

OBSERVACIÓN DE MUESTRAS HISTOLÓGICAS CON TELÉFONOS INTELIGENTES MEDIANTE LENTES POLIMÉRICAS: APLICACIONES EN MICROSCOPIA

E. Flores Monge¹, S. J. Hernández Ordaz², A. Landa Landa³, A. S. Cruz Félix³, E. Tepichín Rodríguez³

¹Universidad de las Américas Puebla, San Andrés Cholula, Puebla,
esthela.floresme@udlap.mx

²Universidad Politécnica de Tlaxcala, San Pedro Xalcaltzinco, Tepeyanco, Tlax.,
shendall.hernandez05@gmail.com

³Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Pue., Puebla,
alanda@inaoep.mx, sinue@inaoep.mx, tepichin@inaoep.mx

RESUMEN

La microscopía es una herramienta fundamental en la investigación científica para observar y analizar muestras microscópicas. Una de sus aplicaciones es la histología, disciplina sobre la que se centra este trabajo. La evolución de la instrumentación óptica ha sido posible gracias al desarrollo de nuevos materiales, como el polidimetilsiloxano (PDMS), un elastómero transparente, ligero y de bajo costo. En este estudio se diseñaron y manufacturaron lentes poliméricas con PDMS, con el objetivo de aplicarlas en microscopía a través de cámaras de teléfonos inteligentes. Se estimó su distancia focal y magnificación, y se realizaron pruebas de formación de imágenes de muestras histológicas. Los resultados muestran que estas lentes ofrecen una alternativa funcional y accesible para aplicaciones de microscopía, lo que las convierte en herramientas para investigadores de diversas áreas científicas.

Palabras claves: Microscopía, Lentes poliméricas, Histología

ABSTRACT

Microscopy is a fundamental tool in scientific research for observing and analyzing microscopic samples. One of its main applications is histology, the discipline on which this work is focused. The evolution of optical instrumentation has been driven by the development of new materials, such as polydimethylsiloxane (PDMS), a transparent, lightweight, and low-cost elastomer. In this study, polymeric lenses made of PDMS were designed and manufactured with the aim of applying them to microscopy using smartphone cameras. Their focal length and magnification were estimated, and imaging tests of histological samples were conducted. The results show that these lenses provide a functional and affordable alternative for microscopy applications, making them valuable tools for researchers across various scientific fields.

Key words: Microscopy, Polymer lenses, Histology

1. INTRODUCCIÓN

La observación detallada de objetos por debajo del límite de resolución del ojo humano (aproximadamente 1 mm) ha representado un desafío constante a lo largo de la historia [1].

La microscopía surgió a partir del uso de lentes simples para observar objetos pequeños y ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta compleja y fundamental para la ciencia moderna. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en diversas disciplinas como la biología, biomedicina, ciencia de materiales, electrónica, industria alimentaria y ciencias forenses, permitiendo explorar el microcosmos y revelar estructuras invisibles al ojo humano [2].

Actualmente existen distintos tipos de microscopios, clasificados principalmente en ópticos, electrónicos y de sonda, cada uno con capacidades y aplicaciones específicas. En años recientes se han desarrollado microscopios portátiles, de bajo costo y fácil manejo, diseñados especialmente para educación y uso en campo, aunque usualmente presentan limitaciones en resolución de imagen, facilidad de uso, costo y fragilidad de los sistemas [3].

El objetivo del presente trabajo es la manufactura de lentes poliméricas que puedan ser utilizadas en la observación microscópica de muestras histológicas, empleando la cámara de un teléfono inteligente. Se busca que estas lentes ofrezcan una magnificación funcional, buena resolución y facilidad de uso.

Las lentes fueron elaboradas con Polidimetilsiloxano (PDMS), un polímero flexible, transparente, no tóxico, hidrofóbico, dieléctrico, resistente a radiación UV, cambios de temperatura, y de bajo costo [4]. Estas características lo hacen adecuado para diversas aplicaciones ópticas y microelectromecánicas, como cubiertas de componentes electrónicos, válvulas, filtros y lentes sólidas o líquidas de distancia focal variable [5].

