

INTRODUCCIÓN

La película lagrimal desempeña un importante papel en la fisiología ocular, tanto a nivel óptico-refractivo, como a nivel metabólico, contribuyendo a la lubricación de la córnea y a su protección frente a las agresiones de agentes externos. Actualmente el síndrome de ojo seco es una de las alteraciones de la superficie ocular más frecuentes en la población mexicana; la falta de una distribución continua de la lágrima origina la aparición, a largo plazo, de opacidades del epitelio de la córnea y la conjuntiva. El diagnóstico de este padecimiento se centra en la medición de la osmolaridad de la lágrima, cuyos valores reflejan la dinámica del intercambio de agua y solutos con la córnea. Por otra parte la lágrima es un fluido complejo, compuesto por agua, lípidos, sales, glucosa, enzimas y proteínas. También puede contener células en suspensión, desprendidas del epitelio corneal.

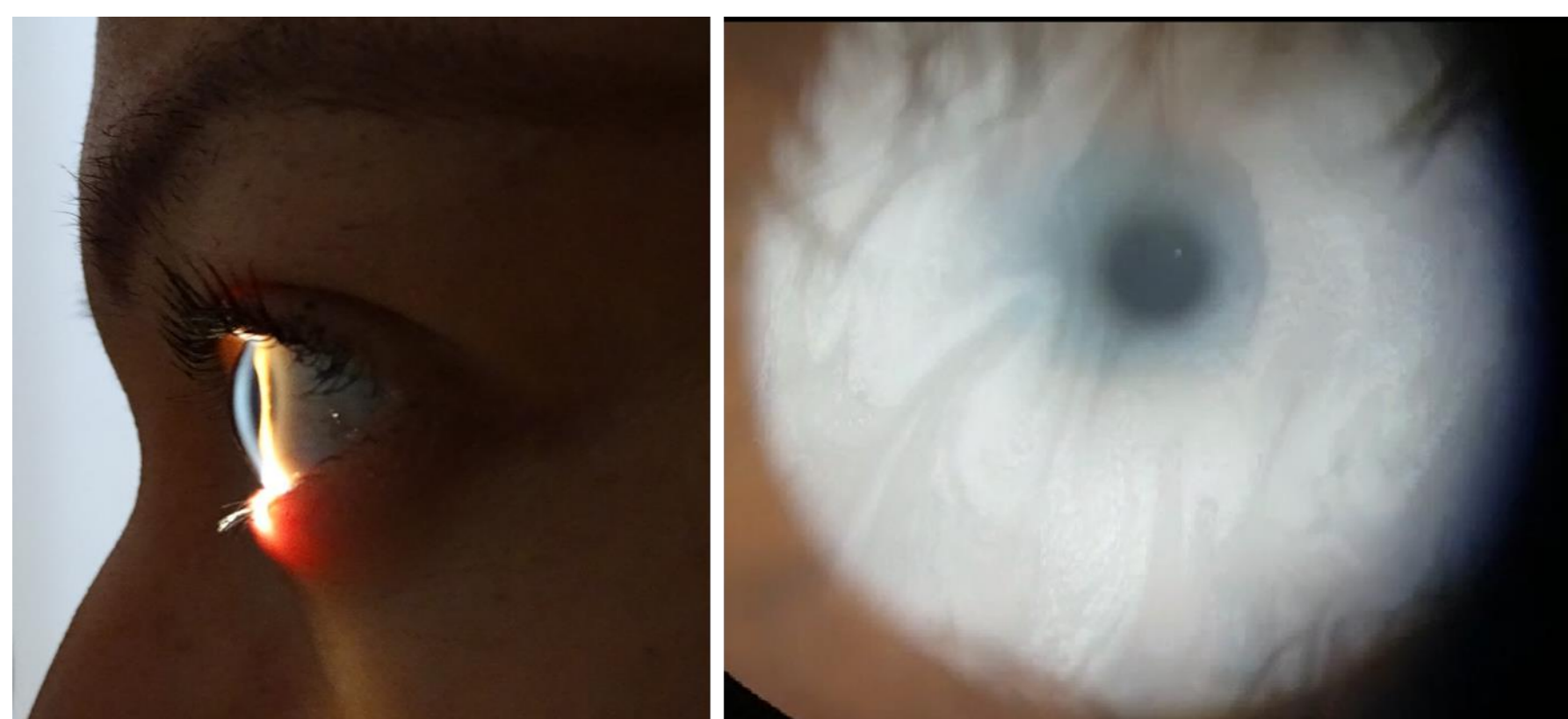


Fig. 1: Patrón de interferencia formado por la película delgada de lágrima sobre la córnea. Imagen tomada usando un lagrimoscopio acoplado a una lámpara de hendidura.

