

Adaptación de una cámara RGB para la visualización relativa del espectro UV cercano mediante filtro ZWB3

RGB camera adaptation for relative near-UV spectral visualization using ZWB3 filter

G. E. Balmori-Vera¹ , I. Herrera-Aguilar² *, J. P. Rodríguez-Jarquin³ , B. E. Gonzáles-Sánchez⁴ , G.

Águila-Rodríguez⁵ 
(*ignacio.ha@orizaba.tecnm.mx)

Recibido: 30 de abril de 2026 Aceptado: 18 de junio de 2026

RESUMEN

Cuando se habla de visión artificial generalmente las opciones accesibles están limitadas al espectro visible (VIS) y el infrarrojo (IR), esto debido al alto costo y poca accesibilidad en las cámaras especializadas en el espectro ultravioleta. Por esto se realizaron modificaciones en el sensor óptico CMOS OV2710, para mejorar la respuesta espectral relativa en el rango ultravioleta (UV) cercano (300 a 400nm) mediante la sustitución del filtro de corte UV/IR por un filtro excitador UV ZWB3. La metodología experimental se realizó en un ambiente controlado, empleando una botella de agua tónica como objeto de prueba de fluorescencia UV conocida, iluminada con una lámpara de luz negra de 9 W. La métrica de evaluación utilizada fue la luminancia media de la región de interés calculada mediante conversión a escala de grises. Los resultados muestran que la cámara modificada registró una luminancia media de 39.54 (a 100 μ s de exposición), correspondiente a la respuesta relativa de la iluminación UV cercana incidente, mientras que la cámara sin modificar registró 90.89, valor que refleja la emisión fluorescente visible generada por la quinina del agua tónica. La diferencia entre ambas respuestas demuestra que la modificación permite discriminar la iluminación UV directa de la emisión visible secundaria, constituyendo una herramienta de bajo costo

¹Estudiante de Maestría En Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico de México Campus Orizaba , Orizaba, México.

²Doctor en Sistemas Automáticos, Instituto Tecnológico de México Campus Orizaba , Orizaba, México.

³Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica

⁴Doctora en Ciencias de la Ingeniería

⁵Doctor en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica



aplicable en contextos donde se requiera detectar la presencia de radiación UV cercana de manera cualitativa y relativa. **Palabras clave:** Ultravioleta Cercano, Filtro Óptico, Sensor CMOS, Visión Artificial

ABSTRACT

When discussing computer vision, accessible options are generally limited to the visible (VIS) and infrared (IR) spectra due to the high cost and limited availability of cameras specialized for the ultraviolet (UV) spectrum. Therefore, modifications were performed on an OV2710 CMOS optical sensor to improve its relative spectral response in the near-ultraviolet (UV) range (300–400 nm) by replacing the original UV/IR-cut filter with a ZWB3 UV-pass filter. The experimental methodology was conducted in a controlled environment using a bottle of tonic water as a test object with known UV-induced fluorescence, illuminated by a 9 W black-light lamp. The evaluation metric was the mean luminance of the region of interest, calculated after grayscale conversion. The results show that the modified camera recorded a mean luminance value of 39.54 (at an exposure time of 100 μ s), corresponding to the relative response to the incident near-UV illumination. In contrast, the unmodified camera recorded a mean luminance value of 90.89, reflecting the visible fluorescent emission generated by the quinine present in the tonic water. The difference between these responses demonstrates that the modification enables discrimination between direct UV illumination and secondary visible fluorescence emission, providing a low-cost tool applicable in contexts where qualitative and relative detection of near-ultraviolet radiation is required.

Keywords: Near Ultraviolet, Optic Filter, CMOS Sensor, Artificial Vision

INTRODUCCIÓN.