Para lograr nuestro objetivo, en la sección 2 se explican brevemente algunos conceptos básicos como son: qué son los microscopios, los tipos que hay, la relevancia de las lentes ocular y objetivo en estos dispositivos y cómo calcular su magnificación, los fenómenos ópticos que hacen que una lente funcione y la ecuación que la describe, así como una breve explicación de cómo calcular la distancia focal de una lente con mediciones experimentales.

Posteriormente, la sección 3, que se encuentra dividida en cinco subsecciones, explica en detalle el procedimiento experimental. Para ello en las primeras dos se describe el proceso de manufactura de las lentes poliméricas, el método que se utilizó para formar imágenes por primera vez con las lentes y cómo se determinó su distancia focal.

Las siguientes tres subsecciones abordan los temas relacionados con la aplicación de las lentes poliméricas en la microscopía que se relacionan con nuestro objetivo: el diseño y ensamblado de dos sistemas ópticos para observar muestras histológicas, la elaboración de muestras histológicas, la observación y captura de imágenes de las muestras con los sistemas previamente descritos y la estimación de la magnificación producida por las lentes poliméricas a través de comparativas visuales de dichas imágenes.

Finalmente, en la sección 4 se destacan los resultados obtenidos de este trabajo, sus limitaciones e implicaciones.

2. TEORÍA

La visión es uno de los sentidos más importantes para la percepción del entorno. Sin embargo, el ojo humano sólo puede detectar una pequeña porción del espectro electromagnético, conocida como luz visible, que abarca longitudes de onda entre aproximadamente 380 nm y 700 nm [6]. Otras longitudes de onda, como el infrarrojo o el ultravioleta, quedan fuera del alcance de la percepción visual humana (Figura 1).

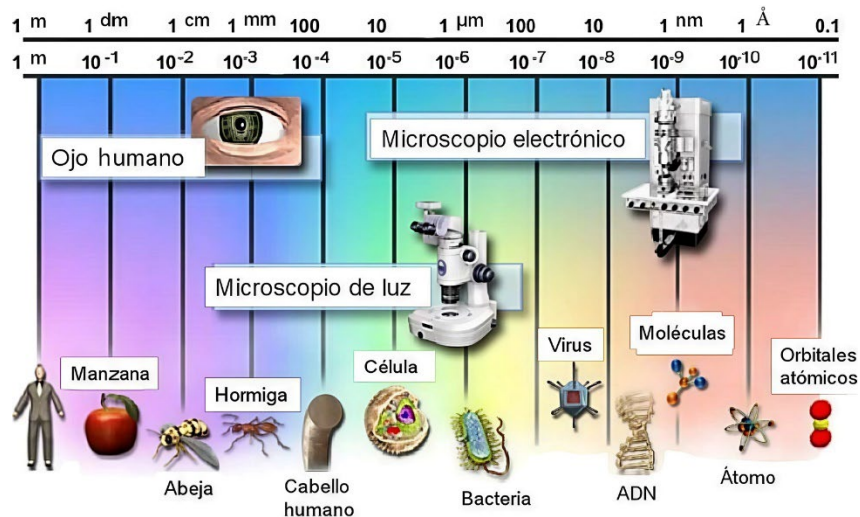


Figura 1. Comparativa de la percepción visual respecto a las longitudes de onda [1]

De acuerdo con la Real Academia Española (RAE), un microscopio es un instrumento que permite observar objetos demasiado pequeños para ser vistos a simple vista [7]. Existen diversos tipos de microscopios: simples, compuestos, estereoscópicos, confocales, electrónicos de barrido y de transmisión [8].

Los microscopios ópticos (compuestos) utilizan lentes -oculares y objetivos- que trabajan en conjunto para formar imágenes ampliadas.

