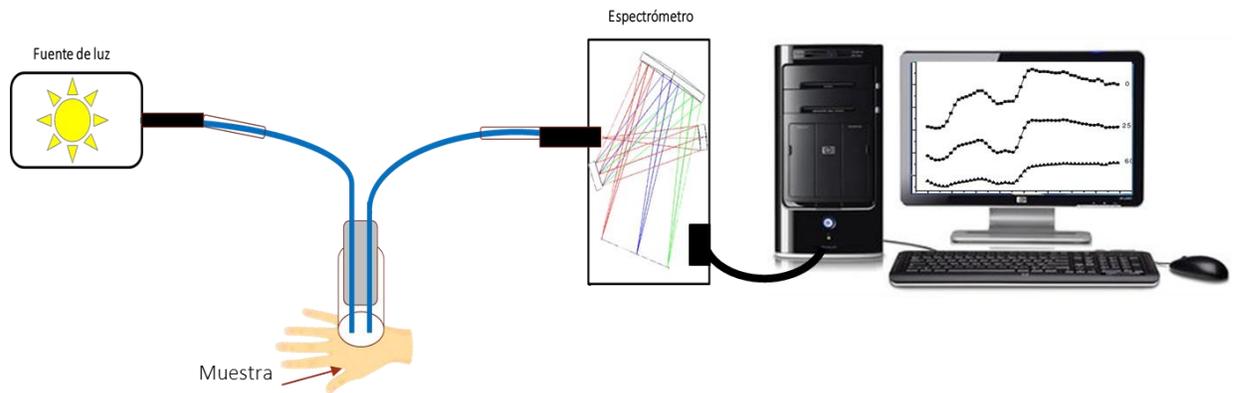


Figura 3.14. Arreglo experimental para la toma de espectros a voluntario.

3.4.2.1 Adquisición de espectros

Tras iniciar la fuente se esperó por 10 minutos para que llegue a la temperatura indicada y su emisión sea estable, mientras tanto, la zona de la mano a medir se cubrió con una película plástica de grado alimenticio con el fin de evitar cualquier transmisión de microorganismos a la sonda. Posteriormente, se inició el software y se calibró en una única ocasión el sistema mediante la toma de espectros de referencia obtenidos de un teflón, así como de espectros oscuros con las fronteras de la sonda desacopladas.

Se colocó la sonda sobre la zona de estudio, que fue seleccionada por estar dentro de la lesión cutánea. Los espectros obtenidos se almacenaron en forma de archivo .txt y fueron graficados en el software MATLAB. Se repitió el experimento el día siguiente, cuando el tejido mostraba mayor regeneración y se apreciaba una costra cubriendo la herida, como puede verse en la [Fig. 3.15](#).

Fueron tomados un total de 10 espectros en cada sesión. El primer día se tomaron 5 espectros dentro de la lesión y 5 espectros fuera de ella (en tejido sano), mientras que en el segundo se tomaron 5 espectros dentro de la zona inflamada en la periferia de la lesión y 5 espectros fuera de ella (en tejido sano) por el operario Luis. Adicionalmente, se tomó un espectro dentro de la costra formada.



Figura 3.15. Mano del voluntario.

3.4.3. Resultados y discusión

14 Febrero 2019

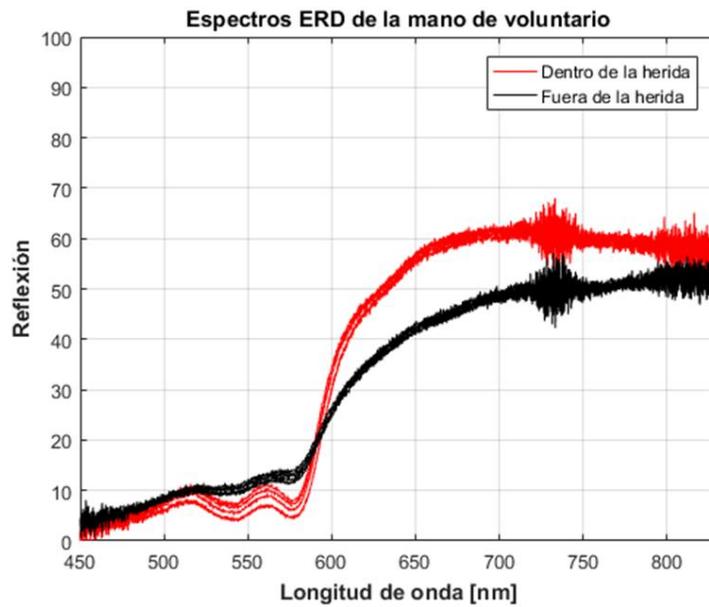


Figura 3.16. Espectros de reflexión difusa obtenidos (Primer día).

15 Febrero 2019

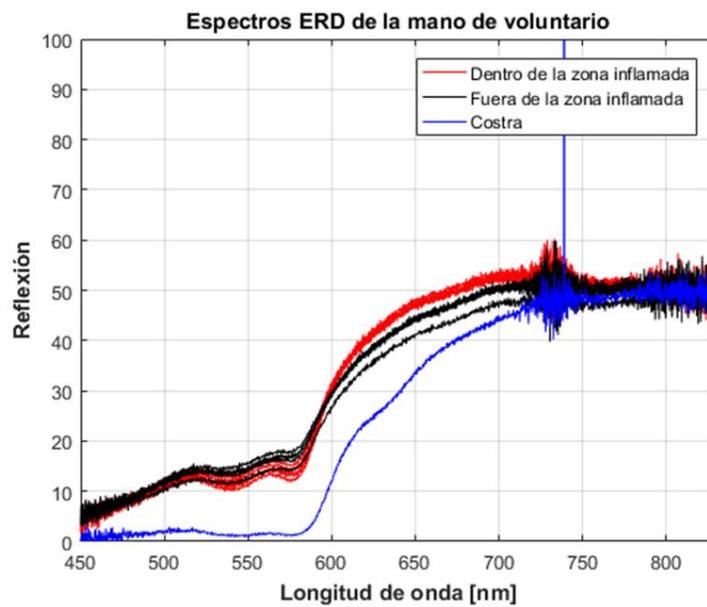


Figura 3.17. Espectros de reflexión difusa obtenidos (Segundo día).

Mediante la toma de espectros RD, se caracterizó de forma espectral la reflectancia de la piel de la mano de un voluntario. Se aprecia una diferencia notable entre ambos tipos de espectros, donde aquellos tomados dentro de la lesión muestran una presencia sanguínea mayor, caracterizada por las depresiones que coinciden con un pico de absorción en 540 y 575nm, donde ambos tienen un comportamiento similar. No obstante, aquellos correspondientes a la herida poseen características con mayor pronunciación.

Desde 450nm hasta 590nm, los espectros tomados fuera de la herida presentan los valores más altos. Cabe mencionar que a partir de esta longitud de onda esta condición se invierte y su reflectancia se vuelve más baja.

Hasta el momento, las evidentes distinciones entre ambos tipos de espectros se atribuyen a la ausencia de la epidermis en la abrasión, donde se aprecia un mayor contenido sanguíneo y la luz que es comúnmente absorbida o esparcida por dicho estrato, incide directamente sobre la dermis.

Para la medición tomada al día siguiente, los espectros presentan un cambio significativo, ya que, dentro de la zona inflamada alrededor de la herida, se nota una huella espectral de hemoglobina menor que dentro de la misma el día anterior, siendo similar a los espectros tomados en tejido sin lesiones. En cuanto a la herida, se formó una costra que absorbió notablemente la luz hasta los 580 nm, donde comienza a presentar mayor reflectancia, manteniéndose por debajo del resto de los espectros.

3.5 Estancia de Investigación en la Universidad de Cantabria

Como parte del trabajo de tesis, se llevó a cabo una estancia de investigación en la Universidad de Cantabria (UC), ubicada en la ciudad de Santander, España. Esta fue llevada a cabo bajo la tutela del Dr. Félix Fanjul Vélez, Profesor titular perteneciente al grupo de Técnicas Ópticas Aplicadas, quien dio orientación y supervisión de las actividades, consistentes en mediciones de reflexión difusa. Dichas mediciones experimentales implicaron el uso de equipamiento espectrométrico perteneciente a la UC, el cual es distinto al empleado en la UPT; asimismo, la sonda aquí utilizada (StellarNet R600-8-UVVIS-SR) no posee la flexibilidad para cambiar entre condiciones de frontera ni comparar materiales de encapsulado, por lo que los resultados aquí obtenidos no figuran en la presente tesis. No obstante, dicha investigación será plasmada de forma más extensa en trabajos posteriores.