Las cámaras modernas comúnmente utilizadas para diversas aplicaciones, entre ellas la visión artificial, están limitadas en el rango del espectro visible (385 a 750 nm) por un filtro de corte ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR). La necesidad de este límite viene por la sensibilidad que tienen a los espectros vecinos al visible (UV e IR), los cuales pueden provocar desde distorsiones ópticas y cromáticas en las imágenes capturadas, hasta daños en los receptores de las cámaras, degradando la vida útil de las mismas, como se ve en los trabajos de *Crowther* [1], centrados en la selección de los filtros correctos en la fotografía de fluorescencia ultravioleta. Por esto, tomando como base trabajos de *Fujita et al.* [2] y de *Siles et al.* [3], los cuales se basan en la modificación de sensores ópticos CMOS para la visualización más amplia del espectro electromagnético y la caracterización en degradación de los receptores ópticos por el espectro UV, se realizó la adaptación de una cámara CMOS RGB para tener una visión relativa centrada en el

espectro UV cercano (300 a 400nm), con la intención de limitar la degradación de los receptores por el impacto de fuentes más intensas de UV (menores a 200 nm), pero aun así permitir la obtención de señales del espectro. Señalando que la respuesta obtenida constituye una aproximación relativa, pues es influenciada por la transmitancia del filtro empleado y la fuga IR inherente al sensor, por lo que los resultados no representan una medición espectral calibrada, sino un índice relativo de detección.

Se comparó el efecto de la modificación contra una cámara del mismo modelo sin modificar, evaluando la respuesta visual y la relativa por cada canal (R, G, B) con respecto a lo informado por *Tucsen* [4] el pico mayor de eficiencia cuántica se encuentra en la región consistente entre el verde y amarillo (490 a 600nm) esto debido al filtro de color bayer (Figura1) el cual es se encarga de separar la luz incidente en los colores primarios (RGB) tiene una mayor cantidad de receptores para el color verde (G) lo cual centra los colores de la región visible del espectro, por lo que el cambio de este pico ayudara a entender el alcance de la modificación.

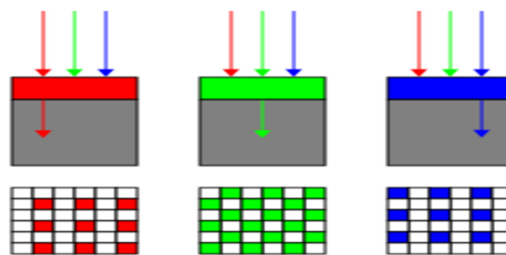


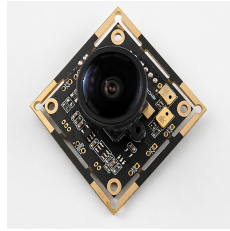
FIGURA 1. *Filtro-Color Bayer*

Esta experimentación ayudará a conseguir apoyo al realizar experimentaciones con el espectro ultravioleta, las cuales tienen a verse limitadas por los altos costos y la dificultad de obtención en sensores ópticos especializados aun así estas investigaciones son importantes para diversas áreas de desarrollo como lo presentan los trabajos de *Excelitas Technologies* [5] en el 2023 donde se describe su importancia y cómo permite la detección de componentes orgánicos e inorgánicos mediante la absorbencia de los materiales; de *Wojtowicz et al.* [6] y de *Du et al.* [7] en el 2024 y 2026 respectivamente, tiene aplicaciones en el área de la medicina, para problemas dermatológicos y para aplicaciones en supervisión de pacientes; y de *Stoddart et al.* [8] en los cuales la fotografía UV se utiliza en la ciencia forense para la detección de huellas dactilares latentes.

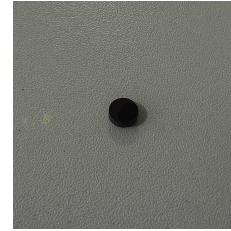
MATERIALES Y MÉTODOS.

Selección de materiales.

En la experimentación los dos elementos más importantes que van a influir en el resultado del mismo son el sensor óptico, o cámara, y el filtro excitador. Con respecto al sensor, se seleccionó el OV2710 de



(a) Cámara OV2710 de OmniVisión_{TM}.