El lente ocular actúa como un amplificador, magnificando la imagen primaria formada por el objetivo, que a su vez determina la calidad de la imagen, la magnificación total y la resolución del sistema.

La estructura de un lente ocular está formada por lentes, generalmente separadas por un diafragma que va introducido en la parte superior del tubo como se observa en la Figura 2, el lente objetivo generalmente está estructurado en forma cilíndrica y en su interior contiene un revestimiento anti reflejo y diversas lentes que están colocadas en serie y de manera alineada, como se observa en la Figura 3 [9].

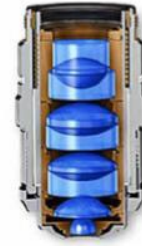
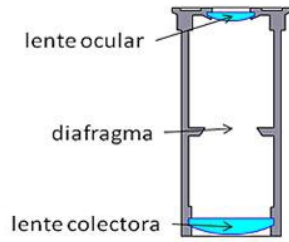


Figura 2. Estructura general de un lente ocular de microscopio [9] Figura 3. Estructura general de un lente objetivo de microscopio [9]

Por otro lado, determinar la magnificación total de un microscopio compuesto es clave para obtener imágenes óptimas de objetos microscópicos. Para calcular la magnificación total (ecuación 1) se puede multiplicar la amplificación lineal del objetivo, m_o , por la amplificación angular del ocular, Me , [10]:

$$M = m_o Me, \quad (1)$$

donde la amplificación lineal del objetivo, m_o , (ecuación 2) se calcula conociendo la longitud del tubo del microscopio, L , y la distancia focal del objetivo, f_o , en signo negativo, por lo que indica una imagen invertida [10]:

$$m_o = \frac{-L}{f_o}. \quad (2)$$

Para conocer la amplificación angular del ocular, Me , (ecuación 3) se tiene en cuenta la distancia mínima de visión clara del ojo humano promedio, 25 mm, y la distancia focal del ocular del microscopio, f_e [10]:

$$Me = \frac{25}{f_e}. \quad (3)$$

En aplicaciones de microscopía de alta resolución, también se emplea aceite de inmersión para mejorar la calidad de imagen. Este fluido, de alto índice de refracción, se aplica entre la muestra y el objetivo, reduciendo la dispersión de la luz y mejorando la resolución obtenida [11].

Las lentes poliméricas pueden representar una alternativa viable a las lentes de vidrio, especialmente cuando se requiere resistencia al impacto o diseños personalizados. Su comportamiento se puede describir mediante la ecuación de las lentes delgadas en su forma gaussiana (ecuación 4):

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f_{lente}}, \quad (4)$$

donde, f_{lente} , es la distancia focal de la lente, s_o , la distancia a la que la lente se encuentra del objeto y, s_i , la distancia a la cual forma la respectiva imagen [12].

Cuando la distancia entre objeto e imagen (L) es fija, es posible determinar dos posiciones distintas de la lente para obtener una imagen enfocada (ecuación 5), siempre que se cumpla que $L^2 > 4L \cdot f_{lente}$. Una vez conocidas experimentalmente estas posiciones, la distancia focal se puede determinar a través de la ecuación 6.

$$s_o = \frac{L \pm \sqrt{L^2 - 4L \cdot f_{lente}}}{2}, \quad (5)$$

$$f_{lente} = \frac{s_o \cdot L - s_o^2}{L}. \quad (6)$$

Las ecuaciones y conceptos descritos en esta sección son la base para explicar el procedimiento experimental descrito en este trabajo.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Manufactura de lentes poliméricas

El proceso de manufactura de las lentes poliméricas se basó en el procedimiento descrito por Cruz-Félix, et al. [5]. El PDMS se obtuvo comercialmente en dos componentes: base y catalizador.

Para esta investigación se prepararon mezclas con dos proporciones (base: catalizador) distintas: 10:1 y 10:2. Se escogieron dos concentraciones de PDMS porque cada una tiene diferentes propiedades ópticas y mecánicas, como lo son el índice de refracción y la flexibilidad [5].

