

**Título:**

Diámetro de la vaina del nervio óptico por ultrasonido en adultos colombianos sanos.

**Autores:**

Santiago Quintero-Vanegas. Residente de Medicina de Urgencias, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Grupo de Investigación en Urgencias y Emergencias (GIURE), Medellín, Colombia. Correo electrónico: santiago.quinterov@udea.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-0829-2090>

Christian Gómez-Duque. Residente de Medicina de Urgencias, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: crhastian.gomezdu@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-1806-3988>

Juan M. Robledo-Cadavid. Especialista en Medicina de Urgencias, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. Urgentólogo del Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín, Colombia. Correo electrónico: manuel.robledo@udea.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-8178-4286>

Luis A. Urrego-Jaramillo. Subespecialista en Medicina Crítica y Cuidados Intensivos, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: alejourrego@gmail.com.

Diego A. Patiño. Subespecialista en Medicina Crítica y Cuidados Intensivos, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. Intensivista, Hospital Alma Máter de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: diegomesa41@gmail.com.

Daniel C. Aguirre-Acevedo. Grupo de Investigación en Epidemiología clínica, Instituto de Investigaciones Médicas, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. Correo electrónico: daniel.aguirre@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-8195-8821>

Carlos E. Vallejo-Bocanumen. Especialista en Medicina de Urgencias, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. MSc. Epidemiología clínica, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia. Grupo de Investigación en Urgencias y Emergencias (GIURE), Medellín, Colombia. Urgentólogo, Hospital Alma Máter de Antioquia, Medellín, Colombia. Correo electrónico: eduardo.vallejo@udea.edu.co. <https://orcid.org/0000-0001-5677-8557>

**Autor de correspondencia:**

Santiago Quintero-Vanegas. Residente de Medicina de Urgencias, Facultad de Medicina, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Grupo de Investigación en Urgencias y Emergencias (GIURE), Medellín, Colombia. Correo electrónico: [santiago.quinterov@udea.edu.co](mailto:santiago.quinterov@udea.edu.co) <https://orcid.org/0000-0002-0829-2090>

## **Resumen**

**Introducción.** El diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) medido por ultrasonografía es un método no invasivo potencialmente útil para estimar la presión intracraneal.

**Objetivo.** Estimar el DVNO en una población de adultos colombianos sanos.

**Métodos.** Estudio observacional descriptivo de corte transversal. Fueron incluidos 156 voluntarios sin enfermedad del sistema nervioso central o del aparato ocular. Se realizaron mediciones en cada ojo tanto por un operador experto como no experto de forma independiente y se reportaron los promedios de las mediciones. Se exploró el acuerdo entre evaluadores.

**Resultados.** La media del DVNO en la población evaluada fue de 3.1 mm (DE 2.9 - 3.3 mm), el percentil 99 fue de 3.68 mm, sin diferencias significativas entre el ojo derecho e izquierdo o respecto a la edad o índice de masa corporal del participante. Además, se obtuvo una buena correlación interoperador (CCI 0,87).

**Conclusión.** En la población evaluada, el DVNO normal observado es diferente al reportado en otras poblaciones. Los hallazgos permiten inferir que los puntos de corte propuestos por la literatura no son aplicables a nuestra población. Deben realizarse estudios que permitan correlacionar estos hallazgos en población con hipertensión intracraneal para su aplicación clínica.

**Palabras clave:** diámetro de la vaina del nervio óptico; ultrasonografía; presión intracraneal; variabilidad interevaluador; medicina de emergencias.

## **Introducción**

La presión intracraneal (PIC) elevada es una complicación frecuente de las lesiones encefálicas, puede producir una compresión de las estructuras alojadas al interior de la bóveda craneal, distorsión de los compartimentos y reducción de la presión de perfusión a nivel cerebral (1). Su verdadera incidencia es desconocida, ocurre en el 16% de todos los pacientes con trauma encefalocraneano (TEC), entre 18 - 70% de los pacientes con ataque cerebrovascular hemorrágico y hasta en el 50% de los pacientes con criptococosis meníngea (2-4). La estimación de la PIC y su tratamiento en los escenarios descritos permite según algunos autores impactar y minimizar el daño por lesión cerebral secundaria (5-8).

El monitoreo de la PIC puede realizarse a través de métodos invasivos y no invasivos. Sin embargo, los dispositivos para monitoreo invasivo son costosos, no están rápida ni ampliamente disponibles en los servicios de urgencias de Colombia, requieren mayor entrenamiento técnico para su colocación e interpretación y su uso se relaciona con posibles eventos adversos como hemorragia intracraneal e infección (9). Contrario a ello, la medición no invasiva está libre de dichas complicaciones, pero carece de precisión debido a los problemas relacionados con la validación de la técnica y sus valores de referencia (10).

La medición del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) obtenido por ultrasonografía ocular se considera uno de los métodos no invasivos más precisos para estimar la PIC, con una sensibilidad cercana al 90% y una especificidad del 88%, superior al rendimiento de otros métodos como el hallazgo de papiledema, la resonancia magnética cerebral y el Doppler transcraneal (11). A pesar de que la ecografía es una prueba diagnóstica dependiente del operador, la variabilidad intraoperador e interoperador es aceptable, tanto en personal experimentado como no experimentado (12-15).

Actualmente no existe un consenso y hay una amplia variabilidad entre los valores referenciados como normales para el DVNO por ultrasonografía en población sana en diferentes regiones alrededor del mundo (16,17), incluida Colombia. El objetivo de este estudio es determinar los valores de referencia para el DVNO medido por ultrasonografía ocular en una población general de voluntarios colombianos sin condiciones clínicas relacionadas con el sistema nervioso central o el aparato ocular.

## **Metodología**

### *Población*

Se incluyeron pacientes de un único centro hospitalario de alta complejidad de la ciudad de Medellín, Colombia, mayores de 18 años, nacidos en Colombia y admitidos en las 72 horas previo al muestreo. Se excluyeron aquellos con historia de enfermedad o cirugía ocular (tal como: intervención del nervio óptico, glaucoma, neuritis óptica, neuropatía óptica isquémica, prótesis ocular, hipoplasia o atrofia congénita, tumor intraocular, neuropatía óptica tóxica, nutricional o hereditaria), enfermedad o cirugía intracraneal (enfermedad cerebrovascular, vasculitis con compromiso intracraneal, tumor intracraneal, hidrocefalia, hipertensión intracraneal idiopática, esclerosis múltiple), historia de trauma cráneo-encefálico grave, asignación de aislamiento por germen multirresistente, hospitalización en la unidad de cuidados intensivos, requerimiento de ventilación mecánica invasiva o no invasiva y aquellos en cuidados al final de la vida.