(b) Filtro Excitador UV ZWB3

FIGURA 2. Fotografía de los materiales utilizados.

OmniVision_{TM} (Figura 2a) principalmente al ser un sensor de gamma media altamente accesible y como se puede apreciar en la Tabla 1 es un sensor óptico de tipo CMOS con tamaño de pixel definido lo cual gracias a la investigación de *Gounela et al.* [9] se conoce que la respuesta espectral estos sensores es similar siempre que los pixeles sean tamaños similares.

Tabla 1. Especificaciones del Sensor Óptico OV2710.

Parámetros	Valores
Tipo	CMOS
Resolución	1920 × 1080 (captura a 640 × 480)
Frecuencia Max.	30Hz
Tamaño de Pixel	3 μm × 3 μm
Sensitividad	3300 mV/lux-sec
Rango Dinámico	69 dB
Formato de píxel	YUYV 4:2:2

El conocer la respuesta espectral de la cámara es importante a la hora de entender como reaccionará el sensor ante la incidencia de luz, en el caso del OV2710 al ser una cámara a color, implica que la luz pasara por un sistema de filtro-color tipo bayer, el cual separara la incidencia de luz en 3 canales, cada uno correspondiente a un color primario (R, G, B). Por lo que las curvas de respuesta espectral identifican es la eficiencia cuántica según el tamaño de longitud-onda y es definida en el libro *CMOS Photodetectors* [10] como la probabilidad de que el fotón incidente generara un par electrón-agujero que contribuya a la detección y como se puede ver en la Ec. (1) que la respuesta del sensor es directamente proporcional a la eficiencia cuántica medida.

$$R = \frac{q}{hv} \phi \quad (1)$$

Donde R es la respuesta del sensor, q es la carga del electrón, h es la constante de Planck, v es frecuencia del fotón y ϕ es la eficiencia cuántica.

Por lo tanto al referirse la Figura 3 en este sensor se muestra en el canal azul (B) una respuesta en la eficiencia cuántica correspondiente al rango UV cercano implicando la capacidad de respuesta y por lo tanto visión. Mientras que el canal rojo (R) presenta una ligera excitación en lo que corresponde con el IR cercano, dejando al canal verde (G) como el canal más centrado en el espectro VIS. Generalmente son estos alcances en los espectros UV e IR los cuales son suprimidos con un filtro de corte IR/UV que son añadidos en las cámaras comerciales para mantener imágenes limpias, pero para nuestro caso de estudio, estos solapes, en especial el del canal azul, son justamente un punto de interés del cual partir.

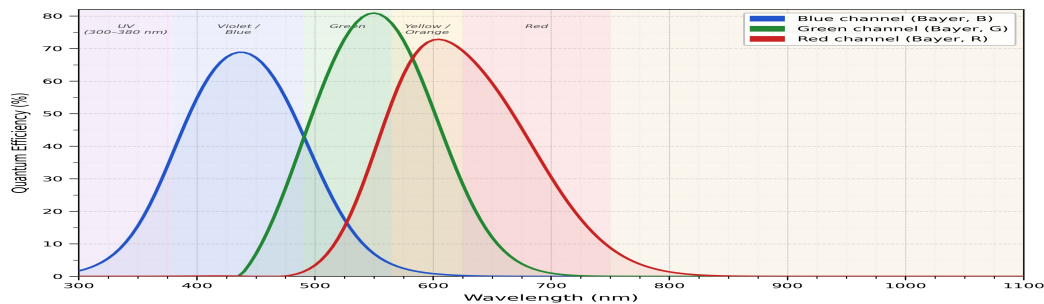


FIGURA 3. Curva de Respuesta Espectral Relativa por Canal del Sensor OV2710 CMOS según modelo por Fujita et al. [2].