3.6 Referencias

- [1] Guillaume Dupuis, Mady Elias, and Lionel Simonot, "Pigment Identification by Fiber-Optics Diffuse Reflectance Spectroscopy," *Appl. Spectrosc.* 56, 1329-1336 (2002)
- [2] Zonios, G., & Dimou, A. (2006). Modeling diffuse reflectance from semi-infinite turbid media: application to the study of skin optical properties. *Optics Express*, 14(19), 8661. doi:10.1364/oe.14.008661
- [3] B. W. Murphy, Rebecca J. Webster, Berwin A. Turlach, Christopher J. Quirk, Christopher D. Clay, Peter J. Heenan, David D. Sampson, "Toward the discrimination of early melanoma from common and dysplastic nevus using fiber optic diffuse reflectance spectroscopy," *J. Biomed. Opt.* 10(6) 064020 (1 November 2005)
- [4] Urs Utzinger, Rebecca R. Richards-Kortum, "Fiber optic probes for biomedical optical spectroscopy," *J. Biomed. Opt.* 8(1) (1 January 2003)
- [5] Zonios, G., Perelman, L. T., Backman, V., Manoharan, R., Fitzmaurice, M., Van Dam, J., & Feld, M. S. (1999). Diffuse reflectance spectroscopy of human adenomatous colon polyps in vivo. *Applied Optics*, 38(31), 6628. doi:10.1364/ao.38.006628
- [6] Valdés, P. A., Kim, A., Leblond, F., Conde, O. M., Harris, B. T., Paulsen, K. D., Roberts, D. W. (2011). Combined fluorescence and reflectance spectroscopy for in vivo quantification of cancer biomarkers in low- and high-grade glioma surgery. *Journal of Biomedical Optics*, 16(11), 116007. doi:10.1117/1.3646916
- [7] Nachabé, R., Evers, D. J., Hendriks, B. H. W., Lucassen, G. W., van der Voort, M., Wesseling, J., & Ruers, T. J. M. (2011). Effect of bile absorption coefficients on the estimation of liver tissue optical properties and related implications in discriminating healthy and tumorous samples. *Biomedical Optics Express*, 2(3), 600. doi:10.1364/boe.2.000600
- [8] Jayanthi, J. L., Nisha, G. U., Manju, S., Philip, E. K., Jeemon, P., Baiju, K. V., Subhash, N. (2011). Diffuse reflectance spectroscopy: diagnostic accuracy of a non-invasive screening technique for early detection of malignant changes in the oral cavity. *BMJ Open*, 1(1), e000071–e000071. doi:10.1136/bmjopen-2011-000071
- [9] Susan G. Brouwer de Koning, Elisabeth J. M. Baltussen, M. Baris Karakullukcu, Behdad Dashtbozorg, Laura A. Smit, Richard Dirven, Benno H. W. Hendriks, Henricus J. C. M. Sterenborg, Theo J. M. Ruers, "Toward complete oral cavity cancer resection using a handheld diffuse reflectance spectroscopy probe," *J. Biomed. Opt.* 23(12) 121611 (19 October 2018)
- [10] Spliethoff, J. W., Prevoo, W., Meier, M. A. J., de Jong, J., Klomp, H. M., Evers, D. J., Ruers, T. J. M. (2015). Real-time In Vivo Tissue Characterization with Diffuse

Reflectance Spectroscopy during Transthoracic Lung Biopsy: A Clinical Feasibility Study. *Clinical Cancer Research*, 22(2), 357–365. doi: 10.1158/1078-0432.ccr-15-0807

[11] Shaikh, R., Prabitha, V. G., Dora, T. K., Chopra, S., Maheshwari, A., Deodhar, K., Subhash, N. (2016). A comparative evaluation of diffuse reflectance and Raman spectroscopy in the detection of cervical cancer. *Journal of Biophotonics*, 10(2), 242–252. doi:10.1002/jbio.201500248

[12] Rosen, J., Suh, H., Goukassian, I., Rodriguez-Diaz, E., A'amar, O., Bigio, I., & Lee, S. (2012). EARLY RESULTS OF AN IN VIVO CLINICAL STUDY UTILIZING AN INTEGRATED FNA BIOPSY TOOL WITH ELASTIC LIGHT SCATTERING SPECTROSCOPY FOR THE DIAGNOSIS OF THYROID NODULES:# 87. *Lasers in Surgery And Medicine*, 44, 24-25.

[13] Lisenko, S. A., Firago, V. A., Kugeiko, M. M., & Kubarko, A. I. (2016). Determination of Structural and Morphological Parameters of Human Bulbar Conjunctiva from Optical Diffuse Reflectance Spectra. *Journal of Applied Spectroscopy*, 83(4), 617–626. doi:10.1007/s10812-016-0337-7

[14] Lim, L., Nichols, B., Rajaram, N., & Tunnell, J. W. (2011). Probe pressure effects on human skin diffuse reflectance and fluorescence spectroscopy measurements. *Journal of Biomedical Optics*, 16(1), 011012. doi:10.1117/1.3525288

[15] Keller, M. D., Majumder, S. K., Kelley, M. C., Meszoely, I. M., Boulos, F. I., Olivares, G. M., & Mahadevan-Jansen, A. (2010). Autofluorescence and diffuse reflectance spectroscopy and spectral imaging for breast surgical margin analysis. *Lasers in Surgery and Medicine*, 42(1), 15–23. doi:10.1002/lsm.20865

[16] Thompson, A. J., Coda, S., Sørensen, M. B., Kennedy, G., Patalay, R., Waitong-Brämning, U., Dunsby, C. (2012). In vivo measurements of diffuse reflectance and time-resolved autofluorescence emission spectra of basal cell carcinomas. *Journal of Biophotonics*, 5(3), 240–254. doi:10.1002/jbio.201100126

[17] Garcia-Urbe, A., Zou, J., Duvic, M., Cho-Vega, J. H., Prieto, V. G., & Wang, L. V. (2012). In Vivo Diagnosis of Melanoma and Nonmelanoma Skin Cancer Using Oblique Incidence Diffuse Reflectance Spectrometry. *Cancer Research*, 72(11), 2738–2745. doi: 10.1158/0008-5472.can-11-4027

[18] Moy, A. J., Feng, X., Nguyen, H. T. M., Zhang, Y., Sebastian, K. R., Reichenberg, J. S., & Tunnell, J. W. (2017). Spectral biopsy for skin cancer diagnosis: initial clinical results. *Photonics in Dermatology and Plastic Surgery*. doi:10.1117/12.2251293

[19] Weersink, R. A., Hayward, J. E., Diamond, K. R., & Patterson, M. S. (1997). Accuracy of noninvasive in vivo measurements of photosensitizer uptake based on a diffusion model of reflectance spectroscopy. *Photochemistry and photobiology*, 66(3), 326-335.

- [20] Doronin, A., & Meglinski, I. (2011). Online object oriented Monte Carlo computational tool for the needs of biomedical optics. *Biomedical Optics Express*, 2(9), 2461. doi:10.1364/boe.2.002461
- [21] Ruohonen, M., Palo, K., & Alander, J. (2013). Spectroscopic detection of caries lesions. *Journal of Medical Engineering*, 2013.
- [22] Nachabe, R., Hendriks, B. H., Desjardins, A. E., van der Voort, M., van der Mark, M. B., & Sterenborg, H. J. (2010). Estimation of lipid and water concentrations in scattering media with diffuse optical spectroscopy from 900 to 1600 nm. *Journal of biomedical optics*, 15(3), 037015.
- [23] Derek Cappon, Thomas J. Farrell, Qiyin Fang, Joseph E. Hayward, "Fiber-optic probe design and optical property recovery algorithm for optical biopsy of brain tissue," *J. Biomed. Opt.* 18(10) 107004 (11 October 2013)
- [24] Fredriksson, I., Larsson, M., & Strömberg, T. (2012). Inverse Monte Carlo method in a multilayered tissue model for diffuse reflectance spectroscopy. *Journal of biomedical optics*, 17(4), 047004.
- [25] Rajaram, N., Gopal, A., Zhang, X., & Tunnell, J. W. (2010). Experimental validation of the effects of microvasculature pigment packaging on in vivo diffuse reflectance spectroscopy. *Lasers in Surgery and Medicine*, 42(7), 680–688. doi:10.1002/lsm.20933
- [26] P. Bargo, "Optical measurements for quality control in photodynamic therapy", Oregon Health & Science University, (2003).
- [27] Farrell, T. J., Patterson, M. S., & Wilson, B. (1992). A diffusion theory model of spatially resolved, steady-state diffuse reflectance for the noninvasive determination of tissue optical properties in vivo. *Medical physics*, 19(4), 879-888.
- [28] Palmer, G. M., & Ramanujam, N. (2006). Monte Carlo-based inverse model for calculating tissue optical properties Part I: Theory and validation on synthetic phantoms. *Applied Optics*, 45(5), 1062. doi:10.1364/ao.45.001062
- [29] Simpson, C. R., Kohl, M., Essenpreis, M., & Cope, M. (1998). Near-infrared optical properties of ex vivo human skin and subcutaneous tissues measured using the Monte Carlo inversion technique. *Physics in Medicine and Biology*, 43(9), 2465–2478. doi:10.1088/0031-9155/43/9/003
- [30] Paulo R. Bargo, Scott A. Prahl, Teresa T. Goodell, R. A. Steven, G. Koval, G. Blair, Steven L. Jacques, "In vivo determination of optical properties of normal and tumor tissue with white light reflectance and an empirical light transport model during endoscopy," *J. Biomed. Opt.* 10(3) 034018 (1 May 2005)
- [31] Skala, M. C., Palmer, G. M., Vrotsos, K. M., Gendron-Fitzpatrick, A., & Ramanujam, N. (2007). Comparison of a physical model and principal component analysis for the diagnosis of epithelial neoplasias in vivo using diffuse reflectance spectroscopy. *Optics Express*, 15(12), 7863. doi:10.1364/oe.15.007863

- [32] Yu-Wen Chen and Sheng-Hao Tseng, "Efficient construction of robust artificial neural networks for accurate determination of superficial sample optical properties," *Biomed. Opt. Express* 6, 747-760 (2015)
- [33] Sheng-Yang Tsui, Chiao-Yi Wang, Tsan-Hsueh Huang, and Kung-Bin Sung, "Modelling spatially-resolved diffuse reflectance spectra of a multi-layered skin model by artificial neural networks trained with Monte Carlo simulations," *Biomed. Opt. Express* 9, 1531-1544 (2018)
- [34] Atencio, J. D., Guillén, E. O., y Montiel, S. V., Rodríguez, M. C., Ramos, J. C., Gutiérrez, J. L., & Martínez, F. (2009). Influence of probe pressure on human skin diffuse reflectance spectroscopy measurements. *Optical Memory and Neural Networks*, 18(1), 6-14.
- [35] Cugmas, B., Bregar, M., Bürmen, M., Pernuš, F., & Likar, B. (2014). Impact of contact pressure–induced spectral changes on soft-tissue classification in diffuse reflectance spectroscopy: problems and solutions. *Journal of biomedical optics*, 19(3), 037002.
- [36] Arimoto, H., Egawa, M., & Yamada, Y. (2005). Depth profile of diffuse reflectance near-infrared spectroscopy for measurement of water content in skin. *Skin Research and Technology*, 11(1), 27–35. doi:10.1111/j.1600-0846.2005.00093.x
- [37] Nyström, J., Lindholm-Sethson, B., Stenberg, L. *et al.* *Med. Biol. Eng. Comput.* (2003) 41: 324. <https://doi.org/10.1007/BF02348438>
- [38] Richard A. Schwarz, Wen Gao, Dania Daye, Michelle D. Williams, Rebecca Richards-Kortum, and Ann M. Gillenwater, "Autofluorescence and diffuse reflectance spectroscopy of oral epithelial tissue using a depth-sensitive fiber-optic probe," *Appl. Opt.* 47, 825-834 (2008)
- [39] Suresh Anand, N. Sujatha, V.B. Narayanamurthy, V. Seshadri, Richa Poddar, Diffuse reflectance spectroscopy for monitoring diabetic foot ulcer – A pilot study, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 53, 2014, Pages 1-5, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.07.020>.
- [40] Sujatha, N., Anand, B.S.S., Nivetha, K.B. *et al.* *J Appl Spectrosc* (2015) 82: 432. <https://doi.org/10.1007/s10812-015-0125-9>
- [41] Potapova, E. V., Dremin, V. V., Zherebtsov, E. A., Makovik, I. N., Zharkikh, E. V., Dunaev, A. V., ... & Krupatkin, A. I. (2017). A complex approach to noninvasive estimation of microcirculatory tissue impairments in feet of patients with diabetes mellitus using spectroscopy. *Optics and spectroscopy*, 123(6), 955-964.
- [42] Neidrauer, M., Zubkov, L., Weingarten, M. S., Pourrezaei, K., & Papazoglou, E. S. (2010). Near Infrared Wound Monitor Helps Clinical Assessment of Diabetic Foot Ulcers. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(4), 792–798. <https://doi.org/10.1177/193229681000400404>