Para la elaboración de lentes, se pesó 1 gramo de base en un vaso de precipitado, al que se añadió 0.1 g de catalizador para la proporción 10:1 y 0.2 g para la proporción 10:2. La mezcla se agitó cuidadosamente para evitar burbujas de aire y se vertió en un molde, asegurando una cobertura completa y dejando una “falda” alrededor de la lente para facilitar su manipulación posterior. El molde se colocó en una mufla a 120 °C durante 22 minutos para completar el proceso de curado. Finalmente, se retiró el molde de la mufla y se desmoldó cuidadosamente la lente, este proceso se repitió para ambas proporciones.

La Figura 4 muestra la imagen de una lente polimérica manufacturada.

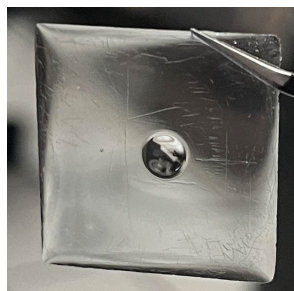


Figura 4. Lente polimérica manufacturada en el laboratorio

3.2 Formación de imágenes con una lente y determinación de la distancia focal

El sistema óptico se montó sobre un riel. La fuente de luz del sistema consistió en un haz de rayo láser rojo colimado, frente a la cual se colocaron el objeto a observar, la lente polimérica montada en un diafragma y la cámara CCD conectada a una computadora. Todos los componentes fueron cuidadosamente alineados con el eje del haz láser y se encuentran en la Figura 5.

Para estimar la distancia focal, se fijó la distancia entre el objeto y la cámara CCD. Luego, se colocó la lente polimérica entre ambos y se desplazó hasta observar una imagen nítida en la pantalla.

Con la ecuación correspondiente (ecuación 6), se calculó la distancia focal para seis configuraciones distintas.

En la Figura 6 se presentan algunas de las imágenes obtenidas y en la Tabla 1 se muestran los resultados y el promedio de la distancia focal estimada.

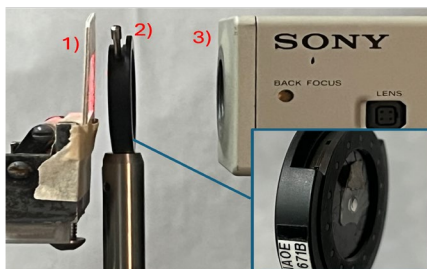


Figura 5. Configuración del sistema de formación de imágenes: 1) Objeto, 2) Lente, 3) Cámara CCD

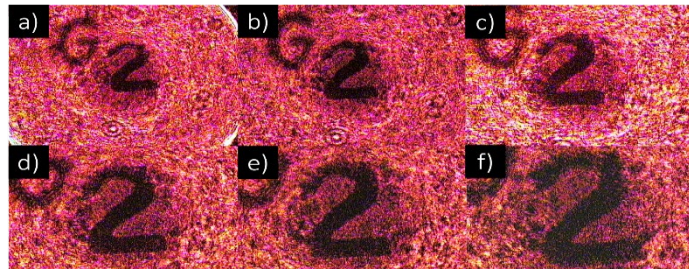


Figura 6. Imágenes formadas cuando la distancia entre la lente y el objeto es: a) 27.0 ± 0.5 mm, b) 30.0 ± 0.5 mm, c) 35.0 ± 0.5 mm, d) 40.0 ± 0.5 mm, e) 45.0 ± 0.5 mm, f) 50.0 ± 0.5 mm

Tabla 1. Valores medidos y calculados para estimar la distancia focal de la lente polimérica