FUNDAMENTO TEÓRICO

Se propone estudiar la composición de la lágrima en cuanto a los solutos antes mencionados utilizando el concepto de índice de refracción (IR).

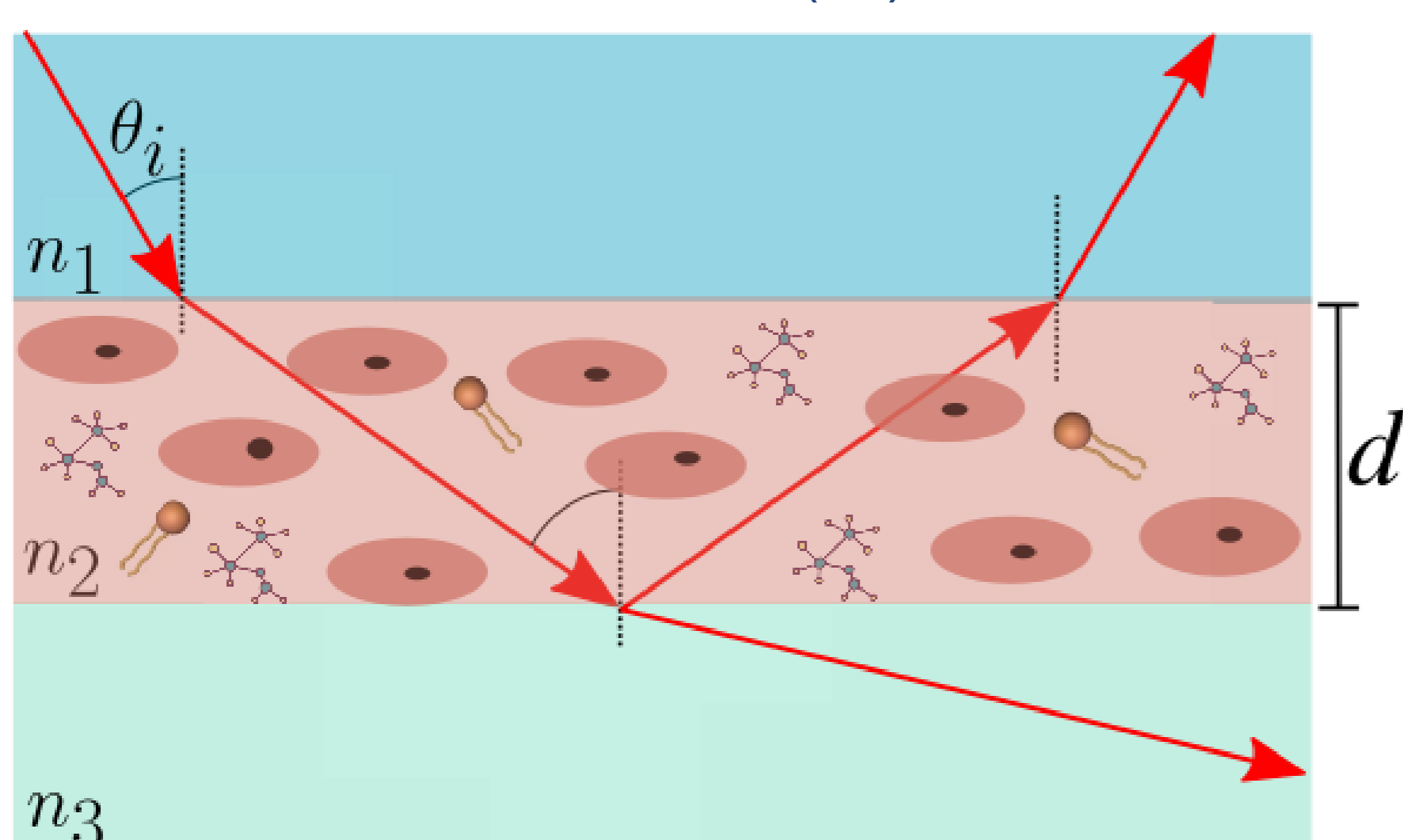


Fig. 2: Componente coherente (o promedio) de la luz reflejada por un sistema efectivo de tres medios. El medio 2 se considera un medio efectivo con índice de refracción complejo $n_2 = n_2' + in_2''$, en general.