- [43] Keech, A. C., Mitchell, P., Summanen, P. A., O'Day, J., Davis, T. M., Moffitt, M. S., & Merrifield, A. (2007). Effect of fenofibrate on the need for laser treatment for diabetic retinopathy (FIELD study): a randomised controlled trial. *The Lancet*, 370(9600), 1687-1697.
- [44] Gareau, D. S., Truffer, F., Perry, K., Pham, T., Enestvedt, C. K., Dolan, J., & Jacques, S. L. (2010). Optical fiber probe spectroscopy for laparoscopic monitoring of tissue oxygenation during esophagectomies. *Journal of biomedical optics*, 15(6), 061712.
- [45] Marquardt, B. J., Stratis, D. N., Cremers, D. A., & Angel, S. M. (1998). Novel probe for laser-induced breakdown spectroscopy and Raman measurements using an imaging optical fiber. *Applied spectroscopy*, 52(9), 1148-1153.
- [46] Churmakov, D. Y., Meglinski, I. V., & Greenhalgh, D. A. (2002). Influence of refractive index matching on the photon diffuse reflectance. *Physics in Medicine & Biology*, 47(23), 4271.
- [47] ¿Qué es la abrasión cutánea? Curiosoando. Consultado el 15 de febrero de 2019. <https://curiosoando.com/que-es-la-abrasion-cutanea>

CAPÍTULO 4

Acciones Para la Prevención del Pie Diabético

La Diabetes Mellitus (DM) es un padecimiento crónico con un índice creciente en la población mundial que trae consigo una vasta serie de complicaciones a quien la padece a lo largo de su vida, donde el pie diabético es una de ellas. Este capítulo plantea las bases de una campaña de prevención de la DM para el público en general, así como concientiza a las personas diabéticas de las consecuencias de un control inadecuado en su salud. Para esto, se empleó una página web perteneciente al grupo de Óptica Biomédica de la Universidad Politécnica de Tulancingo, cuyo nombre es BioSpectroscopy (<https://biospectroscopy-jada.wixsite.com/biospectroscopy>). En ella, se creó una nueva pestaña que contiene una galería de imágenes correspondientes a úlceras del pie diabético, donde dichas imágenes irán acompañadas de una descripción brindada por personal médico y un glosario con la terminología necesaria para un mejor entendimiento por parte del lector. Además, se brindará información preventiva inteligible para las personas sin conocimientos en el área mediante ejemplificaciones simples presentes en la vida cotidiana.

4.1 Introducción

La Diabetes Mellitus (DM) es una enfermedad con una incidencia en aumento, tanto a nivel mundial como nacional, ya que se estima que alrededor de 347 millones de personas en el mundo la padecen [1], mientras tan sólo en México, el número de diabéticos asciende a 12 millones y se estima que para el año 2045 este número incrementa a 21.8 millones [2], por lo que su prevención y tratamiento representa una cuestión de suma importancia. La DM se caracteriza por niveles excesivos de glucosa en el torrente sanguíneo, condición también conocida como hiperglucemia; esto es provocado por una producción insuficiente de insulina por parte del páncreas [3]. El aumento en la prevalencia de la DM se atribuye principalmente a la alta tasa de sobrepeso y obesidad en México, lo que a su vez es causado por hábitos y estilos de vida no saludables [4]. Los niños y jóvenes se han vuelto un foco de atención para esta enfermedad, puesto que al menos el 35% de la población infantil del país sufren de sobrepeso u obesidad, además de que el diagnóstico de la DM ya es un hecho en una parte considerable de la población en edades de alrededor de los 20 años, donde su esperanza de vida no supera los 60 años [5].

Las campañas preventivas han sido iniciativas por parte del gobierno federal y algunos gobiernos estatales que buscan reducir o frenar este crecimiento mediante los chequeos médicos y la concientización. Sin embargo, el número de diabéticos continúa en aumento, sin tendencia alguna a revertirse o por lo menos estabilizarse. Asimismo, se ha provisto de información a la población mediante páginas web médicas, tanto de habla hispana [6-8] como inglesa [9-13] y artículos de difusión [14, 15]. Toda la información anterior describe en un lenguaje claro y conciso las

posibles complicaciones de un pie diabético con atención inapropiada y brinda consejos y medidas preventivas de higiene y cuidado para evitar la aparición de úlceras. No obstante, su contenido informativo consta únicamente de información textual reducida, careciendo de imágenes que complementen la lectura y generen una conciencia adicional de carácter preventivo en el lector.

Este capítulo tiene por objetivo, recopilar, procesar y estructurar la información que se encuentra disponible en el internet, concerniente al problema del pie diabético y su prevención. Dicha información fue plasmada en este capítulo como parte del desarrollo de una interface dinámica on-line preliminar que se encontrará albergada en la página web del grupo de investigación de Óptica Biomédica de la Universidad Politécnica de Tulancingo (UPT) [16]. La información es estructurada mediante textos breves acompañados de imágenes médicas reales que reflejen la situación de personas que tuvieron un mal control y cuidado de su diabetes lo cual ocasionó la generación de lesiones ulcerosas de diferente grado en sus extremidades inferiores. Las imágenes contarán con una breve descripción médica proporcionada por la Mtra. Claudia Olvera García, especialista en heridología del Hospital General de Tulancingo (HGT). Como resultado de lo anterior se ha contribuido a implementar un método visual atractivo de fácil consulta para la concientización de la población en la problemática de la diabetes mellitus, especialmente en la prevención de úlceras en el pie diabético.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Revisión de campañas preventivas

Se realizó una búsqueda extensiva acerca de la existencia de diferentes campañas preventivas de la DM empleando el motor de búsqueda en línea Google®, con el cual se halló información de relevancia para este capítulo, tanto en idioma español como en inglés. Esto fue llevado a cabo mediante el uso de palabras claves, entre las cuales se incluyeron campaña(s), prevención/preventivas, diabetes/diabetes mellitus, México, internacional(es), campaign(s), prevention/preventive, international worldwide principalmente. Dicha búsqueda produjo el hallazgo de cinco campañas a nivel nacional y cuatro a nivel internacional, las cuales contienen información relevante para la investigación en curso.

4.2.1.1 Campañas Nacionales

A continuación, se describe una serie de campañas llevadas a cabo dentro del país, tanto a nivel nacional como estatal con el fin de adquirir conocimiento acerca de los esfuerzos realizados por los diferentes niveles de gobierno, la Secretaría de Salud y el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) para el control de la incidencia de la DM en la población, además de las medidas implementadas durante dichas campañas.

“Programa de Acción” (2001-2006)

El Programa de Acción para la Prevención y Control de la Diabetes se integró en el Programa Nacional de Salud 2001-2006, donde se priorizó la detección temprana de la Diabetes Mellitus (DM) mediante estudios estadísticos de prevalencia de la DM en la población nacional, cuya planificación general puede verse en la Fig. 4.1. Dicho programa se comprometió a la realización de las siguientes acciones: (1) concientizar a la población en general acerca del padecimiento, fomentando estilos de vida saludables y un manejo responsable del mismo, (2) aplicar encuestas de factores de riesgo para la detección de DM a la población mayor de 20 años, (3) controlar el metabolismo mediante un tratamiento integral, (4) creación de grupos de ayuda para personas con diabetes, hipertensión y obesidad, y (5) red de educadores de diabetes [17].

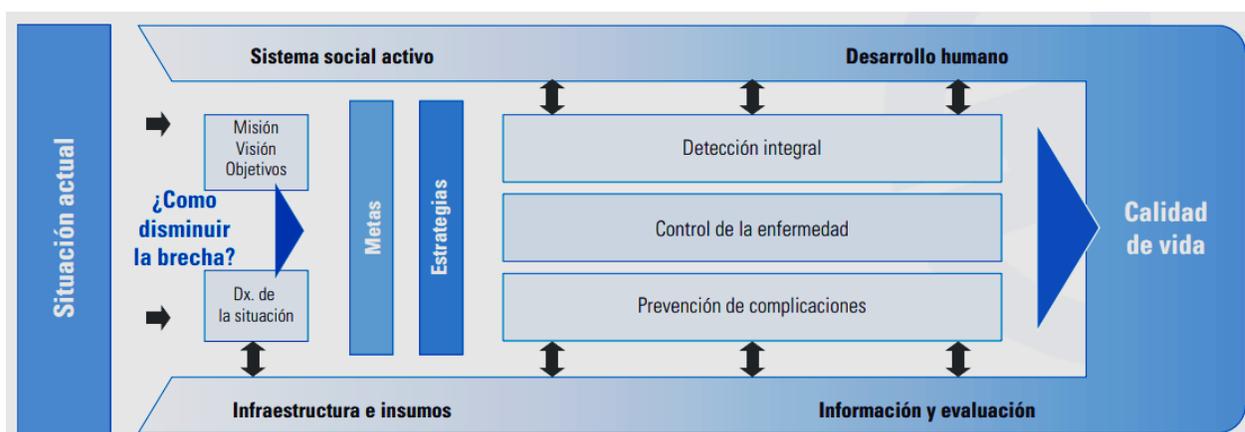


Figura 4.1. Diagrama estratégico del “programa de acción”. Se busca la implementación de acciones atendiendo al aumento en la demanda de las consultas médicas y la hospitalización posterior. El objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la población adulta a través de la prevención o retraso de la aparición de diabetes.