L	s_o	f_{lente}
27.0 ± 0.5 mm	8.0 ± 0.5 mm	5.6 ± 0.3 mm
30.0 ± 0.5 mm	8.0 ± 0.5 mm	5.9 ± 0.3 mm
35.0 ± 0.5 mm	7.0 ± 0.5 mm	5.6 ± 0.3 mm
40.0 ± 0.5 mm	7.0 ± 0.5 mm	5.7 ± 0.3 mm
45.0 ± 0.5 mm	6.0 ± 0.5 mm	5.2 ± 0.3 mm
50.0 ± 0.5 mm	6.0 ± 0.5 mm	5.3 ± 0.3 mm
Promedio		5.6 ± 0.3 mm

El valor de la incertidumbre obtenida confirma que la resolución alcanzada en la imagen es razonable [3], tal como se muestra en la siguiente sección.

3.3 Formación de imágenes con sistemas ópticos

Para comparar visualmente el desempeño de las lentes propuestas en este trabajo, se diseñaron dos sistemas para la observación de muestras histológicas (Figura 7).

En el sistema (A), la lente polimérica se colocó sobre la cámara de un teléfono inteligente, montada verticalmente. Se improvisó una platina (2), un diafragma (3) y un difusor (4) para mejorar la calidad de la iluminación. El teléfono se sostuvo mediante un soporte ajustable (1).

En el sistema (B), también montado verticalmente, se utilizó un microscopio óptico convencional (5), una platina improvisada (6) y un difusor (7). Un soporte para el teléfono (8) facilitó la captura de imágenes.

Los resultados obtenidos se describen y muestran en la siguiente sección.

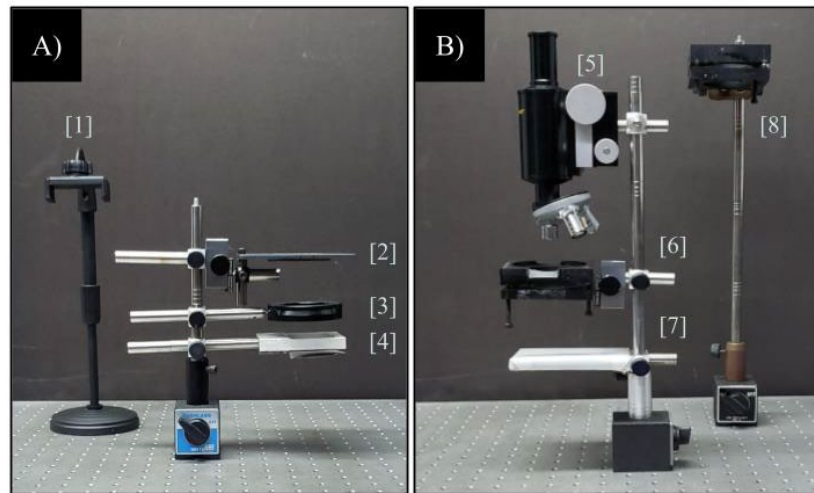


Figura 7. Sistemas ópticos para observación de muestras histológicas: (A) para usarse con la lente polimérica y el teléfono inteligente, (B) para usarse como microscopio óptico

3.4 Elaboración de muestras histológicas y captura de imágenes

Se prepararon diversas muestras biológicas mediante técnicas básicas de laboratorio, con el objetivo de observarlas utilizando las lentes poliméricas acopladas a teléfonos inteligentes.

Una de las muestras principales fue un frotis sanguíneo teñido con azul de metileno, que permitió observar células sanguíneas (Figura 8. a). La muestra se obtuvo con consentimiento informado de un individuo con antecedentes de cáncer. Otra muestra de interés fue un fragmento recolectado de piel epidérmica (Figura 8. b), el cual se colocó en un portaobjetos con agua destilada, se capturó y posteriormente se tiñó con azul de metileno para observar su estructura celular (Figura 8. c). La muestra se obtuvo con consentimiento informado de un individuo con quemaduras solares de primer grado y exposición solar.

También se prepararon muestras vegetales, como la epidermis de una hoja de árbol, cromoplastos de jitomate, amiloplastos de papa, y epidermis de cebolla y jitomate, todas teñidas según fuera necesario.