Para obtener la mejor visión en el espectro UV cercano, el canal B da la región necesaria pero también se debe eliminar la mayor intromisión del espectro VIS para mantener la señal en el rango que se necesita. Esto logrado utilizando el filtro excitador UV ZWB3 (Figura 2b), este filtró perteneciente a la familia de filtros ZWB, se encargan principalmente de bloquear el paso de la luz en el espectro VIS y permitir el libre paso de los espectros IR e UV, el efecto del paso de la luz por esta familia de filtros esta dado en la Figura 4 donde se mide la transmitancia de 200 a 2500 nm. En la gráfica se puede apreciar que el filtro ZWB2 tiene la mejor respuesta en el espectro UV, viendo que tiene la menor transmitancia en el espectro IR, pese a esto la elección de utilizar el filtro ZWB3 viene en que posee una mayor transmitancia en el espectro UV y aunque permite un paso mayor de IR, recordando la Figura 3 se nota que en el canal B no hay efecto en la región IR, por lo que nos permite garantizar el mayor efecto en el rango UV sin necesidad de comprometer la señal registrada considerando un uso en ambientes no controlados.

Protocolo Experimental.

Con el fin de garantizar la reproducibilidad del experimento y limitar el efecto de las variables ambientales, el proceso experimental se realizó en una cámara oscura construida con una caja forrada interiormente con papel negro, eliminando las fuentes de luz externas. Ambas cámaras utilizadas, junto

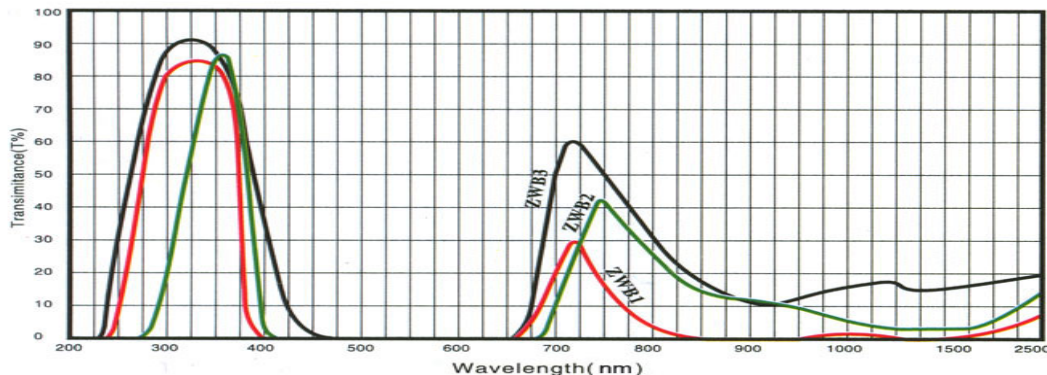


FIGURA 4. *Curvas de Respuesta Espectral de la Familia de Filtros ZWB* Segun Datos del Fabricante.*

con la fuente de iluminación, se posicionaron a aproximadamente 50cm del objeto de prueba. En la Tabla 2 está el concentrado de los parámetros utilizados durante la captura de datos.

El objeto de la prueba fue una botella de agua tónica, cuya fluorescencia UV está bien documentada en la literatura [11]. La quinina contenida en el agua tónica absorbe la radiación en el rango UV cercano y esta misma es emitida como luz visible azul (en el rango 450 nm), por lo que permite distinguir dos tipos de respuesta: la cámara sin modificar captura la emisión fluorescente visible secundaria generada por la quinina, mientras que la cámara modificada con el filtro ZWB3, al bloquear el espectro visible, responde a la iluminación UV cercana.

La luminancia media de la región de interés fue calculada para cada fotograma mediante OpenCV. Este valor se usó como indicador cuantitativo de la respuesta relativa de cada cámara ante la misma condición de iluminación. Analizando múltiples fotogramas para garantizar la estabilidad de la medición.

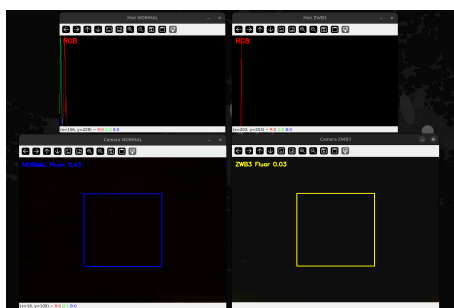


FIGURA 5. *Medición de línea base en cámara oscura.*

Modificación de la cámara.