“Semana Nacional de Diabetes” (2014-2016)

La Semana Nacional de Diabetes es una campaña que inició en el 2014 y finalizó en el 2016, con actividades y materiales que buscaron promover una dieta balanceada y recalcó su importancia para la prevención de la diabetes tipo 2, así como el control adecuado de la enfermedad en personas diabéticas.

Se propuso guiar a la población a tomar una serie de pasos para decidir la opción alimentaria más saludable, con un énfasis particular en el desayuno [18].

“Año de la Lucha Contra la Diabetes” (2016)

En el 2016, el gobierno del estado de Coahuila puso en marcha la campaña “2016, Año de la Lucha Contra la Diabetes”, cuya meta fue la aplicación de 650,000 pruebas de detección gratuitas a la población en general. Como parte de esta campaña, se llevó a cabo la semana estatal de diabetes en los meses de marzo, septiembre y noviembre para sensibilizar a los habitantes acerca del tema.

Adicionalmente, se planteó la estrategia “Túnel Salvavidas”, que promovía la práctica de diagnósticos rápidos familiares, respaldando de esta manera la prevención de otras enfermedades. Esto contó con personal médico capacitado especialmente en la diabetes [19].

En ese mismo año, se lanzó a nivel nacional la campaña “Menos diabetes, más salud”, enfocada a dar la atención médica necesaria a las personas diagnosticadas con diabetes, promoviendo las revisiones y tratamientos pertinentes. Se buscó alentar a la población a acudir a revisiones médicas de manera periódica y a seguir

dichos tratamientos de acuerdo a las recomendaciones del personal especializado [20].

“Modelo Preventivo IMSS” (2017)

En el 2017, el Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS) puso en marcha un modelo preventivo para enfrentar los problemas de DM y obesidad del país, donde se pretendió prevenir ambas enfermedades mediante campañas de información, como la mostrada en la Fig. 4.2 y apoyo al Sistema de Información en Enfermedades Crónicas (SIC). De forma adicional, se implementó el Índice de Calidad de la Atención al Paciente Diabético (ICAD) con la garantía de un abastecimiento suficiente de material para llevar a cabo las pruebas de detección de la enfermedad.

Su objetivo principal fue el manejo anticipado de la diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer de mama y de próstata al aumentar las revisiones generales, mastografías y del antígeno prostático [21].



Figura 4.2. Información estadística proporcionada en el Modelo Preventivo IMSS 2017 mostrada a la población.

“Fue la obesidad, después la diabetes...” (2018)

Por otra parte, la Alianza por la Salud Alimentaria (ASA) lanzó la campaña “Fue la obesidad, después la diabetes...” llevada a cabo durante el mes de noviembre del 2018 en el Sistema de Transporte Colectivo Metro y en anuncios espectaculares de la Ciudad de México. En dicha campaña se planteó alertar a los ciudadanos sobre los efectos de la diabetes en la salud y su relación con el consumo de refresco.

Unos de los principales efectos secundarios en los que dicha campaña se enfocó fue en la amputación y la ceguera, que podrían llevar a la muerte. Se muestra una serie de fotografías tomadas a pacientes que sufren de condiciones graves debido a un estado avanzado de la diabetes como una muestra del número elevado de personas que la padecen, como se ilustra a modo de ejemplo en la Fig. 4.3.



Figura 4.3. Imagen que formó parte de la divulgación de la campaña “Fue la obesidad, después la diabetes...” [22]

Como parte de la información brindada, se contó con los siguientes datos estadísticos: el mexicano consume en promedio 163 litros de refresco al año, lo que significa que se tiene un consumo de cerca de medio litro de refresco al día, una cantidad suficiente para aumentar su riesgo de sobrepeso y obesidad en un 60% y el de diabetes en un 25% [22].

4.2.1.2 Campañas Internacionales

El siguiente apartado recopila una parte de la información hallada respecto a las campañas preventivas realizadas a nivel internacional o bien, al interior de otros países, lo cual repercute en lograr así una panorámica de las medidas tomadas tanto en México como en el extranjero: lo anterior nos facilita en emprender medidas que pudieran ser implementadas en el país para estudios futuros.

Día Mundial de la Diabetes

Es la campaña preventiva de la diabetes de mayor importancia en el mundo. Dado el aumento de casos de diabetes a nivel mundial, la Federación Internacional de Diabetes (FID) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) instauró en 1991 dicho movimiento. Fue celebrado por primera vez en el año 2007 por las Naciones Unidas, lo que lo convirtió en un día oficial de la salud desde ese entonces.

El Día Mundial de la Diabetes es oficialmente celebrado el 14 de noviembre de cada año, siendo elegido este día elegida por el aniversario del descubrimiento de la insulina en octubre de 1921 por Frederick Banting y Charles Best. La mayoría de los eventos organizados se llevan a cabo alrededor de dicho día, aunque la campaña permanece vigente durante todo el año.

Algunas de las actividades organizadas de forma anual incluyen (1) actividades deportivas, (2) muestras de carteles, (3) repartición de folletos, (4) artículos de difusión, (5) exposiciones, (6) talleres, y (7) ruedas de prensa.

Por lo regular, la celebración anual del Día Mundial de la Diabetes conlleva una temática específica relacionada a la diabetes, donde algunos se extienden a más de un año [23].

“Familia y Diabetes” (2018 – 2019)

La Federación Internacional de Diabetes (FID) anunció que el Día Mundial de la Diabetes de los años 2018 y 2019 estará enfocado en la prevención de la enfermedad para todos los miembros de la familia como parte de su plan estratégico actual para promover la participación de la población a nivel mundial. Las medidas tomadas por la FID buscan: (1) promover la participación de la familia en la educación acerca de la diabetes, así como en su prevención y cuidados, como es mostrado en la infografía divulgada, como la mostrada en la Fig. 4.4 y (2) concientizar al público acerca del impacto familiar que causa la diabetes y del apoyo a los afectados [24].



Figura 4.4. Infografía producida como parte de la campaña “Familia y Diabetes” para fomentar la detección temprana [24].

Las campañas de los años 2006 en adelante debido al Día Mundial de la salud contienen las siguientes temáticas: (1) campaña 2017: Mujeres y Diabetes, (2) campaña 2014 - 2016: Vida Saludable y Diabetes, (3) campaña 2009-2013: Educación y prevención de la diabetes, (4) campaña 2007-2008: Diabetes en niños y adolescentes y (5) campaña 2006: Diabetes y las personas desfavorecidas y vulnerables.

“Diabetes y cuidado del pie” (2005)

La temática del Día Mundial de la Diabetes del año 2005 se celebró bajo la temática “Diabetes y cuidado del pie”, la cual fue dirigida a personas diabéticas. Su

premisa principal fue que una higiene y cuidados basados en la información pueden prevenir la amputación de las extremidades inferiores debido a la diabetes.

Esta campaña promovió, entre otras propuestas, el mensaje para los gobiernos de las naciones unidas de que, mediante una inversión no significativa, es posible reducir el número de amputaciones mediante la educación y la prevención [25].

“Con el azúcar no se juega” (2009)

El gobierno de Canarias, España puso en marcha una campaña de concienciación contra la diabetes y la obesidad debido a su gran presencia en la población. Consistió en la colocación de carteles en espacios publicitarios del transporte público en puntos estratégicos durante un mes, donde su objetivo fue la sensibilización de las complicaciones de la diabetes, que son prevenibles si se lleva un estilo de vida saludable, donde se incluyó la promoción de la dieta mediterránea, el seguimiento pediátrico entre otros movimientos.

Asimismo, la Consejería de Sanidad del Ejecutivo regional, a través de la Dirección General de Salud Pública, se sumó al Día Mundial de la Diabetes en ese mismo año con tres medidas específicas planeadas: conocer la patología, la consulta facultativa y el control de la diabetes [26].

4.2.2 Diseño de la página web BioSpectroscopy

Se empleó una página web desarrollada en la plataforma de Wix® por la M. C. Alejandra Cárdenas Rosales con fines divulgativos a modo de apoyar en la

concientización de la población acerca de la gravedad que representa padecer DM y fomentar hábitos saludables que reduzcan el riesgo de contraerla. La Fig. 4.5 ilustra una vista de la página principal referida.



Figura 4.5. Figura parcial de la interfaz principal de la página web BioSpectroscopy, Desarrollada por la Mtra. Alejandra Cárdenas Rosales. [16]

Para ello, se creó una nueva pestaña con el nombre “Heridas Pie Diabético”, diseñada en colaboración con la M.C. Alejandra. Se usó el mismo motor de búsqueda que fue empleado en el epígrafe 4.2.1 para hallar información estadística sobre la DM, tanto a nivel nacional como mundial, así como datos curiosos sobre la producción y consumo de azúcar en cualquiera de sus presentaciones.



Figura 4.6. Muestra de las fotografías correspondientes a lesiones diabéticas. **Nota:** Por proceder ético, las fotografías proporcionadas por la Mtra. Claudia Olvera García, Heridóloga del Hospital General de Tulancingo que muestran una variedad de úlceras en pies de pacientes diabéticos atendidos en el hospital con diversos grados de severidad, no serán mostradas en la presente tesis ni la página web.

Dichas imágenes contienen una descripción médica brindada también por la Mtra. Claudia, junto con un glosario que abarca términos médicos o técnicos que posiblemente sean desconocidos para el público en general, siendo generado mediante la consulta de dichos términos en la página oficial de la Real Academia Española [27]. Estos elementos incorporan un impacto adicional en el público que pudiera abrir la página, ya que ilustran de forma realista las consecuencias de un seguimiento inapropiado o insuficiente de la enfermedad y algunos procedimientos médicos necesarios en los casos más graves.