### *Tamaño de muestra y muestreo.*

Para estimar el rango normal de una prueba en una población dada la literatura sugiere al menos 120 mediciones de la misma prueba en diferentes sujetos (18). Adicionalmente, y dado que se deseaba explorar el acuerdo entre evaluadores expertos y no expertos, se realizó un cálculo del tamaño de muestra basado en el Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI) reportado en estudios previos donde  $p$  y  $p_0$  fueron 80% y 70%, respectivamente, con alfa 0.05 y un poder esperado del 80% para dos observadores. Se contempló un riesgo bajo de pérdidas de casos por lo que se aumentó un 5%. La muestra calculada finalmente fue de 156 participantes. Para determinar los valores de media de referencia del DVNO se tuvo en cuenta una precisión esperada de  $\pm 0.1$  mm de la medición entre ojo derecho e izquierdo y una desviación estándar de 0.5 mm, como se ha documentado en estudios previos (19,20). Por tanto, se trabajó con este último tamaño de muestra calculado.

Se realizó un muestreo aleatorio simple con las bases de datos institucionales entre noviembre de 2022 y marzo de 2023, basados en la fecha de ingreso hospitalario, el código de diagnóstico según la clasificación CIE-10 y el lugar de estancia hospitalaria. Los listados con los sujetos disponibles para el muestreo fueron entregados por la unidad de gestión de la información de la institución y los listados finales con el muestreo fueron generados mediante análisis con

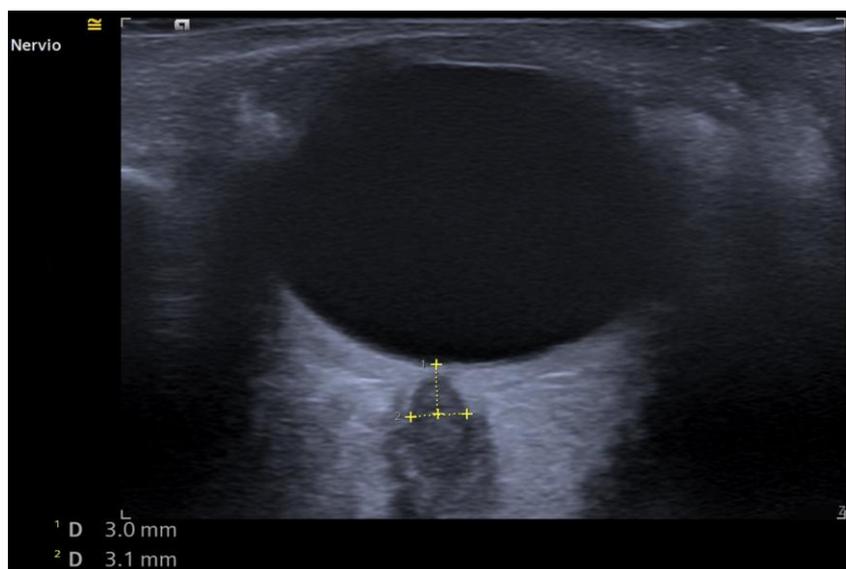
software estadístico R (versión 4.1.0, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria) y R Studio (versión 1.4.1717, R Studio Inc., Boston, Estados Unidos). Posteriormente, se realizó revisión de la historia clínica de cada sujeto y una entrevista para verificar los criterios de selección.

#### *Declaración ética*

El protocolo de investigación y el consentimiento informado fueron aprobados por el comité de ética hospitalaria el 13 de septiembre de 2022 (CE-IN26-2022). Este estudio cumplió con las normas regulatorias locales para la investigación en humanos según Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud. Los procedimientos utilizados en este trabajo se adhirieron a la Declaración de Helsinki. Previo al reclutamiento, todos los sujetos participantes firmaron el consentimiento informado autorizado para este estudio.

#### *Evaluación ultrasonográfica*

La evaluación ultrasonográfica se condujo con un transductor lineal de alta frecuencia entre 7 a 13 MHz (Mindray Bio-Medical Electronics Co., modelo Z6 referencia UMT-160). Los participantes fueron posicionados en decúbito supino con la cabecera a 0 grados, se les aplicó sobre la piel y los párpados una capa de papel plástico transparente de 10  $\mu$ m de grosor y sobre este abundante gel en el lugar donde sería ubicado el transductor. La insonación se realizó con los párpados cerrados. La medición del DVNO fue realizada en un plano transversal en modo B, 3 mm por detrás del borde retinal de la cabeza del nervio óptico (**Figura 1**).



**Figura 1.** Ultrasonografía ocular con medición electrónica del DVNO. Medición estándar a 3 mm del borde de la retina entre las dos cruces horizontales. (Imagen de archivo de los autores con permisos para publicación).

Se adquirieron tres imágenes por cada ojo con su respectiva medición de DVNO. Estas se realizaron por operadores expertos y no expertos de forma separada y secuencial; los operadores fueron cegados del procedimiento y del resultado par. Se obtuvo un promedio de la medición de cada ojo por cada operador y este resultado fue utilizado para el análisis de los datos. Cada resultado fue registrado en un instrumento de recolección de la información en documento aparte, el cual fue desarrollado por el grupo de investigadores para este estudio.

Las mediciones fueron realizadas por cuatro investigadores, dos en el grupo de personal experto y dos en el de no expertos. El personal experto contaba con más de cinco años de experiencia en uso de ultrasonido más una capacitación específica en el área (especialistas en Medicina de Urgencias y subespecialistas en Cuidado crítico). El no experto tenía menos de 18 meses de entrenamiento en ultrasonido y ninguna formación previa específica en el tema (residentes de Medicina de Urgencias). El personal no experto recibió ocho horas de entrenamiento teórico y práctico en anatomía ocular normal, identificación del nervio óptico, artefactos y medición del DVNO en pacientes sanos y enfermos. Inicialmente se llevó a cabo una sesión piloto con 12 participantes cuyos datos no fueron incluidos en el análisis final.

### *Análisis estadístico*

Realizamos un análisis estadístico descriptivo, las variables categóricas se expresaron en valores absolutos y porcentajes y las variables cuantitativas en medias con desviaciones estándar (DE) o medianas con rangos intercuartílicos (RIQ), según la distribución de los datos. Se analizaron variables sociodemográficas y antropométricas de la población a la que se le realizó la medición del DVNO, fueron: sexo, edad, raza, lugar de residencia, talla, peso e índice de masa corporal (IMC).