Todas las imágenes de las muestras histológicas se capturaron utilizando ambos sistemas (Figura 7).

Para el sistema (A), se usaron lentes 10:1 y 10:2, acopladas a teléfonos Samsung Galaxy S9 e iPhone 11.

Para el sistema (B), se emplearon lentes oculares de 6,3X, 15X, 20X y 25X, y objetivos de 5X, 10X, 20X y 40X.

Se obtuvieron un total de 928 imágenes correspondientes a ocho tipos de muestras diferentes, de las cuales algunos ejemplos se presentan en la Figura 8. El análisis detallado de todas las imágenes queda fuera del alcance del presente trabajo.

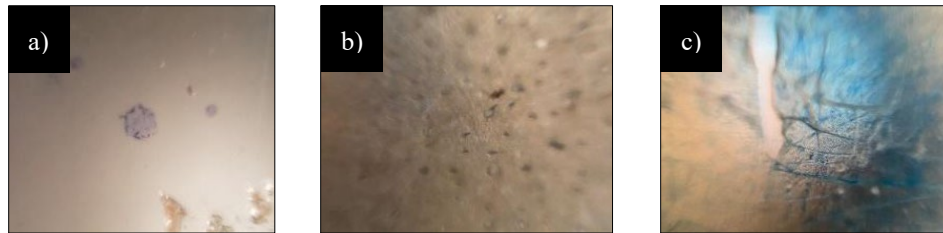


Figura 8. Fotografías de muestras histológicas utilizando el sistema de la Figura 7. A, capturadas con lentes poliméricas y un teléfono iPhone 11, donde se observan estructuras celulares: (a) célula sanguínea teñida de un frotis sanguíneo, (b) células muertas de la epidermis de un ser humano, (c) células muertas teñidas de la epidermis de un ser humano

3.5 Estimación de la magnificación de las lentes poliméricas

La magnificación se estimó mediante una comparación visual entre las imágenes obtenidas con las lentes poliméricas en el sistema (A) y las imágenes capturadas con el microscopio óptico del sistema (B), los sistemas se muestran en la Figura 7.

En la Figura 9 se muestra una comparación visual de una misma muestra histológica (epidermis teñida de una cebolla) para estimación de magnificación.

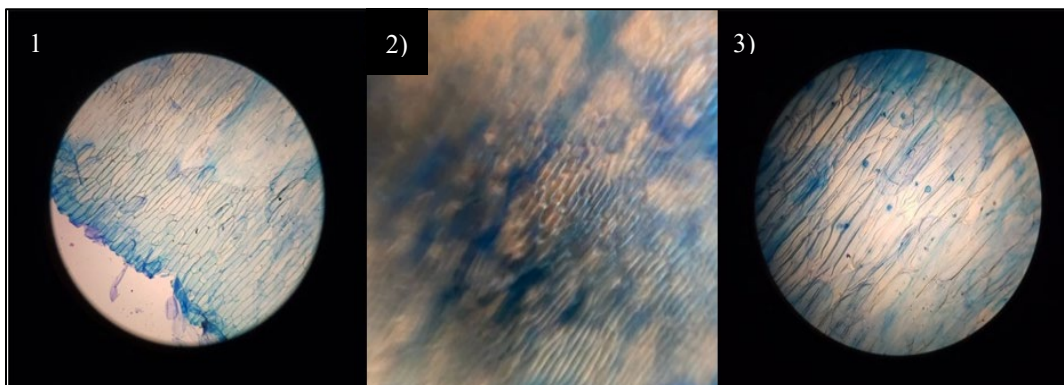


Figura 9. Fotografías de una muestra histológica de células epidérmicas teñidas de una cebolla: (1) imagen capturada a 31,5X con el sistema de la figura 7. B, (2) imagen obtenida con la lente 10:1 e iPhone 11 con el sistema de la figura 7. A, (3) imagen capturada a 63X con el sistema de la figura 7. B

Se puede observar en la Figura 9 que la magnificación lograda por las lentes poliméricas se encuentra en un rango entre 31,5X y 63X.