El proceso de modificación se divide en dos pasos principales, primero como se ve en la Figura 5 el filtro de corte IR/UV se encuentra en el lente de la cámara en lugar de estar colocado sobre la superficie

Tabla 2. Parámetros de configuración de las cámaras.

Parámetros Valores	
Resolución de captura	640 × 480
Modo de exposición	Manual
Tiempo de exposición	100 μ s y 78 μ S
Balance de blancos	Desactivado
Temperatura de color	4080K
Ganancia	0
Brillo	0
Frecuencia	30fps
Fuente UV	Lámpara de luz negra (9 W)

del sensor, simplificando el paso. En caso de que el filtro se encontrará sobre la superficie del sensor, el proceso sería más complicado porque se tendría el riesgo de dañar la superficie del filtro-color bayer en el caso de las cámaras a color, y se dañarían los receptores del sensor en el caso de una cámara monocromática.



FIGURA 6. Filtro de Corte IR/UV Colocado en el Lente de la Cámara.

Después de haber removido el filtro de corte IR/UV se siguió con la instalación del filtro, en este caso la opción de colocarse sobre el sensor directamente o en el lente, como se ve en la Figura 7 el filtro fue colocado sobre el lente, esto por la alteración que tiene el filtro considerando su índice de difracción,

haciendo que el foco de la imagen quede distorsionado por las capas extra, por otro lado al colocarse sobre el lente, ajustar el foco visual es más simple debido a la facilidad de ajuste, disminuyendo el efecto de difracción.



FIGURA 7. *Mismo Lente de la Figura 6 con el Filtro Excitador UV ZWB3.*

Comparativa visual.

Se aprecia en la Figura 8 una imagen comparativa de una escena captada con ambas cámaras de manera simultanea, en la imagen con el filtro aplicado se ve predominancia de tonos azules/violetas, mostrando el efecto que tuvo el filtro en suprimir el paso de los colores rojos y verdes, lo cual pese a ser una demostración del efecto que genero el filtro sobre la cámara, esto no implica qué sea una visión del UV cercano.



FIGURA 8. *Comparativa de Escena Entre la Cámara Modificada y Sin Modificar.*

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Análisis de dispersión espectral.

Presentado en la Figura 8 existe una diferencia significativa entre la visión dada por la cámara normal y la modificada. En esta existe además del espectro UV cercano, una fuerte influencia IR, dada por la transmitancia propia del filtro, en la grafica de dispersión mostrada por la Figura 9 se nota la respuesta

espectral de las cámaras donde en la normal al recibir datos del espectro VIS se nota una mayor dispersión en las intensidades de los píxeles, mientras que en la del filtro estos están mejor alineados demostrando que la respuesta espectral es de espectro reducido. Se nota también como esta dispersión está más prominente en el canal R, es decir, hay una influencia generada por el efecto de fuga IR, la cual hace que el sensor además de recibir señales del UV cercano, esta fuertemente influenciado por el espectro IR.

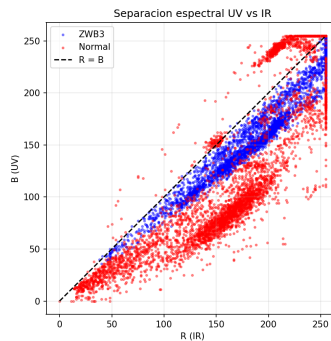


FIGURA 9. *Gráfica de Dispersión Entre La Señal del Canal B y La señal del canal R para las Cámaras.*

Índice espectral relativo B/R.