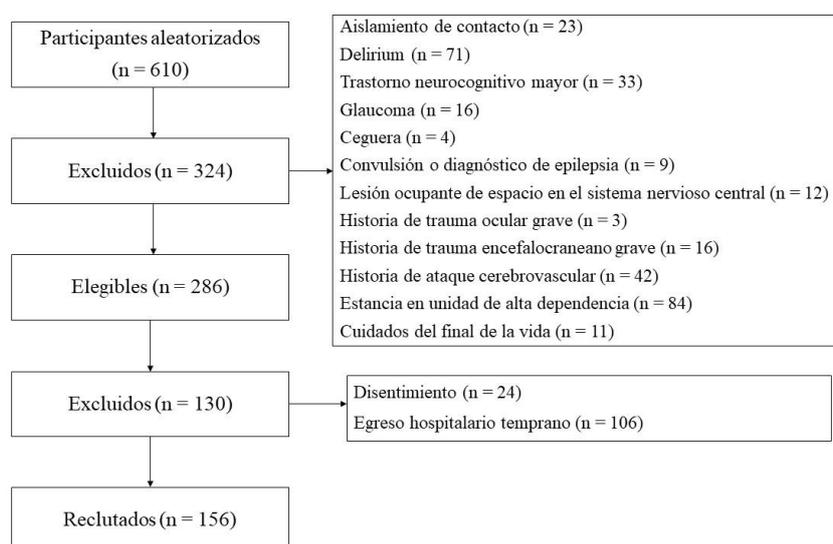
La evaluación de la distribución de los datos se analizó mediante histogramas (21). La estimación del valor de referencia se expresó en percentiles, medias, desviación estándar, valores máximos y mínimos. Se calcularon percentiles para cada una de las variables de medición del DVNO propuestas así: 1, 2.5, 5, 10, 25, 33, 50, 66, 75, 90, 95, 97.5 y 99. Se realizó un modelamiento por regresión lineal para comparar la relación entre la media del DVNO y posibles cambios al ajustar por variables confusoras de interés.

Para explorar la correlación entre las evaluaciones y mediciones realizadas por evaluadores expertos y no expertos en las distintas mediciones se usaron gráficos de Bland y Altman y se calculó el CCI. El CCI fue interpretado como pobre si era inferior a 0.5, moderado si estaba entre 0,5 a 0,75, bueno entre 0,75 a 0,9 y excelente si era superior a 0,9 (22).

El análisis estadístico fue llevado a cabo usando el software estadístico R (versión 4.1.0, R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria) y R Studio (versión 1.4.1717, R Studio Inc., Boston, Estados Unidos).

## Resultados

En total, 156 voluntarios adultos sanos fueron incluidos y analizados, la principal causa de exclusión fue la estancia en unidades de alta dependencia. 24 rechazaron participar de la investigación (**Figura 2**). Se incluyeron participantes con edades entre los 18 y los 95 años, de quienes el 56.4% fueron hombres, la información de las características sociodemográficas y antropométricas de los sujetos se muestra en la **Tabla 1**.



**Figura 2.** Diagrama de flujo que muestra el proceso de selección de participantes.

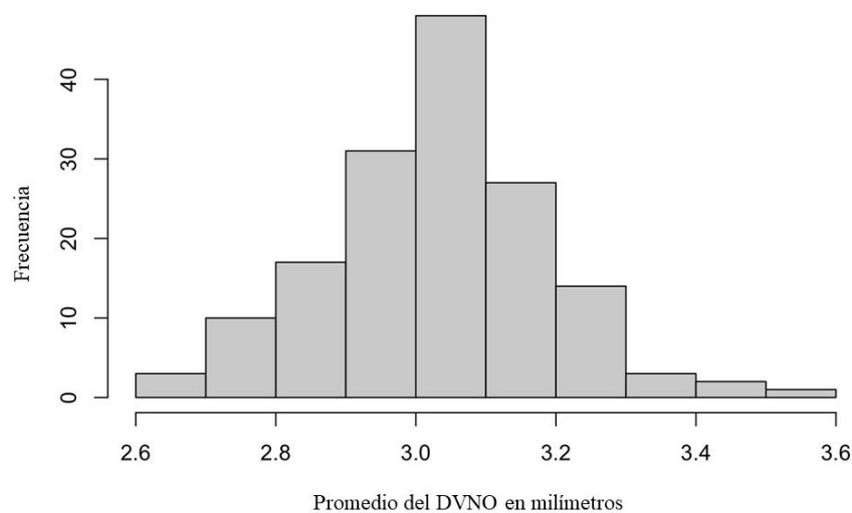
**Tabla 1.** Características basales de la población del estudio.

Variable	N	%
Sexo		
femenino	68	43.6
Zona urbana	121	78.0
Raza		
Mestiza	137	87.8
Negra	17	10.9
Indígena	2	1.3
Edad		
Media ±DE	58.4 ±20.1	
[Mín; Máx]	[18; 95]	

Talla (cm)	
Media $\pm$ DE	160 $\pm$ 10
[Mín; Máx]	[140; 180]
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	
Mediana	25.3
[RIQ]	[6.3]

Abreviaturas. DE: desviación estándar. Mín: mínimo. Máx: máximo. IMC: índice de masa corporal. RIQ: rango intercuartil.

Las mediciones del DVNO de 1872 imágenes tuvieron una distribución normal en el grupo de operadores expertos y no normal en el grupo de operadores no expertos (**Figura 3**, **Figura S1**, **Figura S2**). El DVNO promedio fue obtenido del procesamiento de tres mediciones transversales en cada ojo y su respectivo promedio. La media del ojo derecho entre los operadores expertos fue de 3.04 mm (DE 2.84 a 3.24 mm), igual para la del ojo izquierdo (**Figura S3**). Los datos obtenidos de todas las mediciones por lateralidad y operador se presentan en la **Tabla 2**.



**Figura 3.** Histograma de la medición del DVNO de ambos ojos realizado por el operador experimentado. Distribución normal.