4.3 Resultados

Entre las fuentes consultadas, fue evidente la presencia de una serie de consejos y sugerencias en común para el cuidado del pie diabético, así como la afirmación de una tasa de padecimientos creciente. Una vez recopilado todo el contenido necesario, como las imágenes, datos estadísticos, descripciones médicas y

definiciones, se procedió al diseño de la pestaña “Heridas Pie Diabético”, colocando cada elemento en el sitio que se consideró más oportuno, de manera que la navegación a través de la página resulte en una experiencia amigable para el visitante, brindando la información de forma didáctica y concisa para lograr el mejor entendimiento posible. La organización preliminar puede verse en la [Fig. 4.7](#).

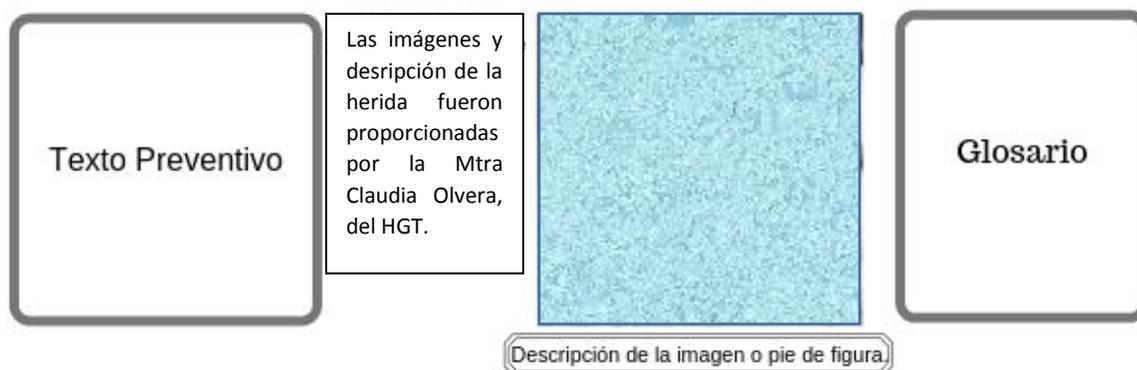


Figura 4.7. Esquema de la organización de los elementos incluidos en la página web BioSpectroscopy.

Una vez definida la distribución, se realizó la [Tabla 4.1](#) a forma de guía, para incluir los datos hallados en la búsqueda, buscando introducir al usuario al tema sin saturar la interface.

Tabla 4.1. Organización del contenido recopilado para la página web BioSpectroscopy. Cada fila corresponde a un conjunto de datos que cambiarán conforme el usuario se desplace en la galería. Las referencias aquí usadas se presentarán en la página web en forma de corchetes con el número correspondiente y el enlace será colocado en la parte inferior de la página.

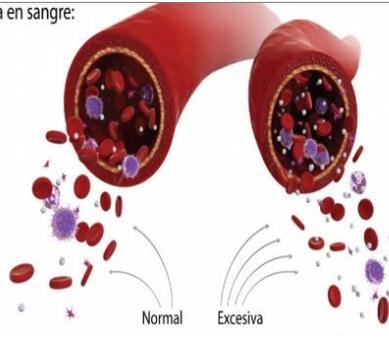
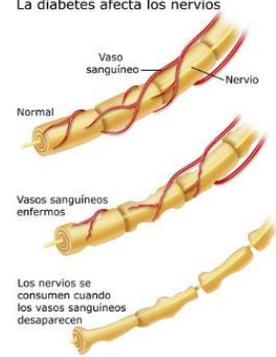
Información Preventiva	Imagen	Glosario
<p>Daño en los vasos sanguíneos.</p> <p>El exceso de glucosa en la sangre (hiperglucemia) provoca una obstrucción en las arterias, reduciendo el suministro al órgano al cual estaba destinado el riego sanguíneo.</p> <p>1. http://www.riojasalud.es/ciudadanos/catalogo-multimedia/endocrinologia/complicaciones-microvasculares</p>	<p>Glucosa en sangre:</p>  <p>Normal Excesiva</p> <p>2. http://fmdiabetes.org/factores-que-afectan-su-nivel-de-glucosa-en-la-sangre/</p>	<p>Glucosa: 1. f. Quím. Aldohexosa de seis átomos de carbono, que constituye un sólido blanco, muy soluble en agua, de sabor muy dulce y presente en muchos frutos maduros.</p> <p>Hiperglucemia: 1. f. Med. Nivel de glucosa en la sangre superior al normal.</p> <p>Obstrucción: 3. f. Med. Impedimento para el paso de las materias sólidas, líquidas o gaseosas en las vías del cuerpo.</p>
<p>Al reducirse este riego, las terminaciones nerviosas también resultan afectadas, ya que se degradan de forma progresiva al punto de perder sensibilidad, lo que facilita la aparición de lesiones de diversos tipos sin que la persona se percate.</p> <p>3. https://diabetesenmonclova.blogspot.com/p/principales-complicaciones.html</p>	<p>La diabetes afecta los nervios</p>  <p>Vaso sanguíneo Nervio</p> <p>Normal</p> <p>Vasos sanguíneos enfermos</p> <p>Los nervios se consumen cuando los vasos sanguíneos desaparecen</p>	<p>Degradar: 2. tr. Reducir o desgastar las cualidades inherentes a alguien o algo.</p> <p>4. tr. Disminuir progresivamente la fuerza, la intensidad o el tamaño de algo.</p> <p>Lesión: 1. f. Daño o detrimento corporal causado por una herida, un golpe o una enfermedad.</p> <p>2. f. Daño, perjuicio o detrimento.</p>
<p>Hay más de 347 millones de diabéticos a nivel mundial</p> <p>La diabetes se vuelve una enfermedad cada vez más común, relacionada con los aumentos en los índices de sobrepeso y obesidad.</p> <p>4. https://www.who.int/features/factfiles/diabetes/facts/es/index9.html</p> <p>En México, se estimó que, en el 2018, alrededor de 12 millones de personas padece diabetes.</p> <p>5. https://www.excelsior.com.mx/nacional/estiman-que-12-millones-de-personas-padecen-diabetes-en-mexico/1278297</p>		<p>Diabetes Mellitus: 1. f. Med. Enfermedad metabólica producida por una secreción deficiente de insulina, lo que produce un exceso de glucosa en la sangre.</p>

Tabla 4.1 (CONTINUACIÓN). Organización del contenido recopilado para la página web BioSpectroscopy. Cada fila corresponde a un conjunto de datos que cambiarán conforme el usuario se desplace en la galería. Las referencias aquí usadas se presentarán en la página web en forma de corchetes con el número correspondiente y el enlace será colocado en la parte inferior de la página.

Información Preventiva	Imagen	Glosario
<p>Se prevé que la diabetes se convierta en el año 2030 en la séptima causa mundial de muerte</p> <p>La diabetes aumenta un 4% anualmente a nivel mundial.</p> <p>4.https://www.who.int/features/factfiles/diabetes/facts/es/index9.html</p> <p>Se estima que habrá alrededor de 21.8 millones de diabéticos para el año 2025 en México.</p> <p>6.https://www.excelsior.com.mx/nacion/estiman-que-12-millones-de-personas-padecen-diabetes-en-mexico/1278297</p>		<p>Aumento: 1. m. Acrecentamiento o extensión de algo.</p> <p>Diabético: 1. adj. Perteneciente o relativo a la diabetes.</p> <p>2. adj. Que padece diabetes. Apl. a pers., u. t. c. s.</p>
<p>Nivel Mundial</p> <p>En 2015, hubo 1.6 millones de muertes por causa directa de la diabetes. Otros 2.2 millones de personas fallecieron por hiperglucemia en 2012.</p> <p>7.https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes</p> <p>En México</p> <p>El índice de mortandad anual estimado en México es de 80,000 personas.</p> <p>8.https://www.insp.mx/presencia-insp/3877-diabetes-causa-muerte-mexico.html</p>		<p>Mortandad: 1. f. Gran cantidad de muertes causadas por epidemia, cataclismo, peste o guerra.</p>
<p>La diabetes de tipo 2 es mucho más frecuente que la de tipo 1</p> <p>El tipo 2 representa aproximadamente un 90% de los casos mundiales de diabetes. Los casos de diabetes de tipo 2 en niños, que antes eran raros, han aumentado en todo el mundo, y en algunos países representan casi la mitad de los nuevos casos diagnosticados en niños y adolescentes.</p> <p>7.https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes</p>		<p>Diagnosticar: 1. tr. Recoger y analizar datos para evaluar problemas de diversa naturaleza.</p> <p>2. tr. Med. Determinar el carácter de una enfermedad mediante el examen de sus signos.</p> <p>Raro: 1. adj. Que se comporta de un modo inhabitual.</p> <p>2. adj. Extraordinario, poco común o frecuente.</p> <p>3. adj. Escaso en su clase o especie.</p>

*Diabetes tipo 1: Se caracteriza por una producción deficiente de insulina por parte del organismo y suele darse en niños o jóvenes.

*Diabetes tipo 2: El organismo no es capaz de utilizar la insulina producida. por lo general, se diagnostica en personas adultas con sobrepeso y antecedentes familiares de diabetes [28].