Para poder entonces tener una imagen limpia, donde se tenga una vista relativa del espectro UV cercano más limpia, se calculó la relación entre los datos del canal B, el cual mide la respuesta espectral de ondas cortas y el canal R que mide la respuesta espectral de ondas grandes. Esta relación se entiende como el índice espectral relativo, permite atenuar la influencia de la fuga IR y resaltar contribución de la respuesta espectral UV cercana del sensor [12]. Los datos de las cámaras procesados para la obtención de una curva espectral se aprecian en al Figura 10 donde se nota que la cámara con el filtro logró proveer una respuesta elevada y estable en comparación a la normal incluso a pocas intensidades, mostrando la recepción de espectros fuera del rango visible.

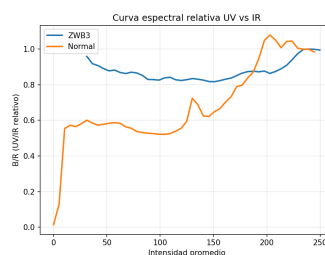


FIGURA 10. *Comparación de Curva Espectral Relativa B/R.*

Entonces se puede hacer un procesamiento digital donde en lugar de formar la imagen mediante los datos de cada canal, esta se forma utilizando la relación B/R, esta métrica al ser relativa, en lugar de formar la imagen como una construcción de píxeles, esta se forma como un mapa de calor, en donde los puntos calientes representan el mayor impacto del canal B en relación del canal R, es decir, presentan los puntos de mayor efecto UV cercano como se ve en la Figura 11.



FIGURA 11. Imagen de relación B/R como mapa de calor.

Validación.

Con el fin de corroborar la capacidad de la cámara modificada, se realizó una segunda serie de experimentos en un ambiente más controlado, utilizando una botella de agua tónica como objeto de prueba. En la Tabla 3 se muestra un concentrado de la luminancia media obtenida en ambos conjuntos de captura.

Tabla 3. Comparativa de resultado de luminancia entre cámaras.

Condición	Exposición	Cámara Normal	Cámara ZWB3
Escena oscura	100 μs	-0.48	-0.02
Agua Tónica bajo UV	100 μs	90.89	39.54
Escena oscura	78 μs	0.43	0.03
Agua Tónica bajo UV	78 μs	86.84	34.68

Los valores de línea base cercanos a cero confirman que el ambiente oscuro eliminó la interferencia ambiental. Ante la presencia de una fuente de luz ultravioleta, ambas cámaras registraron una respuesta mayor, sin embargo las diferencias en estas respuestas son importantes. En la Figura 12 se aprecia

como en la cámara sin modificar se registró el efecto de la emisión fluorescente visible generada por la quinina al absorber la radiación UV, mientras que en la cámara modificada, se registró un valor menor dado porque el filtro eliminó el efecto de la luz visible, permitiendo una visualización relativa de la luz ultravioleta que incide en la botella.

Esta distinción, sobre el efecto del filtro, es significativa, pues la cámara normal solo logra captar un efecto secundario, que es la emisión visible de energía, mientras que la cámara modificada logró captar el fenómeno causante, es decir, demostrar la incidencia de luz ultravioleta.

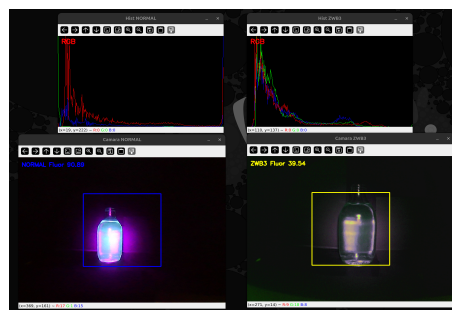


FIGURA 12. Comparativa de Respuesta Ante Agua Tónica Bajo Iluminación UV.

Comparaciones con semejantes.

Los resultados siguen corrientes como las de *Bhatt et al.* [13] los cuales de igual manera quisieron presentar una alternativa ante la problemática de tener un sensor espectral en rango UV, la diferencia principal viene en las corrientes que se usaron para alcanzar la meta, mientras que ellos adaptaron un equipo comercial a uno de alto nivel mediante alteraciones especializadas al sensor mismo, este trabajo está basado en mantener la accesibilidad comercial pese a las limitantes que eso implica. De manera similar *Tohuvavohu et al.* [14] presentaron un sistema UV compacto de bajo costo basado en sensores CMOS para aplicaciones astronómicas, confirmando la viabilidad de estos sensores para la imagen fuera del espectro visibles pese a ser fuera del enfoque para este estudio.