Las técnicas conocidas para medir el IR, están bien establecidas cuando se trata de materiales homogéneos. Sin embargo, la lágrima es un biofluido complejo que puede presentar absorción y esparcimiento de la luz, por lo cual es necesario recurrir al concepto de medio efectivo.

La refractometría convencional, sólo nos da información de la parte real del índice de refracción, pero si la suspensión está estratificada y presenta inhomogeneidades comparables en tamaño a la longitud de onda incidente es necesario realizar refractometría no convencional y tomar en cuenta las pérdidas por esparcimiento de la luz.

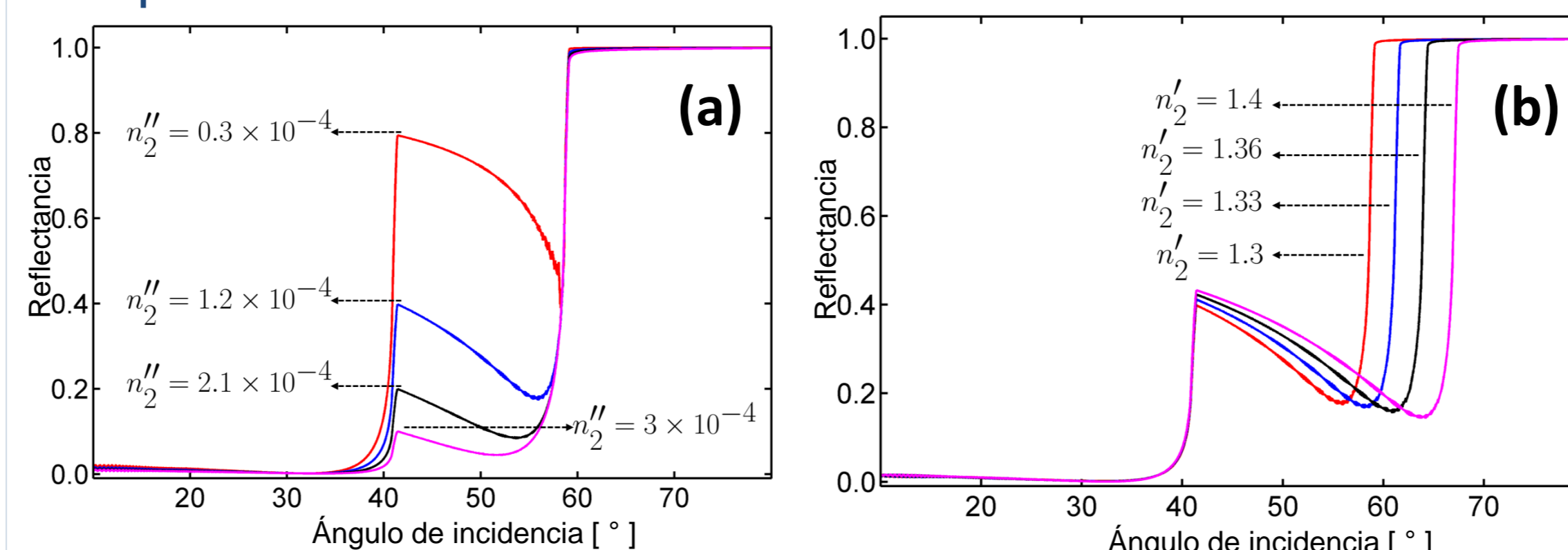


Fig. 3: Modelado teórico de la reflectividad de luz coherente como función del ángulo de incidencia, para un medio efectivo de 100um de espesor colocado entre dos medios homogéneos (vidrio y aire), en una configuración de reflexión interna. Se utilizan las fórmulas de Fresnel para 3 medios. Se observa una variación en la altura de la curva en el primer ángulo crítico al variar la parte imaginaria del índice de refracción del medio 2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se midió la parte real del IR de 10 muestras de lágrima, natural y artificial, usando un refractómetro de Abbe.