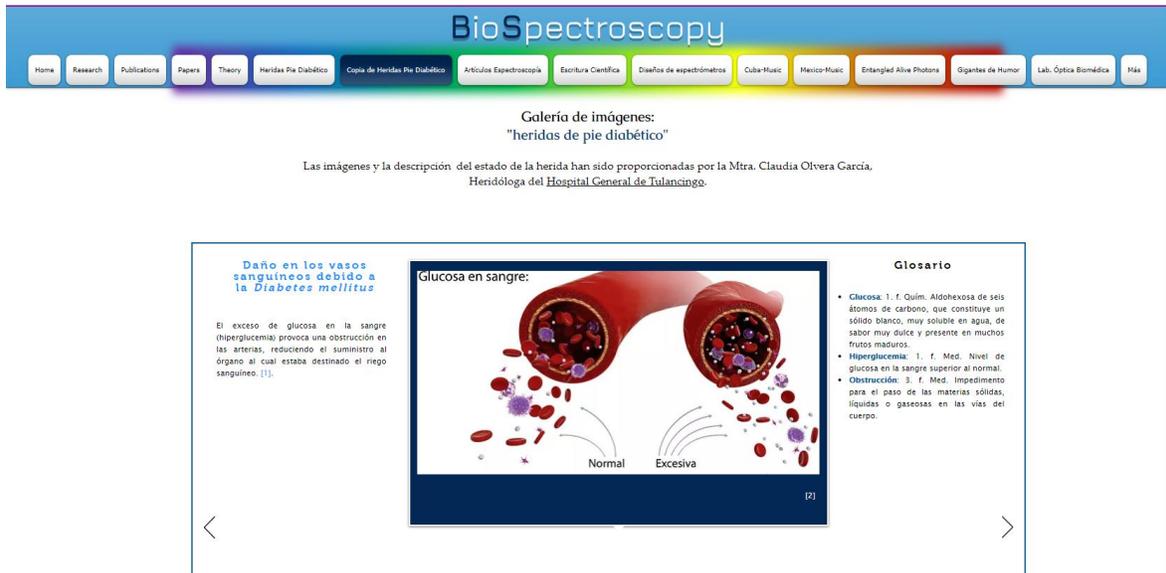
Tabla 4.1 (CONTINUACIÓN). Organización del contenido recopilado para la página web BioSpectroscopy. Cada fila corresponde a un conjunto de datos que cambiarán conforme el usuario se desplace en la galería. Las referencias aquí usadas se presentarán en la página web en forma de corchetes con el número correspondiente y el enlace será colocado en la parte inferior de la página.

Información Preventiva	Imagen	Glosario
<p>Un 50% a 80% de las muertes de pacientes diabéticos se deben a causas cardiovasculares.</p> <p>La diabetes se ha convertido en una de las causas principales de enfermedad y muerte prematura en la mayoría de los países, sobre todo debido al aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes</p>		<p>Cardiovascular: 1. adj. Med. Perteneciente o relativo al corazón o al aparato circulatorio.</p> <p>Prematuro: 2. adj. Que se da antes de tiempo.</p>
<p>La diabetes de tipo 2 es prevenible. Treinta minutos de actividad física de intensidad moderada casi todos los días y una dieta saludable pueden reducir drásticamente el riesgo de desarrollar diabetes tipo 2. La diabetes tipo 1 no puede prevenirse.</p> <p>https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes</p>		<p>Moderar: 1. tr. Templar, ajustar o arreglar algo, evitando el exceso.</p> <p>Drástico: 1. adj. Riguroso, enérgico, radical, draconiano.</p>
<p>Las personas que padecen diabetes viven en una debilidad constante, consecuencia de su limitada alimentación y de la progresión inevitable de la enfermedad. Es así que se sabe, es tan sólo la puerta a otros padecimientos graves, como la insuficiencia renal y cardíaca, los males vasculares, e incluso virus que son más fáciles de adquirir en ese estado, como la influenza y la tuberculosis.</p> <p>http://cronicamexicana.com/2016/11/23/cinco-datos-alarmantes-sobre-la-diabetes-en-mexico/</p>		<p>Debilidad: 1. f. Falta de vigor o fuerza física.</p> <p>2. f. Carencia de energía o vigor en las cualidades o resoluciones del ánimo.</p> <p>Progresión: 1. f. Acción de avanzar o de proseguir algo.</p> <p>Tuberculosis: 1. f. Enfermedad infectocontagiosa de los humanos y de otras especies animales producida por el bacilo de Koch.</p>

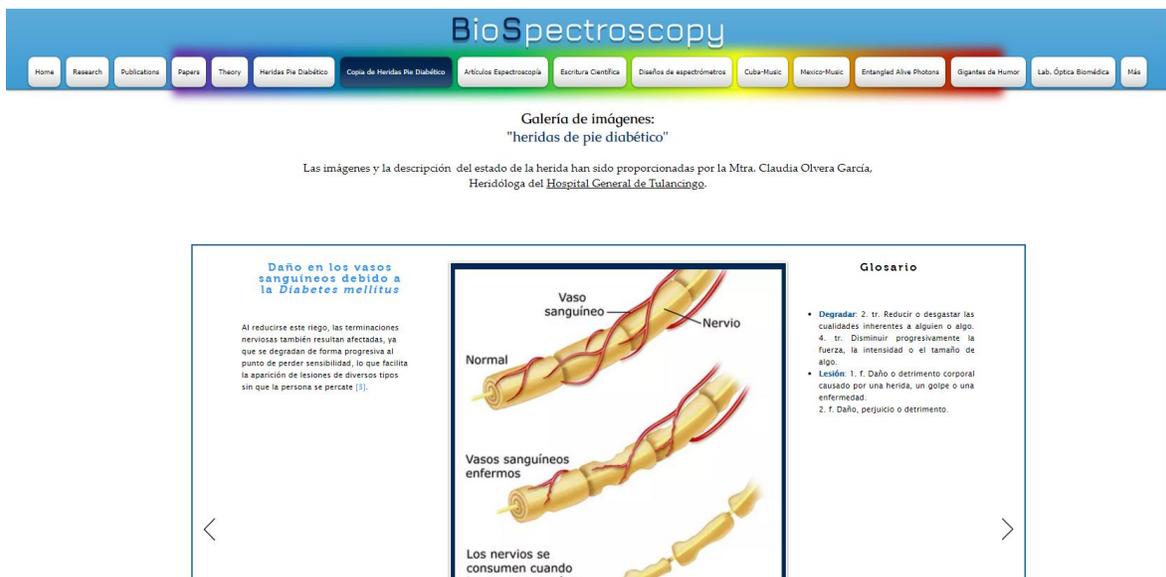
Tabla 4.1 (CONTINUACIÓN). Organización del contenido recopilado para la página web BioSpectroscopy. Cada fila corresponde a un conjunto de datos que cambiarán conforme el usuario se desplace en la galería. Las referencias aquí usadas se presentarán en la página web en forma de corchetes con el número correspondiente y el enlace será colocado en la parte inferior de la página.

Información Preventiva	Imagen	Glosario
<p>Los Jóvenes mexicanos están cada vez más enfermos</p> <p>La incidencia diabética afecta a cada vez más personas con edades menores a 30 años, debido a sus malos hábitos y adquiriendo esta enfermedad desde que comienzan su adultez.</p> <p>Se estima que una parte significativa de la población Mexicana de alrededor de 20 años de edad ya está siendo diagnosticada, cuya esperanza de vida no supera los 60 años.</p> <p>http://cronicamexicana.com/2016/11/23/cinco-datos-alarmantes-sobre-la-diabetes-en-mexico/</p>		<p>Epidemia: 1. f. Enfermedad que se propaga durante algún tiempo por un país, acometiendo simultáneamente a gran número de personas. 2. f. Mal o daño que se expande de forma intensa e indiscriminada.</p> <p>Esperanza de vida: 1. f. Tiempo medio de vida de un individuo o de una población biológica determinada.</p>
<p>¿Sabías que...</p> <p>Una cucharadita de azúcar contiene 4g, mientras una lata de refresco común contiene hasta 40 g de azúcar.</p> <p>El riesgo de padecer diabetes aumenta un 29% al beber una lata diaria de cualquier bebida azucarada.</p> <p>La industria tiene 56 nombres para el azúcar. Dr. Máximo Ravenna, "Más vida, menos kilos" Editorial GRIJALBO, ISBN: 9789502809427</p>		<p>Refresco: 1. m. Bebida fría o del tiempo. 2. m. Agasajo de bebidas, dulces, etc., que se da en las visitas u otras concurrencias.</p> <p>Azucarado: 1. adj. Semejante al azúcar en el gusto. 2. adj. coloq. empalagoso.</p> <p>Azúcar: 1. m. o f. Sustancia cristalina perteneciente al grupo químico de los hidratos de carbono, de sabor dulce y de color blanco en estado puro, soluble en el agua, que se obtiene de la caña dulce, de la remolacha y de otros vegetales.</p>
<p>El azúcar y la grasa son los componentes que más aumentan la palatabilidad de los alimentos.</p> <p>El azúcar contiene 400 calorías por cada 100 gramos, sin importar su color.</p> <p>La elaboración de la azúcar rubia es incluye el uso de leche de cal y cal viva, además de ácidos carbónico y sulfuroso.</p> <p>Dr. Máximo Ravenna, "Más vida, menos kilos" Editorial GRIJALBO, ISBN: 9789502809427</p>		<p>Palatabilidad: 1. f. Cualidad de ser grato al paladar un alimento.</p> <p>Ácido carbónico: 1. m. Quím. Disolución de anhídrido carbónico en agua, que se emplea fundamentalmente en la fabricación de bebidas gaseosas.</p> <p>Ácido sulfuroso: 1. m. Quím. Líquido incoloro, compuesto de azufre, hidrógeno y oxígeno, y que se utiliza como agente blanqueador. (Fórm. H₂SO₃).</p> <p>Fuente: Real Academia Española. https://dle.rae.es/</p>

Una vez que la información de la [Tabla 4.1](#) fue organizada, se procedió a la transferencia hacia la página web mediante el editor de Wix®, como se ve en la [Fig. 4.8](#).



a)



b)

Figura 4.8. (a,b) Interface de la página BioSpectroscopy con dos ejemplos de ilustraciones acompañadas de información en forma de texto.

4.4 Discusión

Mediante la difusión de campañas públicas de índole gubernamental, se ha buscado la estabilización de las cifras de incidencia de diabetes, tanto a nivel nacional como mundial. Uno de los elementos presentes en la mayoría de dichas campañas es la promoción de estilos de vida saludables, que se componen principalmente de actividad física periódica y una alimentación balanceada. No obstante, el número de personas diabéticas ha seguido su tendencia creciente, por lo que los esfuerzos conjuntos del gobierno y fundaciones han sido insuficientes o tenido una implementación poco eficiente. En este estudio, se elaboró una compilación informativa con relación a algunas de las campañas preventivas implementadas, además del desarrollo de un apartado en la página web BioSpectroscopy (<https://biospectroscopy-jada.wixsite.com/biospectroscopy>) con fines preventivos.