Por otro lado, *Crowther* [15] demostró que la conversión de cámaras estándar mediante la remoción del arreglo de filtros de color produce cambios medibles y cuantificables en la respuesta relativa hacia los rangos UV e IR, confirmando que las modificaciones físicas al sistema óptico de sensores CMOS comerciales son una vía viable para extender su respuesta más allá del espectro visible. Esta observación es consistente con los resultados de la Figura 10, donde la cámara modificada presentó una respuesta elevada y estable en el índice B/R, indicando la recepción consistente de señales fuera del espectro visible.

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

La modificación del sensor OV2710 mediante la remoción del filtro de corte IR/UV y la aplicación del filtro excitador ZWB3 demostró ser una solución viable, de bajo costo y práctica, para obtener una respuesta asociada al rango UV cercano, constituyendo una alternativa accesible ante cámaras más especializadas. Los resultados obtenidos en el experimento controlado confirman la capacidad de la modificación en visualizar de manera directa el efecto de una fuente de luz UV.

Sin embargo, el método presenta limitaciones claras que deben ser consideradas. La ausencia de calibración con sensores de referencia patrón impiden asegurar valores reales de la longitudes de onda visualizadas. Adicionalmente la fuga IR inducida por el filtro ZWB3 introduce una influencia en el canal R, lo que limita la pureza de la señal recibida en ambientes no controlados. Por esto mismo, los resultados son meramente aproximaciones relativas.

Para futuras líneas de trabajo se propone principalmente la incorporación de un filtro de corte IR adicional al ZWB3 para reducir el efecto de fuga IR y mejorando la respuesta espectral UV; y realizar más pruebas en ambientes controlados y sin controlar con sensores de referencia espectral, permitiendo cuantificar la sensibilidad producida por la modificación.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORES Y COLABORADORES

Gabriel Eduardo Balmori Vera: Conceptualización, Metodología, Software, Redacción, Investigación. **Ignacio Herrera Aguilar:** Verificación, Redacción - Revisión y Edición. **José Pastor Rodríguez Jarquin:** Investigación, Verificación. **Blanca Estela Gonzáles Sánchez:** Supervisión, Redacción - Edición. **Gerardo Águila Rodríguez:** Software, Validación.

REFERENCIAS

- [1] J. Crowther, “Ultraviolet fluorescence photography—choosing the correct filters for imaging,” *Journal of Imaging*, vol. 8, no. 6, p. 162, 2022. DOI: [10.3390/jimaging8060162](https://doi.org/10.3390/jimaging8060162). [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9224984/>
- [2] K. Fujita *et al.*, “An optical filter-less CMOS image sensor with differential spectral response pixels for simultaneous UV-selective and visible imaging,” *Sensors*, vol. 20, no. 1, p. 13, 2020. DOI: [10.3390/s20010013](https://doi.org/10.3390/s20010013). [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/1/13>
- [3] P. Siles and D. Gäbler, “Quantification of uv light-induced spectral response degradation of cmos-based photodetectors,” *Sensors*, vol. 24, no. 2, p. 456, 2024. DOI: [10.3390/s24020456](https://doi.org/10.3390/s24020456)
- [4] Tucsen Photonics, “Quantum efficiency in scientific cameras: A beginner’s guide,”