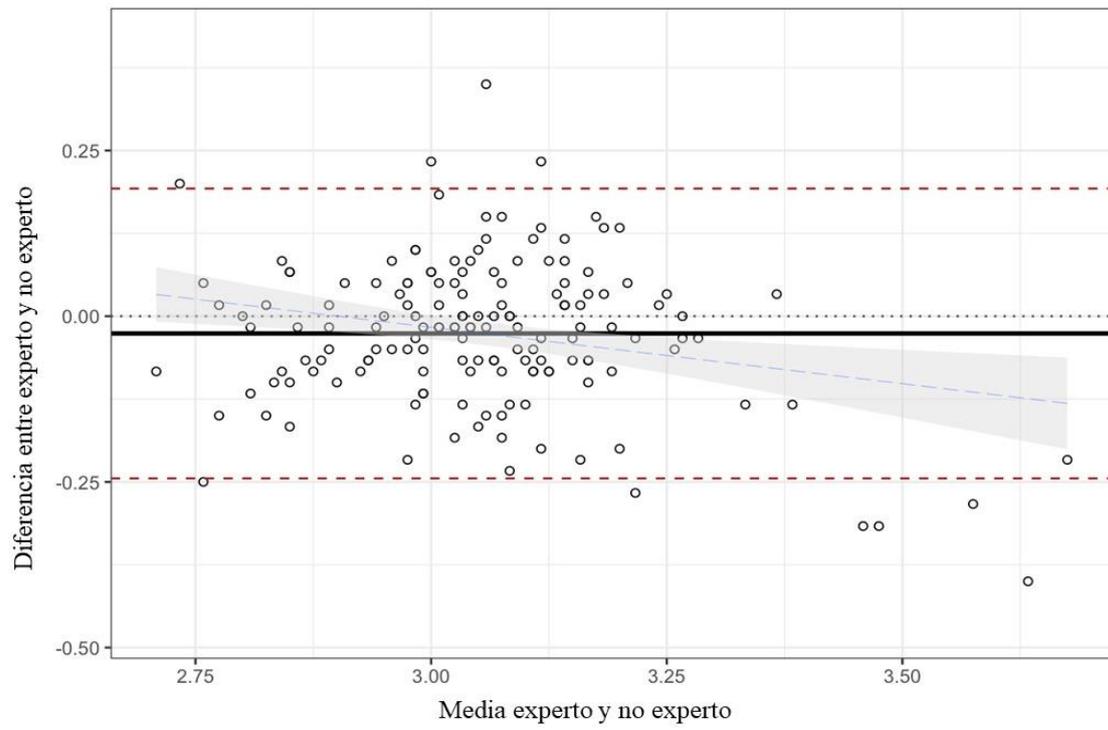
**Tabla 2.** DVNO en milímetros, según la lateralidad y el tipo de operador.

Variable	Media (DE)	Mediana (RIQ)	Mín.	Máx.	Percentil 95	Percentil 99
Medición de ambos ojos entre operador experto y no experto	3.10 (0.2)	3.05 (0.2)	2.7	3.7	3.45	3.68
Ambos ojos por operador experto	3.04 (0.2)	3.03 (0.2)	2.6	3.6	3.30	3.48
Ojo derecho por operador experto	3.04 (0.2)	3.02 (0.2)	2.6	3.6	3.30	3.53
Ojo izquierdo por operador experto	3.04 (0.2)	3.03 (0.2)	2.6	3.6	3.30	3.57
Ambos ojos por operador no experto	3.09 (0.2)	3.05 (0.2)	2.6	3.8	3.61	4.00
Ojo derecho por operador no experto	3.10 (0.2)	3.03 (0.2)	2.6	4.1	3.47	4.05
Ojo izquierdo por operador no experto	3.09 (0.2)	3.06 (0.2)	2.7	4.1	3.57	4.09

Abreviaturas. DE: desviación estándar. RIQ: rango intercuartil. Mín: mínimo. Máx: máximo.

Al analizar los DVNO obtenidos en relación con el IMC (**Figura S4**), la media fue de 2.98 mm para aquellos con IMC <18.5 Kg/m<sup>2</sup>, 3.06 mm para el subgrupo entre 18.5 a 25 Kg/m<sup>2</sup>, 3.07 mm para un IMC entre entre 25 a 30 Kg/m<sup>2</sup> y de 3.02 para el subgrupo de IMC superior a 30 Kg/m<sup>2</sup>. El valor de medición los DVNO entre sujetos ≤ 60 años y los 60 años, contemplando la edad media de la población evaluada, para menores de 60 años fue una media de 3.08 y para mayores de 60 años de 3.02 mm. (**Figura S5**).

El acuerdo en las mediciones entre los operadores se muestra en la **Figura 4**. Los resultados demostraron un CCI de 0.872 (IC95% 0.821, 0.908).



**Figura 4.** Análisis gráfico de Bland-Altman por tipo de operador.

## Discusión

El promedio del DVNO que se obtuvo de 1872 imágenes ultrasonográficas de una población de voluntarios colombianos fue de 3.1 mm (mínimo de 2.7 y máximo de 3.7 mm) de acuerdo con los datos obtenidos por los operadores experimentados y no experimentados. No se detectaron diferencias para la edad o la antropometría de los participantes. Este resultado es similar al de población sana en otros continentes (12,14,19,23–29), aunque es ligeramente menor a los obtenidos en otros países cuyo resultado gira en torno a 4 mm (30–42).

Se han desarrollado dos trabajos similares al nuestro en población colombiana sana con el fin de determinar los valores de normalidad para el DVNO. El primero fue publicado por Rodríguez et al en el 2022 y el segundo por Trocha et al en el 2023. La muestra total de ambos estudios asciende a 330 participantes con promedios obtenidos en el rango de 3,96 a 4,54 mm, ligeramente mayores a los nuestros y que podrían explicarse por la técnica empleada (43–45) debido a que no hubo diferencias relacionadas con la antropometría o el lugar de residencia, incluida la población de la ciudad de Bogotá, cuya altitud es mayor a los 2.500 metros sobre el nivel del mar, tal y como se describió en el trabajo de Rodríguez. En ese sentido, consideramos que el promedio es explicado por la medición de la vaina más allá de su borde externo, cuya precisión se altera por la presencia de elementos artefactuales como la grasa peri-neural. Por otro lado, en los trabajos que han comparado las diferencias por edad y sexo se estableció una tendencia a documentar un promedio más grande en hombres de edad avanzada, pero este dato no ha sido demostrado de manera consistente en otros (19,46), así como tampoco han podido establecerse diferencias explicables por la talla o por el peso (24), tal cual como ocurrió en nuestro trabajo.

Existe una amplia variabilidad en la ejecución de la técnica del ultrasonido ocular lo cual podría explicar las diferencias encontradas en el DVNO en comparación con otros estudios (45); sin embargo, en muchos de ellos se han documentado diámetros tan bajos como de 2.35 mm (44). Adicionalmente, la representación ecográfica del nervio óptico varía de persona a persona y se han descrito por lo menos dos patrones ecográficos diferentes que explican por qué con la misma técnica de medición se obtienen diferentes medidas. La teoría más aceptada es la distorsión del margen de la vaina del nervio debido a los artefactos peri-neurales, como ya se describió. Consideramos que la duramadre no se correlaciona fisiológicamente con el componente de dilatación, por ello se realizó la medición hasta su borde interno, lo que también

reduce el riesgo de incluir en la medición artefactos de la imagen y está basado en las recomendaciones protocolarias de otros autores (47–49).