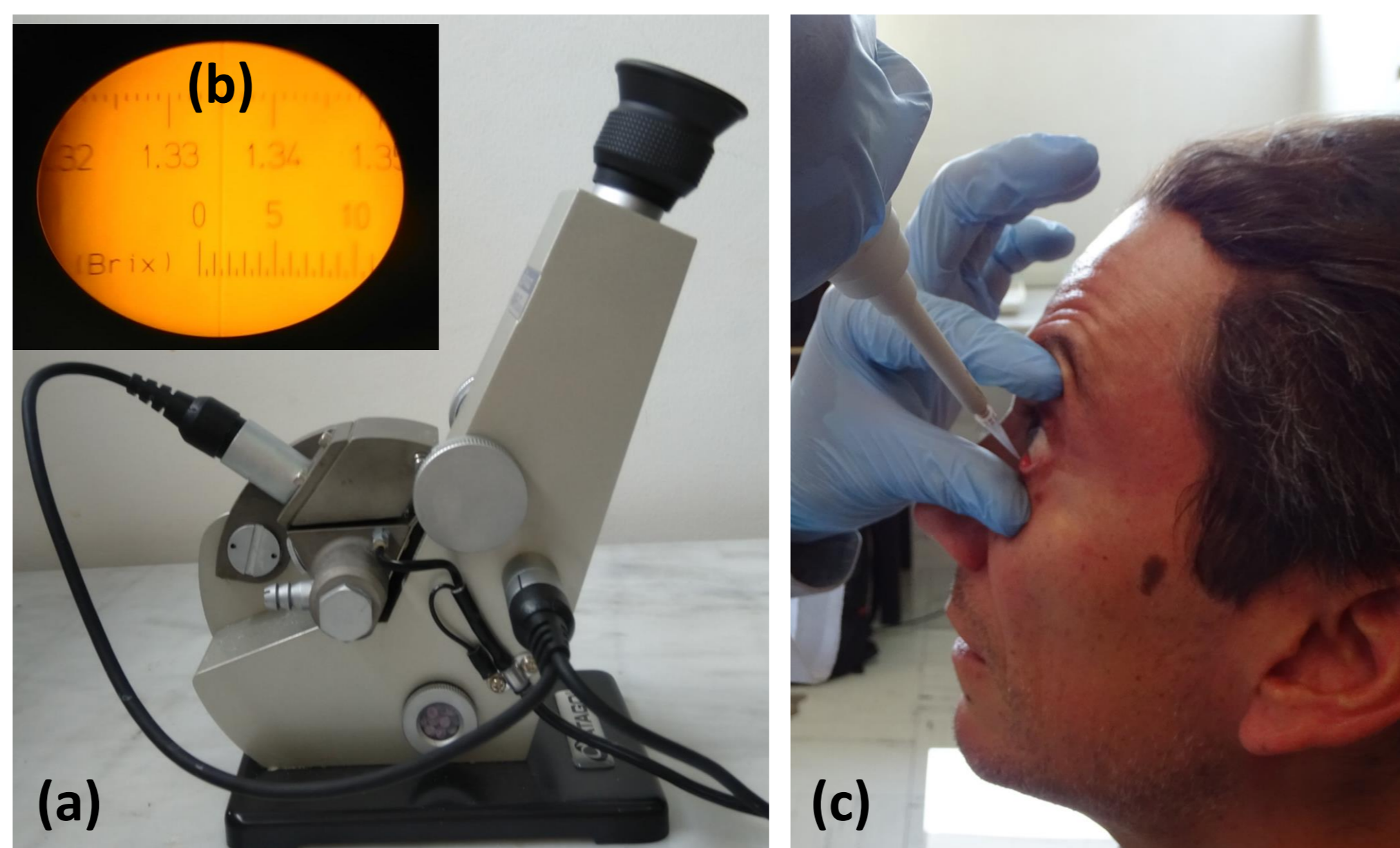


Fig. 4: Refractómetro de Abbe (a) y su escala (b) para la medición del índice de refracción. (c) Extracción de lágrima natural con una micropipeta.

La configuración de reflexión interna ofrece una alta sensibilidad cerca del ángulo crítico entre el prisma y el aire.