4. CONCLUSIONES

Las lentes poliméricas manufacturadas con PDMS demostraron ser capaces de formar imágenes nítidas y de buena calidad, lo que permitió su uso en conjunto con cámaras de teléfonos inteligentes para la observación de muestras histológicas.

La distancia focal estimada fue consistente con el diseño de las lentes, siendo suficientemente corta para generar una alta magnificación.

Como ya se mencionó, el análisis comparativo con un microscopio óptico convencional reveló que la magnificación lograda por las lentes poliméricas se encuentra en un rango entre 31,5X y 63X. Este nivel de aumento fue suficiente para observar estructuras celulares, tejidos y componentes presentes en las muestras preparadas, lo que valida el uso de estas lentes en aplicaciones básicas de microscopía.

Aunque el método utilizado para estimar la distancia focal presenta una incertidumbre relativamente alta, los resultados fueron consistentes entre distintas configuraciones. Se deja el uso de herramientas más precisas para futuras caracterizaciones.

Cabe señalar que, si bien la magnificación obtenida es funcional para muchas aplicaciones, puede no ser adecuada para observaciones que requieran una resolución máxima, como en estudios patológicos avanzados. Sin embargo, el bajo costo, la facilidad de fabricación y el potencial de portabilidad de estas lentes representan una alternativa viable para entornos educativos, investigación básica y contextos con recursos limitados.

Este trabajo demuestra que es posible acercar la microscopía a una mayor audiencia mediante tecnologías accesibles, ofreciendo un punto de partida para desarrollos más complejos o adaptaciones específicas en áreas biomédicas, educativas y de diagnóstico.

Agradecimientos

Los autores agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de los revisores, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad del manuscrito, así como a enfatizar aspectos relevantes para el desarrollo de nuestro trabajo futuro.

5. REFERENCIAS

- [1]. Reyes-Gasga, J. (2020). Breve reseña histórica de la microscopía electrónica en México y el mundo. *Mundo Nano: Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 13(25), 79–100.
- [2]. Rodríguez-De la Concha-Azcarate, G., López-Téllez, G., & Vilchis-Néstor, A. R. (2025). El microscopio bajo mis manos: breve historia, funcionamiento y aplicaciones de la microscopía. *Science Ergo-Sum*.
- [3]. Salido, J., Bueno, G., Ruiz-Santaquiteria, J., & Cristóbal, G. (2022). A review on low-cost microscopes for Open Science. *Microscopy Research and Technique*.

- [4]. Santiago-Alvarado, S., Cruz-Félix, A. S., González-García, J., Sánchez-López, O., MendozaJasso, A. J., & Hernández-Castillo, I. (2020). Polynomial fitting techniques applied to optomechanical properties of PDMS Sylgard 184 for giving curing parameters. *Materials Research Express*.
- [5]. Cruz-Félix, A. S., Santiago-Alvarado, S., Márquez-García, J., & González-García, J. (2020). PDMS samples characterization with variations of synthesis parameters for tunable optics applications. *Heliyon*.
- [6]. National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2010). Visible light. NASA Science Mission Directorate.
- [7]. Real Academia Española (RAE). (2014). Microscopio. En *Diccionario de la lengua española* (23.^a ed.).
- [8]. Harr, M. (2018). Different kinds of microscopes & their uses. *Sciencing.com*.
- [9]. Narváez-Armas, D. J. (s. f.). Sistema óptico del microscopio. Universidad de los Andes (ULA).
- [10]. Olmo-De Sevilla, M. (s. f.). Aproximaciones de microscopio. *HyperPhysics*.
- [11]. Kalstein. (2023). ¿Cómo funciona el aceite de inmersión?. *Kalstein.com*.
- [12]. Hecht, E. (2017). *Optics* (5th ed.). Pearson.