Nuestros datos de los valores de referencia están fuera del rango de los resultados obtenidos en población enferma. Según un reciente metaanálisis de 18 estudios prospectivos donde se ha contrastado con los métodos invasivos de medición de la PIC el promedio fue de 4.8 a 6.4 mm (50,51). De acuerdo a lo anterior podemos concluir que los valores obtenidos distan mucho de los promedios que se han descrito en los pacientes con hipertensión intracraneal y en ese sentido nuestra cohorte se puede emplear como un grupo de control para la evaluación comparativa con población enferma y emitir puntos de corte válidos para nuestra población en futuros estudios.

En cuanto a la evaluación de la variabilidad de la medición entre operadores con y sin experiencia, se logró determinar una correlación buena (CCI: 0.872), similar a la descrita en otros trabajos (12,13,15,19,34,52–55), como el de Jennings et al en población sana CCI 0.93 (IC 95%, 0.62 - 0.92) (56) y el de Pansell et al en población enferma, CCI 0.93 (IC 95%, 0.87 - 0.96) (48). Además, a diferencia de otros trabajos se demostró que dicha correlación entre operadores era ligeramente peor en los valores extremos del DVNO (**Figura S6**). Esto es importante debido a que respalda la reproducibilidad del uso del ultrasonido a la cabecera del paciente por personal con un entrenamiento mínimo supervisado y favorece su aplicación en escenarios de urgencias hospitalarias de diferente complejidad.

Entre las fortalezas del estudio destaca el tamaño de muestra y la exclusión de los participantes con lesiones neurológicas y oftalmológicas de orden estructural que pudieran generar distracción en la interpretación de los resultados. De igual manera, la técnica fue estandarizada y se respetó la adherencia al protocolo para la obtención de los datos sensibles por parte de todos los investigadores. A diferencia de los otros estudios en población colombiana, en este trabajo el promedio de edad es mucho más alto lo cual garantiza una mayor representatividad de la población que padece de lesiones estructurales en el sistema nervioso central con mayor frecuencia y la selección aleatoria de los participantes permitió obtener una muestra mucho más representativa de todos los grupos poblacionales.

Las limitaciones incluyen aquellas asociadas a la naturaleza del diseño del estudio, no se descartó patología intracraneal en los participantes con otras modalidades de imagen de diagnóstico, tampoco se hizo una comparación con otros métodos de medición de la PIC y que,

pesar de contar con un tamaño de muestra significativo, la muestra no es representativa de la población del país.

Incluir la medición del DVNO como parte del protocolo de neuromonitoreo multimodal en países con o sin restricciones para el uso de métodos invasivos podría favorecer no solo la correlación clínica e imagenológica del paciente neurocrítico, también podría impactar en los desenlaces de los pacientes (57,58).

## **Conclusión**

En una cohorte de adultos sanos colombianos la media ultrasonográfica del DVNO se estableció entre 2.7 mm y 3.7 mm y su percentil 95 fue de 3.68 mm. El valor fue independiente de la edad, el sexo o la antropometría. Además, fue un método reproducible según el nivel de experticia del operador lo que facilitaría su aplicación en los servicios de urgencias. Se sugiere la realización de nuevos estudios en población colombiana enferma para estimar el impacto de la medición en la conducta de tratamiento y los desenlaces de los pacientes en nuestro medio.

## Referencias bibliográficas

1. Gusdon AM, Nyquist PA, Nelson SE. Management of Elevated Intracranial Pressure. *Current Clinical Neurology*. 2020;3–19.
2. Badri S, Chen J, Barber J, Temkin NR, Dikmen SS, Chesnut RM, et al. Mortality and long-term functional outcome associated with intracranial pressure after traumatic brain injury. *Intensive Care Med*. 2012;38(11):1800–9.
3. Chen CJ, Ding D, Ironside N, Buell TJ, Southerland AM, Testai FD, et al. Intracranial pressure monitoring in patients with spontaneous intracerebral hemorrhage. *J Neurosurg*. 2020;132(6):1854–64.
4. De Vedia L, Arechavala A, Calderón MI, Maiolo E, Rodríguez A, Lista N, et al. Relevance of intracranial hypertension control in the management of *Cryptococcus neoformans* meningitis related to AIDS. *Infection*. 2013;41(6):1073–7.
5. Bustos Y, Castro J, Wen LS, Sullivan AF, Chen DK, Camargo CA. Emergency department characteristics and capabilities in Bogotá, Colombia. *Int J Emerg Med* [Internet]. 2015;8(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12245-015-0079-y>
6. Garvin R, Mangat HS. Emergency Neurological Life Support: Severe Traumatic Brain Injury. *Neurocrit Care* [Internet]. 2017;27:159–69. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12028-019-00831-3>
7. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GWJ, Bell MJ, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery*. 2017;80(1):6–15.
8. Greenberg SM, Ziai WC, Cordonnier C, Dowlatshahi D, Francis B, Goldstein JN, et al. 2022 Guideline for the Management of Patients With Spontaneous Intracerebral Hemorrhage: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* [Internet]. 2022 May 17; Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STR.0000000000000407>
9. Tavakoli S, Peitz G, Ares W, Hafeez S, Grandhi R. Complications of invasive intracranial pressure monitoring devices in neurocritical care. *Neurosurg Focus*. 2017;43(5):1–9.
10. Evensen KB, Eide PK. Measuring intracranial pressure by invasive, less invasive or non-invasive means: Limitations and avenues for improvement. *Fluids Barriers CNS* [Internet]. 2020;17(1):1–33. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12987-020-00195-3>