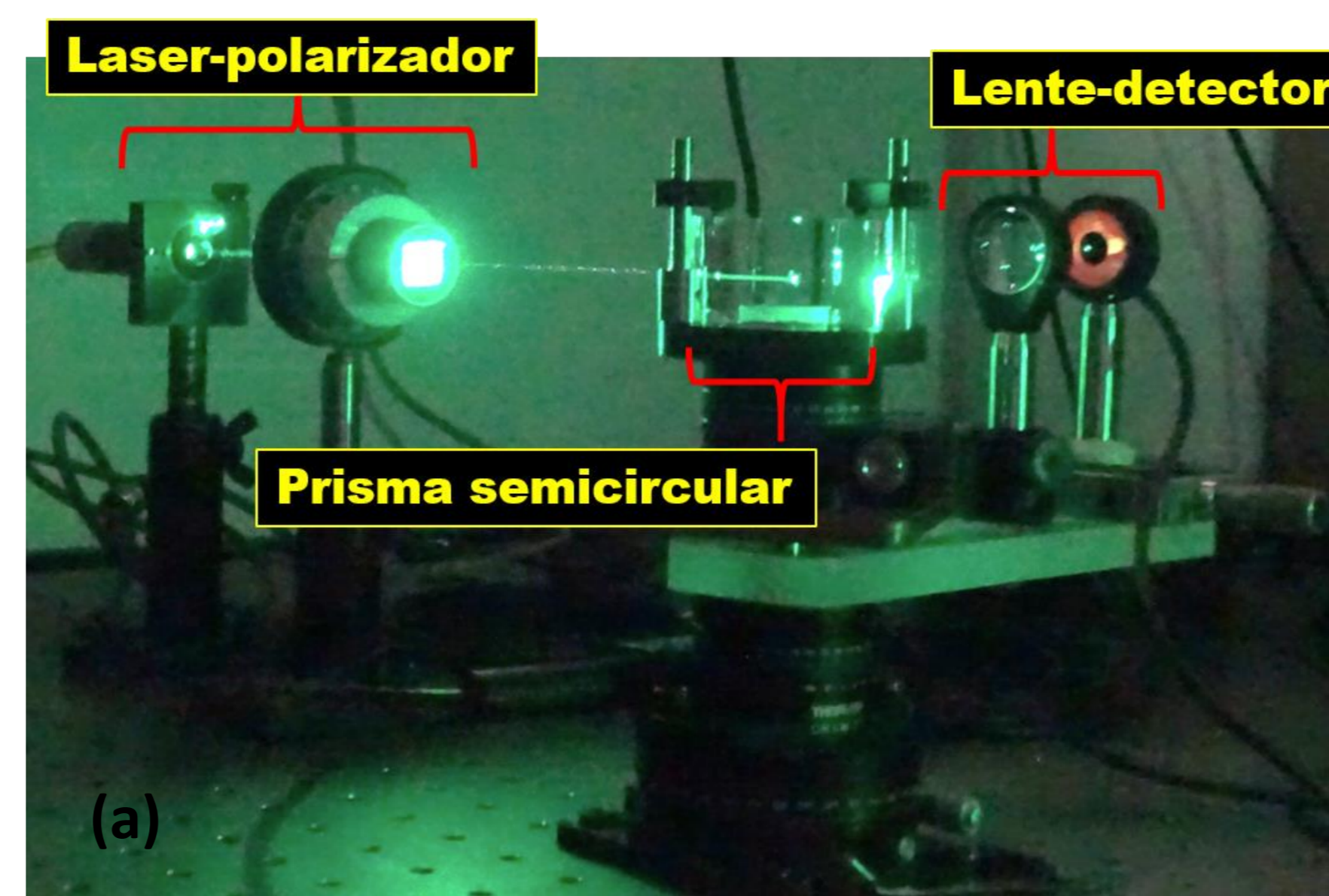


Fig. 5: (a) Montaje experimental para la medición de reflectividad de películas delgadas. (b) Esquema del arreglo experimental, se muestra el camino de la luz.

RESULTADOS

A. Tabla de IR medidos con Abbe

Muestra de lágrima	IR
Humilub	1.3345
Prolub	1.3373
Splash	1.3341
Alcohol Polivinílico	1.3371
Refresh	1.3344
Optifree	1.3350
Hyabak	1.3339
Paciente 1	1.3344
Paciente 2	1.3359
Paciente 3	1.3393

Tabla. 1: Parte real del índice de refracción medido con el refractómetro de Abbe. Se muestra un total 10 muestras de diferentes tipos de lágrima, entre artificiales y naturales.