Encontramos que existen factores en común que contribuyen a la aparición de la diabetes, como lo son la mala alimentación, el sedentarismo y el consumo excesivo de glucosa y alimentos procesados, entre otros. Esta información nos pareció apropiada para incluirla como parte del contenido usado en la página web referida, ya que la misma fue enfocada en concientizar a la población para evitar adquirir estos malos hábitos, además de seguir las indicaciones y tratamientos médicos en personas que ya padecen diabetes, eludiendo así las consecuencias que esto acarrea, mostrando imágenes de úlceras producidas en los pies de pacientes diabéticos.

Se espera que esto produzca un impacto adicional que sensibilice a la población acerca de la realidad de los perjuicios que sufre una persona en condiciones desfavorables debido a la negligencia del paciente. Se vislumbra que la consulta de la página web logre un efecto positivo en la población de la comunidad estudiantil de la UPT y la ciudad de Tulancingo, reduciendo así el número de personas que deban acudir al hospital para el tratamiento de estas lesiones.

4.5 Conclusiones

Se realizó la compilación de información acerca de la diabetes con fines preventivos además del desarrollo de un apartado en la página web BioSpectroscopy, contribuyendo así a los intentos de reducir las altas tasas de incidencia de diabetes en la población de forma local, o al menos frenar su crecimiento. Se incorporaron elementos que la publicidad actual no había incluido hasta el momento a fin de informar de una manera más completa al lector y crear conciencia de las afectaciones que una úlcera podría acarrear a cualquier persona con diabetes y/o las consecuencias adversas derivadas de malos hábitos de vida que pueden provocar el padecimiento de esta enfermedad. Dichos elementos incluyen una galería de imágenes médicas e información estadística y médica dispuesta de forma inteligible para el público en general.

El desarrollo de la página web representa una herramienta para la prevención de las complicaciones del pie diabético con la posibilidad de ser difundida a través de los medios de comunicación de la Universidad Politécnica de Tulancingo, como lo

son su programa de radio, las redes sociales y carteles dentro de la institución. La difusión a través de organismos de salud pública constituye otra opción a considerarse, ya que se puede promover la visita a la página en las instalaciones de sus edificios. Esta investigación preliminar establece las bases para el trabajo preventivo del pie diabético realizado por el grupo de Óptica Biomédica en colaboración con el HGT, así como trabajo a futuro que enriquezca su contenido y aumente su alcance.

4.6 Referencias

[1] 10 Datos sobre la diabetes, Organización Mundial de la Salud. Consultado el 21 de mayo de 2019.

<https://www.who.int/features/factfiles/diabetes/facts/es/index9.html>

[2] Estiman que 12 millones de personas padecen diabetes en México, Excelsior. Consultado el 21 de mayo de 2019.

<https://www.excelsior.com.mx/nacional/estiman-que-12-millones-de-personas-padecen-diabetes-en-mexico/1278297>

[3] Herrera, A. A., Miguel Soca, P. E., Será, C. R., Mariño Soler, A. L., & Guerra, R. C. O. (2012). Actualización sobre diabetes mellitus. Correo Científico Médico de Holguín, 16(2)

[4] Hernández-Ávila, M., Gutiérrez, J. P., & Reynoso-Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus en México: El estado de la epidemia. Salud pública de Mexico, 55, s129-s136.

[5] Cinco datos alarmantes sobre la diabetes en México, Crónica Mexicana. Consultado el 22 de mayo de 2019.

<http://cronicamexicana.com/2016/11/23/cinco-datos-alarmantes-sobre-la-diabetes-en-mexico/>

[6] Dr. Emilio Suarez, Prevención del pie diabético, El médico en la casa. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<http://www.elmedicoenlacasa.com/prevencion-del-pie-diabetico/>

[7] Hospital Universitario Ramón y Cajal, Dirección Enfermera, Protocolos de cuidados Pie diabético PRT / PD / 001, Madrid.org. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1202756185419&ssbinary=true>

[8] La prevención del pie diabético, determinante para reducir las amputaciones por esta causa, Apoya tu salud. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<https://www.apoyatusalud.com/prevenir-pie-diabetico-determinante-reducir-amputaciones/>

[9] Diabetic Wound Care, 5 Tips for Preventing Diabetic Foot Ulcers, Advanced tissue. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<https://advancedtissue.com/2014/12/5-tips-preventing-diabetic-foot-ulcers/>

[10] Diabetic Wound Care, Four Keys to Preventing Diabetic Foot Ulcers, Advanced tissue. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<https://advancedtissue.com/2018/01/four-keys-to-preventing-diabetic-foot-ulcers/>

[11] Hoogeveen RC, Dorresteijn JAN, Kriegsman DMW, Valk GD. Complex interventions for preventing diabetic foot ulceration. Cochrane Database of Systematic Reviews 2015, Issue 8. Art. No.: CD007610. DOI: 10.1002/14651858.CD007610.pub3.

[12] Preventing Diabetic Foot Ulcers, NYU Langone Care. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<https://nyulangone.org/conditions/diabetic-foot-ulcers-in-adults/prevention>

[13] Unity Point Health – Methodist, Top 5 Causes of Non-Healing Diabetic Foot Ulcers (And How to Prevent Them), UnityPoint. Consultado el 28 de mayo de 2019.

<https://www.unitypoint.org/livewell/article.aspx?id=7a88ede4-3631-4063-a4ba-cd0b98b738ca>

[14] Armstrong, D. G., & Lavery, L. A. (1998). Diabetic foot ulcers: prevention, diagnosis and classification. American family physician, 57(6), 1325-32.

[15] Bouza, E. T., Robles, M. D., García, M. F., Veiga, C. F., Vilela, M. L., Vázquez, M. M., ... & Torrado, R. V. (2004). Atención de enfermería en la prevención y cuidados del pie diabético. Atención primaria, 34(5), 263-271

[16] J.A. Delgado Atencio, BioSpectroscopy. Consultada el 28 de mayo de 2019.

<https://biospectroscopy-jada.wixsite.com/biospectroscopy>

[17] Programa de Acción Diabetes Mellitus, Secretaría de Salud, México, D.F. Consultado el 14 de mayo de 2019.

http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/diabetes_mellitus.pdf

[18] Lineamientos de la semana nacional de la diabetes, Secretaría de Salud. Consultado el 16 de mayo de 2019.

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/19664/LineamientosSemanaNacionalDiabetes2014.pdf>

[19] Campaña de detección de diabetes en población sedentaria, Secretaría de Salud. Consultado el 14 de mayo de 2019.

<https://www.gob.mx/salud/prensa/campana-de-deteccion-de-diabetes-en-poblacion-sedentaria>

[20] Campaña menos diabetes, más salud, Secretaría de Salud. Consultado el 16 de mayo de 2019.

<https://www.gob.mx/salud/en/videos/campana-menos-diabetes-mas-salud-secretaria-de-salud>

[21] D. Vicenteño, A. Luna, Lanzan estrategia contra la diabetes y el sobrepeso, Excelsior. Consultado el 14 de mayo de 2019.

<https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/11/15/1128259>

[22] Conoce la campaña “Fue la obesidad, después la diabetes...”, Alianza por la Salud Alimentaria. Consultado el 14 de mayo de 2019.

<https://alianzasalud.org.mx/conoce-la-campana-fue-la-obesidad-despues-la-diabetes/>

[23] Qué es el Día Mundial de la Diabetes, Fundación para la Diabetes. Consultado el 23 de mayo de 2019.

<https://www.fundaciondiabetes.org/diamundial/328/que-es-el-dia-mundial-de-la-diabetes>

[24] Campaña 2018: Familia y Diabetes, Fundación para la Diabetes. Consultado el 23 de mayo de 2019.

<https://www.fundaciondiabetes.org/diamundial/657/campana-2018-familia-y-diabetes>

[25] 2005: Diabetes y cuidado del pie, Fundación para la Diabetes. Consultado el 23 de mayo de 2019.

<https://www.fundaciondiabetes.org/diamundial/351/2005-diabetes-y-cuidado-del-pie>

[26] "Con el azúcar no se juega" - " Con la grasa no se juega", Gobierno de Canarias. Consultado el 23 de mayo de 2019.

<https://www3.gobiernodecanarias.org/sanidad/scs/contenidoGenerico.jsp?idDocumento=675e2e04-de57-11de-abad-f78c69e03620&idCarpeta=c60bd3e4-a9a3-11dd-b574-dd4e320f085c>

[27] Real Academia Española. Consultado el 13 de mayo de 2019.
<https://dle.rae.es/?w=diccionario>

[28] Do I have diabetes?, American Medical Association. Consultado el 17 de junio de 2019.

<https://doihaveprediabetes.org/es/preguntas-frecuentes-sobre-la-prediabetes-y-diabetes/conocimientos-basicos-sobre-la-diabetes/>

CAPÍTULO 5

Conclusiones Generales

Se llevó a cabo un estudio espectral de la sustancia Alkacide® en el capítulo 2. Se trata de un desinfectante empleado por personal médico del Hospital General de Tulancingo para la esterilización de instrumental quirúrgico. Su caracterización se llevó a cabo mediante el uso de un arreglo espectral de absorción típico (Fig. 2.3). Los datos fueron capturados y procesados mediante el software Spectra Suite (Fig. 2.4). La sustancia muestra un pico de absorción alrededor de los 641 nm. Debe mencionarse que la concentración de la muestra obtenida es desconocida, dado que no fue especificada por el personal médico que la proporcionó y que esta puede ser un factor que altere los resultados de una futura caracterización.