- 2025, technical educational article. [Online]. Available: <https://www.tucsen.com/learning/quantum-efficiency-in-scientific-cameras/>
- [5] E. Technologies, “Understanding camera-based ultraviolet imaging and applications,” https://www.excelitas.com/sites/default/files/2023-01/PCO_WhitePaper_Understanding%20Camera-Based%20Ultraviolet%20Imaging%20and%20Applications.pdf, 2023, white Paper.
- [6] I. Wojtowicz and M. Żychowska, “Application of Ultraviolet-Enhanced Fluorescence Dermoscopy in Basal Cell Carcinoma,” *Cancers*, vol. 16, no. 15, p. 2685, 2024. DOI: [10.3390/cancers16152685](https://doi.org/10.3390/cancers16152685)
- [7] H. Du, Y. Wang, R. Zhang, M. Olivo, and R. Bi, “Ultraviolet Sensing-Guided Biomedical Systems: From Label-Free Imaging to Dosimetry and Therapy Feedback,” *Biosensors*, vol. 16, no. 6, p. 322, 2026. DOI: [10.3390/bios16060322](https://doi.org/10.3390/bios16060322)
- [8] W. Stoddart, K. Georgiou, P. Deacon, L. Nichols-Drew, and K. J. Farrugia, “Technical Note: A Preliminary Assessment of UV-C Imaging Using the Full Spectrum Imaging System (FSIS-II) for the Detection of Latent Fingermarks,” *Forensic Science International*, 2024. DOI: [10.1016/j.forsciint.2024.111945](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.111945). [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073824000264>
- [9] R. Gounella, G. M. Ferreira, M. L. M. Amorim, J. N. Soares, and J. P. Carmo, “A review of optical sensors in cmos,” *Electronics*, vol. 13, no. 4, 2024. DOI: [10.3390/electronics13040691](https://doi.org/10.3390/electronics13040691). [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/4/691>
- [10] A. H. Titus, M. C.-K. Cheung, and V. P. Chodavarapu, “Cmos photodetectors,” in *Photodiodes - World Activities in 2011*, J.-W. Park, Ed. London: IntechOpen, 2011, ch. 4.
- [11] A. Harcher, C. Ricard, D. Connolly, I. Gibbs, J. Shaw, J. Butler, J. Perschbacher, L. Replogle, M. Eide, M. Grissom, O. O’Neal, Q. Nguyen, V. H. Nguyen, M. Hunnicutt, R. Mahmoud, and S. Dhakal, “Fluorescence Analysis of Quinine in Commercial Tonic Waters,” *Methods and Protocols*, vol. 8, no. 1, p. 5, 2025. DOI: [10.3390/mps8010005](https://doi.org/10.3390/mps8010005)
- [12] J. Zhang, R. Su, Q. Fu, W. Ren, F. Heide, and Y. Nie, “A Survey on Computational Spectral Reconstruction Methods from RGB to Hyperspectral Imaging,” *Scientific Reports*, vol. 12, p. 11905, 2022. DOI: [10.1038/s41598-022-16223-1](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16223-1)
- [13] N. Bhatt *et al.*, “High-performance modular and compact camera for ultraviolet instrumentation,” in *Proceedings of SPIE*, vol. 11755, 2021, p. 1175503. DOI: [10.1117/12.2582215](https://doi.org/10.1117/12.2582215)

- [14] A. Tohuvavohu, M. Barnet, S. Chen, C. Damaren, M. Drout, J. Empey, J.-C. Fronteddu, B. Gail, A. Gill, G. Hay, S. Jeram, C. Matzner, P. Nkwari, D. Patel, E. Seabrook, M. Shaaban, S. Sivanandam, J. Taylor, and P. Van-Lane, “LUVCam the Little Ultraviolet Camera: a low-cost high-performance UV CMOS camera,” in *Proc. SPIE 13093, Space Telescopes and Instrumentation 2024: Ultraviolet to Gamma Ray*, vol. 13093, 2024, p. 130930P. DOI: [10.1117/12.3020037](https://doi.org/10.1117/12.3020037)
- [15] J. Crowther, “Monochrome camera conversion: Effect on sensitivity for multispectral imaging (ultraviolet, visible, and infrared),” *Journal of Imaging*, vol. 8, no. 3, p. 54, 2022. DOI: [10.3390/jimaging8030054](https://doi.org/10.3390/jimaging8030054)