B. Reflectividad de la película lagrimal

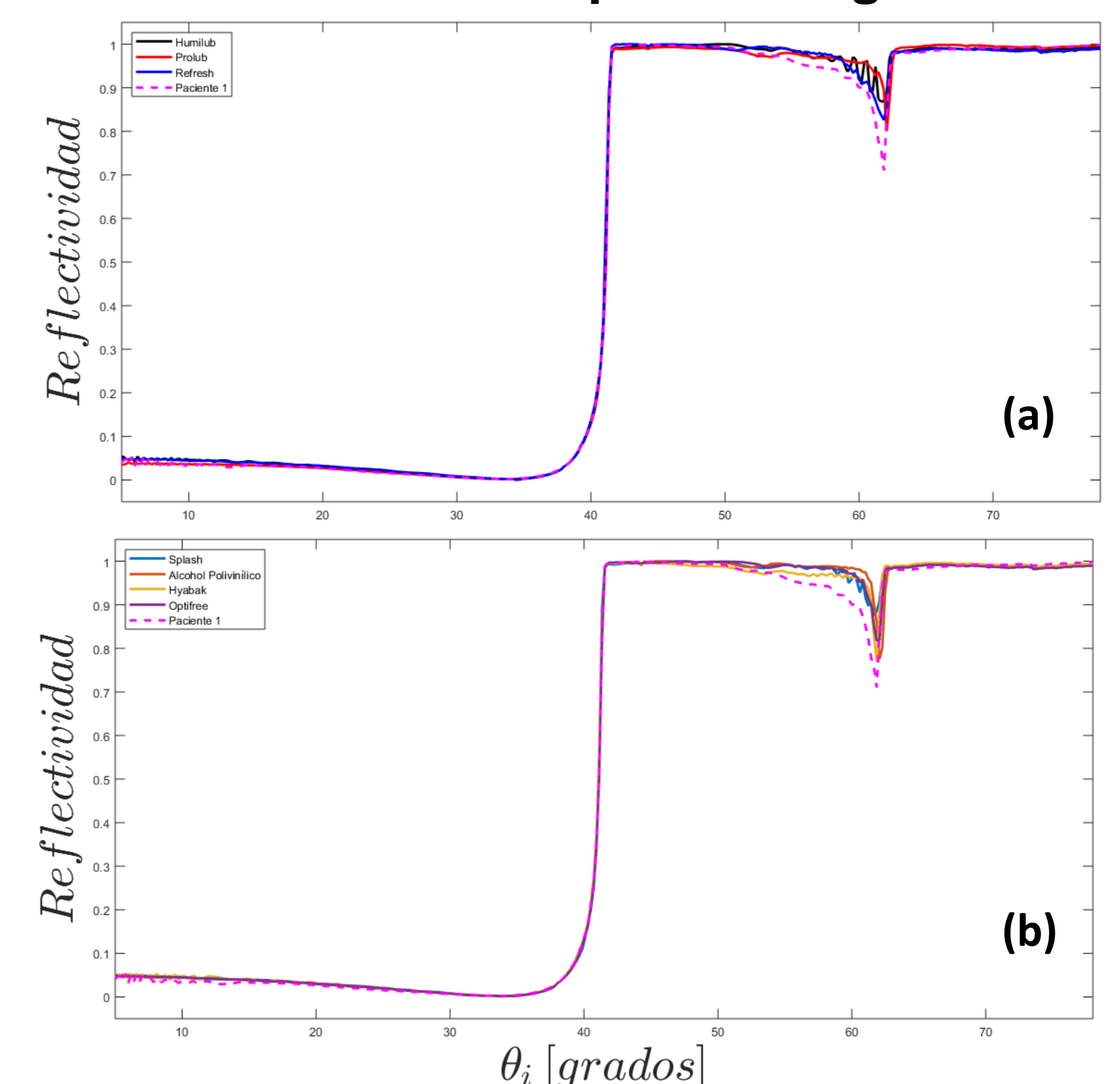


Fig. 6: Reflectividad experimental como función del ángulo de incidencia θ_i . En (a) y (b) se muestra la comparación de las curvas obtenidas para las 7 muestras de lágrimas artificiales con la muestra del Paciente 1.

RESUMEN Y PERSPECTIVAS

Este primer estudio exploratorio demuestra la factibilidad de la técnica de medición de reflectividad como función del ángulo de incidencia para estudiar la composición de la película lagrimal. La parte real del IR medida con el refractómetro de Abbe se puede relacionar con la osmolaridad, mientras que el contenido lipídico, celular y de proteínas se puede relacionar con las pérdidas observadas en la Fig. 6.

Agradecimientos

Agradecemos al M. en I. Alejandro por su colaboración al brindarnos algunas muestras de lágrima natural. Agradecemos el apoyo proporcionado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México a través del proyecto PAPIIT IN-102218. También se le agradece al Posgrado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional Autónoma de México y al CONACyT (México).

Referencias

- [1] V.V. Tuchin, Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnostics, Third Edition, SPIE Press Book, 2015.
- [2] C. Boudoux, Fundamentals of biomedical optics, Pollux, Canada (2017).