En el capítulo 3 de la tesis se analizaron dos aspectos respecto al diseño de la fibra óptica: La influencia de su acople de fronteras con la muestra a analizar y la influencia del material con el cual se elabore su encapsulado. Se llevaron a cabo mediciones espectrales *in vivo* a voluntarios bajo condiciones de frontera acoplada y desacoplada en la sonda de fibras ópticas. Se aprecia una similitud entre ambas respecto a la forma de los espectros obtenidos, haciendo referencia a la posición de picos y valles de reflectancia, pero notando una diferencia en la potencia medida (Fig. 3.13), lo que implica un error significativo entre ambos tipos de espectros. Se requiere una obtención de parámetros del tejido (como concentración de hemoglobina oxigenada y desoxigenada) bajo ambas condiciones para así determinar los valores más acercados al contenido real en cada voluntario.

La segunda parte del capítulo contiene la obtención de Espectros de Reflexión Difusa mediante el uso de la sonda de fibras ópticas mencionada anteriormente, cuyos encapsulados fueron elaborados en dos materiales distintos: nylamid y acrílico. Se tomaron mediciones in vivo a voluntarios con ambos materiales y distintas condiciones de frontera. El acople de fronteras en la sonda provocó una señal inferior que los espectros tomados con fronteras desacopladas, lo que es ocasionado por un escape parcial de la luz a través del material encapsulador, lo que sucedió consistentemente para ambos materiales. Asimismo, se hallaron diferencias entre los resultados obtenidos con nylamid y acrílico.

Se realizó una consulta a distintas fuentes web acerca de varias campañas preventivas contra el pie diabético en el capítulo 4, hallando una serie de medidas recomendadas para prevenir y tratar la diabetes. Consistentemente, se menciona un aumento en el número de casos en el país como un dato relevante a tomar en cuenta. Se creó una pestaña con contenido informativo y de prevención en la página web BioSpectroscopy, diseñada por la Mtra. Alejandra Cárdenas Rosales (Fig. 4.5). Además, se compiló información de campañas preventivas implementadas en México, buscando elementos en común que puedan ser difundidos con el fin de sensibilizar al público en general en este tópico y se fomente una cultura de salud y prevención.

5.1 Discusión

Esta tesis ha presentado bases teóricas y prácticas para la implementación de la Espectroscopía de Reflexión Difusa en un ambiente clínico con el fin de detectar ulceramiento en el tejido plantar de los pies de pacientes diabéticos de forma temprana. Esto se pretende implementar a través de la elaboración de sondas de medición fabricadas con materiales asequibles y de sencilla adquisición con algoritmos que faciliten su operación por médicos, haciendo más probable su uso en un mayor número de unidades e instalaciones médicas.

Se analizaron aspectos relevantes en cuanto a la composición y arquitectura de la sonda de fibras ópticas. Elementos como la adecuada desinfección de la misma y la influencia del material de fabricación fueron estudiados puntualmente, brindando información de importancia para la determinación de las especificaciones estructurales y operacionales de la sonda.

Dicha investigación permitirá una optimización del diseño de la instrumentación a desarrollar, así como una obtención precisa de los parámetros fisiológicos del tejido a estudiar. Esto llevará a un diagnóstico médico acertado, el cual será crucial para la deliberación del tratamiento más recomendable para cada caso particular, lo que forma parte de una prevención oportuna que intenta reducir las estadísticas alusivas principalmente al número de amputaciones de extremidades inferiores, así como de decesos en la población. La investigación preliminar aquí realizada plantea las bases de futuros trabajos que en conjunto permitan concluir las propuestas planteadas dentro de la presente tesis de maestría.

Apéndice A

Código Matlab R(rho) según el artículo de Farrell para $\mu_a = 0.01 \text{ mm}^{-1}$ y $\mu_s' = 1 \text{ mm}^{-1}$.

```
mua=0.01; %[cm^-1]
musp=1; %[cm^-1]
Nrel1= 1.0;
Nrel2= 1.38;
rho=0.01:0.1:5;
z=0;
mutp =mua+musp;
D =1./(3.*(mua+musp));
zo=1./mutp;
ap=musp./(mua+musp);
mueff=sqrt(3.*mua.*(mua+musp));

rd = (-1.440/Nrel1^2)+(0.710/Nrel1)+0.668+(0.0636*Nrel1);
Aspec = (1+rd)/(1-rd);
zb=2*Aspec.*D;
r1=sqrt((z-zo).^2+ rho.^2);
r2=sqrt((z+zo+2.*zb).^2+ rho.^2);
E1= zo.*(mueff+(1./r1)).*((exp(-mueff.*r1))./r1.^2);
E2= (zo+(2.*zb)).*(mueff+(1./r2)).*((exp(-mueff.*r2))./r2.^2);
Et= E1+E2;
% Reflexión Difusa según el Modelo de Farrell
Rtheo = (ap./(4*pi)).*Et; % Reflectance in [ 1/cm^2]
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
rd2 = (-1.440/Nrel2^2)+(0.710/Nrel2)+0.668+(0.0636*Nrel2);
Aspec2 = (1+rd2)/(1-rd2);
zb2=2*Aspec2.*D;
r12=sqrt((z-zo).^2+ rho.^2);
r22=sqrt((z+zo+2.*zb2).^2+ rho.^2);
E12= zo.*(mueff+(1./r12)).*((exp(-mueff.*r12))./r12.^2);
E22= (zo+(2.*zb2)).*(mueff+(1./r22)).*((exp(-mueff.*r22))./r22.^2);
Et2= E12+E22;
% Reflexión Difusa según el Modelo de Farrell
Rtheo2 = (ap./(4*pi)).*Et2; % Reflectance in [ 1/cm^2]

semilogy(rho,Rtheo)
title ('R(rho)')
xlabel ('Distancia (rho) (cm)')
ylabel ('Reflectancia difusa (a.u.)')
hold on
semilogy (rho,Rtheo2)
legend ('Fronteras acopladas','Fronteras desacopladas')
```

Apéndice B

Código Matlab para comparar los espectros de cada voluntario simultáneamente bajo condiciones de frontera acoplada y desacoplada

```
%%% LECTURA DE LOS ARCHIVOS .txt GENERADOS A PARTIR DE LOS ERD's %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%% BAJO CONDICIÓN DE FRONTERAS DESACOPLADAS %%%%%%%%%%%%%%%
for i = 1:5
    Filename=strcat(num2str(i),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
L1=length(nm);
L2=length(refl);
%%%%%%%% GRAFICACIÓN %%%%%%%%%
f1 = figure (1);
movegui(f1, 'north')
plot(nm,refl,'r');
title ('Espectros DRS')
xlabel ('Longitud de onda [nm]', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
ylabel ('Reflexión', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
axis([400 850 0 100])
hold on
%%% LECTURA DE LOS ARCHIVOS .txt GENERADOS A PARTIR DE LOS ERD's %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%% BAJO CONDICIÓN DE FRONTERAS ACOPLADAS %%%%%%%%%%%%%%%
for j = 6:10
    Filename=strcat(num2str(j),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm2=File.data(:,1);
    refl2=File.data(:,2);
    M1=length(nm2);
    M2=length(refl2);
    hold on
%%%%%%%% GRAFICACIÓN %%%%%%%%%
plot(nm2,refl2,'b');
grid on
h=legend ('Espectros con fronteras desacopladas','Espectros con fronteras
acopladas' )
rect = [0.51, 0.13, .25, .09];
set(h, 'Position', rect)
end
end
```

Apéndice C

Código Matlab para comparar los espectros de cada voluntario simultáneamente para ambos materiales bajo condiciones de frontera acoplada y desacoplada

```
f1 = figure (1);
movegui(f1, 'northwest')
for i = 1:5
    Filename=strcat('acr_',num2str(i),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    M1=length(nm);
    M2=length(refl);
plot(nm,refl,'r')
title ('Espectros ERD del acrílico')
xlabel ('Longitud de onda [nm]', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
ylabel ('Reflexión', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
axis([450 830 0 40])
hold on
for j = 6:10
    Filename=strcat('acr_',num2str(j),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'k')
grid on
legend ({'Fronteras desacopladas','Fronteras acopladas'})
hold on
end
end
f2 = figure (2);
movegui(f2, 'north')
for k = 1:5
    Filename=strcat('nyl_',num2str(k),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'b')
    title ('Espectros ERD del Nylamid')
xlabel ('Longitud de onda [nm]', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
ylabel ('Reflexión', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
axis([450 830 0 40])
    hold on
for l = 6:10
    Filename=strcat('nyl_',num2str(l),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'g')
end
hold on
grid on
legend ({'Nylamid (desacopladas)','Nylamid (acopladas)'})
```

```

hold on
end
f3 = figure (3);
movegui(f3, 'southwest')
for i = 1:5
    Filename=strcat('acr_',num2str(i),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    M1=length(nm);
    M2=length(refl);
plot(nm,refl,'r')
title ('Espectros ERD (Fronteras Desacopladas)')
xlabel ('Longitud de onda [nm]', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
ylabel ('Reflexión', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
axis([450 830 0 40])
hold on
for k = 1:5
    Filename=strcat('nyl_',num2str(k),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'b')
end
hold on
grid on
legend ({'Acrílico','Nylamid'})
hold on
end
f4 = figure (4);
movegui(f4, 'south')
for j = 6:10
    Filename=strcat('acr_',num2str(j),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'k')
title ('Espectros ERD (Fronteras Acopladas)')
xlabel ('Longitud de onda [nm]', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
ylabel ('Reflexión', 'fontsize', 11,'fontweight','bold');
axis([450 830 0 40])
hold on
for l = 6:10
    Filename=strcat('nyl_',num2str(l),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    plot(nm,refl,'g')
end
hold on
grid on
legend ({'Acrílico','Nylamid'})
hold on
end

```

Apéndice D

Código Matlab para graficar la absorbancia de la sustancia Alkacide®

```
clear all
close all
clc

for i=1:5

    Filename=strcat(num2str(i),'.txt');
    File=importdata(Filename);
    nm=File.data(:,1);
    refl=File.data(:,2);
    L1=length(nm);
    L2=length(refl);
    grid on
    hold on
end

matrix=zeros(L1,L2);
for o=1:L1
    column=refl(o);
    matrix(:,o)=column;
end
V=mean(matrix);

fig=figure(1);
plot(nm,V,'Color','b');
axis([380 850 0 0.5]);
title('Espectro Promedio de Absorbancia de Alkacide');
xlabel('Wavelength [nm]'); ylabel('Absorción [%]');
```