11. Sallam A, Abdelaal Ahmed Mahmoud M Alkhatip A, Kamel MG, Hamza MK, Yassin HM, Hosny H, et al. The Diagnostic Accuracy of Noninvasive Methods to Measure the Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesth Analg.* 2021;132(3):686–95.
12. Ballantyne SA, O'Neill G, Hamilton R, Hollman AS. Observer variation in the sonographic measurement of optic nerve sheath diameter in normal adults. *European Journal of Ultrasound.* 2002;15(3):145–9.
13. Bäuerle J, Lochner P, Kaps M, Nedelmann M. Intra- and Interobserver Reliability of Sonographic Assessment of the Optic Nerve Sheath Diameter in Healthy Adults. *Journal of Neuroimaging.* 2012;22(1):42–5.
14. Zeiler FA, Unger B, Zhu Q, Xiao J, Kirkpatrick AW, Kramer AH, et al. A unique model for ONSD part II: Inter/intra-operator variability. *Canadian Journal of Neurological Sciences.* 2014;41(4):430–5.
15. Potgieter DW, Kippin A, Ngu F, McKean C. Can accurate ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath diameter (a non-invasive measure of intracranial pressure) be taught to novice operators in a single training session? *Anaesth Intensive Care.* 2011;39(1):95–100.
16. Schroeder C, Katsanos AH, Richter D, Tsivgoulis G, Gold R, Krogias C. Quantification of Optic Nerve and Sheath Diameter by Transorbital Sonography: A Systematic Review and Metanalysis. *Journal of Neuroimaging.* 2020;30(2):165–74.
17. Ochoa-Pérez L, Cardozo-Ocampo A. Aplicaciones de la ultrasonografía en el sistema nervioso central para neuroanestesia y cuidado neurocrítico. *Revista Colombiana de Anestesiología.* 2014;43(4):314–20.
18. Clinical and Laboratory Standards Institute. Defining, Establishing, and Verifying Reference Intervals in the Clinical Laboratory; Approved Guideline [Internet]. 2010 [cited 2023 May 16]. Report No.: Third edition. Available from: [https://clsi.org/media/1421/ep28a3c\\_sample.pdf](https://clsi.org/media/1421/ep28a3c_sample.pdf)
19. Goeres P, Zeiler FA, Unger B, Karakitsos D, Gillman LM. Ultrasound assessment of optic nerve sheath diameter in healthy volunteers. *J Crit Care.* 2016 Feb 1;31(1):168–71.
20. Zou GY. Sample size formulas for estimating intraclass correlation coefficients with precision and assurance. *Stat Med.* 2012;31(29):3972–81.

21. Greenland S, Senn SJ, Rothman KJ, Carlin JB, Poole C, Goodman SN, et al. Statistical tests, P values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. *Eur J Epidemiol*. 2016 Apr 1;31(4):337–50.
22. Liljequist D, Elfving B, Roaldsen KS. Intraclass correlation – A discussion and demonstration of basic features. *PLoS One*. 2019 Jul 1;14(7).
23. Waissbluth J, Schulmeyer MCC. Ocular ultrasound to estimate intracranial pressure: Feasibility of the technique. *Revista Chilena de Anestesia*. 2019;48(1):57–61.
24. Cardim D, Czosnyka M, Chandrapatham K, Badenes R, Bertuccio A, Noto A Di, et al. Effects of Age and Sex on Optic Nerve Sheath Diameter in Healthy Volunteers and Patients With Traumatic Brain Injury. *Front Neurol*. 2020;11(August):1–9.
25. Avci M, Kozaci N, Komut E, Komut S, Caliskan G, Tulubas G. The measurement of elderly volunteers' optic nerve sheath diameters by ocular ultrasonography. *Medicina (Lithuania)*. 2019;55(8):2–9.
26. Woster CM, Zwank MD, Pasquarella JR, Wewerka SS, Anderson JP, Greupner JT, et al. Placement of a cervical collar increases the optic nerve sheath diameter in healthy adults. *American Journal of Emergency Medicine* [Internet]. 2018;36(3):430–4. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.08.051>
27. Rehman H, Khan MS, Nafees M, Rehman AU, Habib A. Optic Nerve Sheath Diameter on Sonography in Idiopathic Intracranial Hypertension Versus Normal. *J Coll Physicians Surg Pak* [Internet]. 2016 Sep;26(9):758–60. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27671180>
28. Wang L, Feng L, Yao Y, Deng F, Wang Y, Feng J, et al. Ultrasonographic Evaluation of Optic Nerve Sheath Diameter among Healthy Chinese Adults. *Ultrasound Med Biol*. 2016 Mar 1;42(3):683–8.
29. Karami M, Shirazinejad S, Shaygannejad V, Shirazinejad Z. Transocular Doppler and optic nerve sheath diameter monitoring to detect intracranial hypertension. *Adv Biomed Res* [Internet]. 2015;4:231. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26645016>
30. Kane SC, Dennis AT, Da Silva Costa F, Kornman LH, Cade TJ, Brennecke SP. Optic nerve sonography and ophthalmic artery Doppler velocimetry in healthy pregnant women: an Australian cohort study. *Journal of Clinical Ultrasound*. 2019;47(9):531–9.
31. Ertl M, Knüppel C, Veitweber M, Wagner A, Pfister K, Wendl C, et al. Normal Age- and Sex-Related Values of the Optic Nerve Sheath Diameter and Its Dependency on

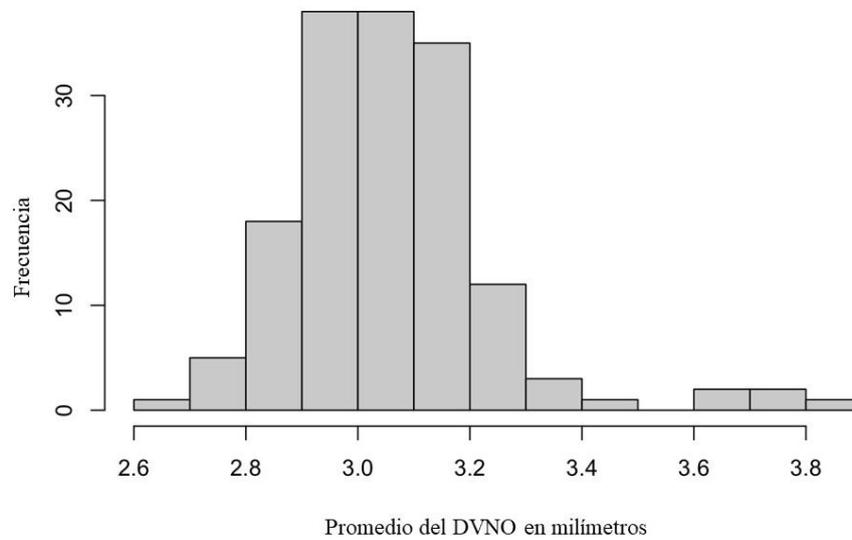
- Position and Positive End-Expiratory Pressure. *Ultrasound Med Biol.* 2020;46(12):3279–85.
32. Chen H, Ding GS, Zhao YC, Yu RG, Zhou JX. Ultrasound measurement of optic nerve diameter and optic nerve sheath diameter in healthy Chinese adults. *BMC Neurol* [Internet]. 2015;15(1):4–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12883-015-0361-x>
  33. Sanri E, Karacabey S. The Impact of Head of Bed Elevation on Optic Nerve Sheath Diameter in Cervical Collar Applied Healthy Volunteers. *Journal of Emergency Medicine* [Internet]. 2019;56(4):371–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2018.12.043>
  34. Bäuerle J, Schuchardt F, Schroeder L, Egger K, Weigel M, Harloff A. Reproducibility and accuracy of optic nerve sheath diameter assessment using ultrasound compared to magnetic resonance imaging. *BMC Neurol.* 2013;13.
  35. Kim DH, Jun JS, Kim R. Ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath diameter and its association with eyeball transverse diameter in 585 healthy volunteers. *Sci Rep* [Internet]. 2017;7(1):3–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-16173-z>
  36. Dağdelen K, Ekici M. Measuring optic nerve sheath diameter using ultrasonography in patients with idiopathic intracranial hypertension. *Arq Neuropsiquiatr.* 2022 Jun 1;80(6):580–5.
  37. Maude RR, Hossain MA, Hassan MU, Osbourne S, Abu Sayeed KL, Karim MR, et al. Transorbital sonographic evaluation of normal optic nerve sheath diameter in healthy volunteers in Bangladesh. *PLoS One.* 2013 Dec 2;8(12).
  38. Shirodkar CG, Rao SM, Mutkule DP, Harde YR, Venkategowda PM, Mahesh MU. Optic nerve sheath diameter as a marker for evaluation and prognostication of intracranial pressure in Indian patients: An observational study. *Indian Journal of Critical Care Medicine.* 2014 Nov 1;18(11):728–34.
  39. Romagnuolo L, Tayal V, Tomaszewski C, Saunders T, Norton HJ. Optic nerve sheath diameter does not change with patient position. *American Journal of Emergency Medicine.* 2005 Sep;23(5):686–8.
  40. Blehar DJ, Gaspari RJ, Montoya A, Calderon R. Correlation of Visual Axis and Coronal Axis Measurements of the Optic Nerve Sheath Diameter [Internet]. 2007. Available from: <http://www.wessa.net>

41. Rojas-Murillo T, Olvera-González N. Relationship between the measurement by tomography and ultrasound of the diameter of the optic nerve sheath as a non-invasive estimator of intracranial pressure. *Cirugia y Cirujanos (English Edition)*. 2022 Mar 1;90(2):236–41.
42. Petrou S, Raio C, Klein L, Felicetta M. Posterior Globe Depth for Optic Nerve Sheath Diameter Measurement in Ocular Ultrasound in Healthy Volunteers. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2022 Oct 1;41(10):2425–30.
43. Rodríguez Aparicio EE, Carrizosa Gonzalez JA, Rodriguez Lima DR. Optic nerve sheath diameter at high altitude: standardized measures in healthy volunteers. *Ultrasound Journal*. 2022 Dec 1;14(1).
44. Trocha G, Bonilla A, Romero C, Palacios J, Molano-Gonzalez N. Ultrasound measurement of optic nerve sheath diameter in a healthy adult Colombian population. *BMC Neurol*. 2023 Dec 1;23(1).
45. Caballero-Lozada AF, Miño-Bernal JF, Espinosa-Marsiglia RA, Rojas-Rincón V. Correlation between the Optic Nerve Sheath Diameter Measurement and Intracranial Hypertension Tomographic Findings from a Colombian Hospital. *Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery*. 2022 Dec;41(04):e324–30.
46. Chandrapatham K, Cardim D, Czosnyka M, Bertuccio A, Di Noto A, Corradi F, et al. Variability of the Optic Nerve Sheath Diameter on the Basis of Sex and Age in a Cohort of Healthy Volunteers. In 2021. p. 121–4. Available from: [https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-59436-7\\_25](https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-59436-7_25)
47. Pansell J, Bell M, Rudberg P, Friman O, Cooray C. Optic nerve sheath diameter in intracranial hypertension: Measurement external or internal of the dura mater? *Journal of Neuroimaging*. 2023 Jan 1;33(1):58–66.
48. Pansell J, Bell M, Rudberg P, Friman O, Cooray C. Optic nerve sheath diameter measurement by ultrasound: Evaluation of a standardized protocol. *Journal of Neuroimaging*. 2022 Jan 1;32(1):104–10.
49. Stevens RRF, Gommer ED, Aries MJH, Ertl M, Mess WH, Huberts W, et al. Optic nerve sheath diameter assessment by neurosonology: A review of methodologic discrepancies. *Journal of Neuroimaging*. 2021 Sep 1;31(5):814–25.
50. Lee SH, Kim HS, Yun SJ. Optic nerve sheath diameter measurement for predicting raised intracranial pressure in adult patients with severe traumatic brain injury: A meta-analysis. *J Crit Care*. 2020 Apr 1;56:182–7.

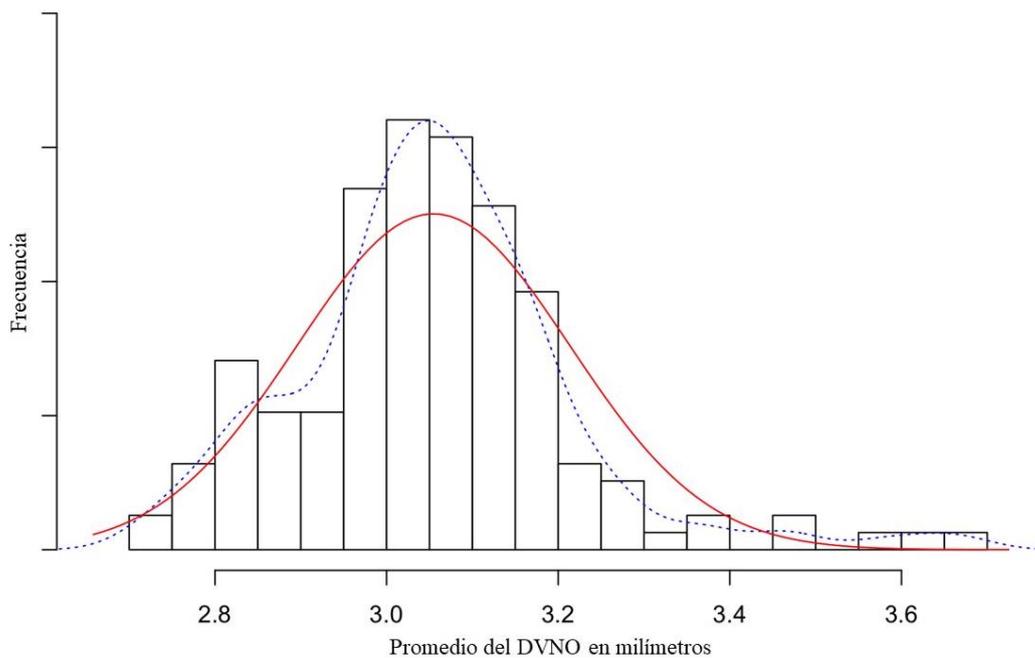
51. Aletreby W, Alharthy A, Brindley PG, Kutsogiannis DJ, Faqih F, Alzayer W, et al. Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasound for Raised Intracranial Pressure: A Literature Review and Meta-analysis of its Diagnostic Accuracy. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2022 Mar 1;41(3):585–95.
52. Hassen GW, Bruck I, Donahue J, Mason B, Sweeney B, Saab W, et al. Accuracy of optic nerve sheath diameter measurement by emergency physicians using bedside ultrasound. *Journal of Emergency Medicine* [Internet]. 2015;48(4):450–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jemermed.2014.09.060>
53. Shah S, Kimberly H, Marill K, Noble VE. Ultrasound techniques to measure the optic nerve sheath: Is a specialized probe necessary? *Medical Science Monitor*. 2009;15(5):63–8.
54. Betcher J, Becker TK, Stoyanoff P, Cranford J, Theyyunni N. Military trainees can accurately measure optic nerve sheath diameter after a brief training session. *Mil Med Res*. 2018;5(1):1–6.
55. Hollestelle RVA, Hansen D, Hoeks SE, van Meeteren NLU, Stolker RJ, Maissan IM. Observer Variability as a Determinant of Measurement Error of Ultrasonographic Measurements of the Optic Nerve Sheath Diameter: A Systematic Review. *Journal of Emergency Medicine*. 2022 Aug 1;63(2):200–11.
56. Jennings JB, Oliva C, Joyce M, Vitto MJ, Tozer J, Taylor LA, et al. Inter-rater reliability of optic nerve sheath diameter measurement using real-time ultrasonography. *Ultrasound Journal*. 2022 Dec 1;14(1).
57. Rajagopalan S, Sarwal A. Neuromonitoring in Critically Ill Patients. *Crit Care Med*. 2023 Apr;51(4):525–42.
58. Chesnut RM, Temkin N, Videtta W, Lujan S, Petroni G, Pridgeon J, et al. Testing the Impact of Protocolized Care of Patients With Severe Traumatic Brain Injury Without Intracranial Pressure Monitoring: The Imaging and Clinical Examination Protocol. *Neurosurgery*. 2023 Mar 1;92(3):472–80.

## Material suplementario

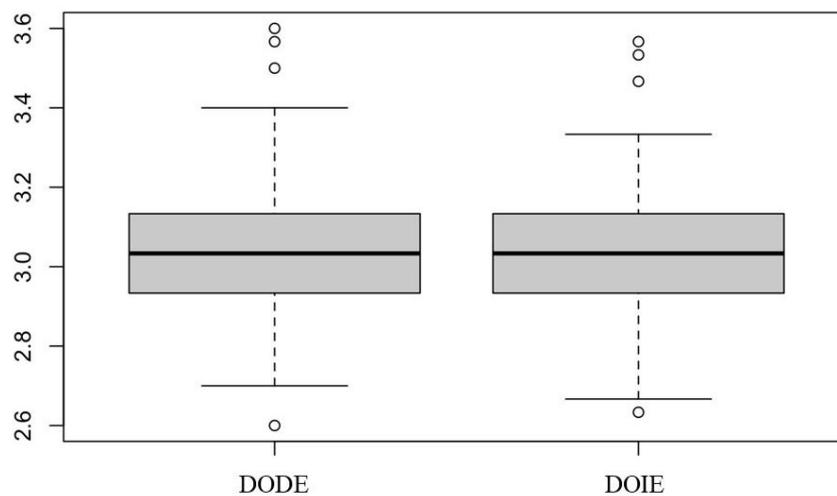
**Figura S1.** Histograma de la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico de ambos ojos realizado por el operador principiante. Distribución no-normal.



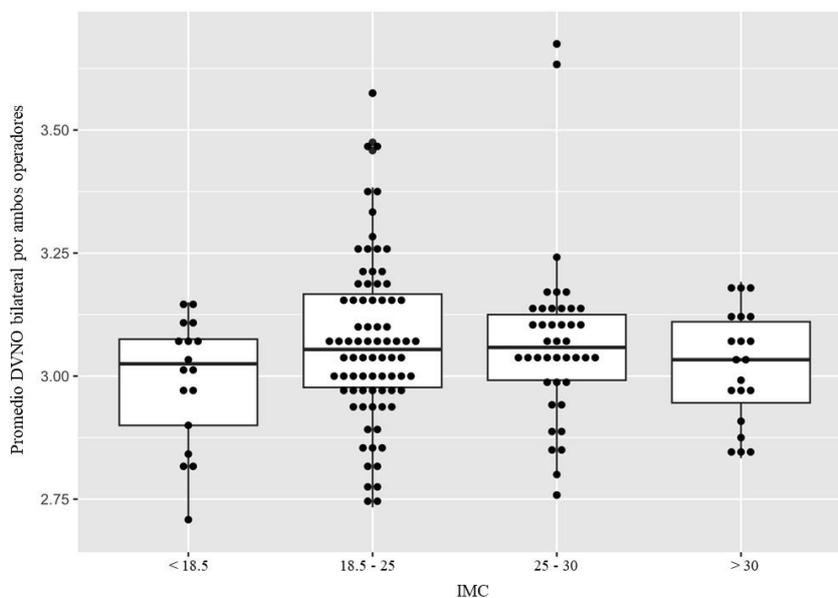
**Figura S2.** Histograma de la media de la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico entre ambos ojos tanto por operador experto como no experto.



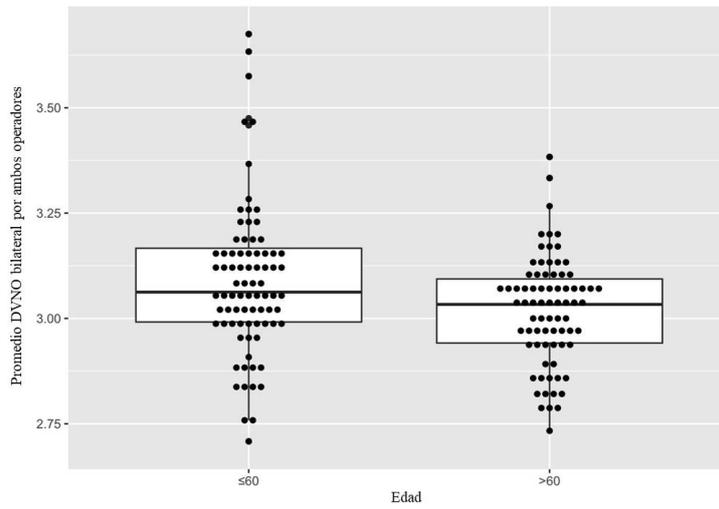
**Figura S3.** Gráfico de cajas y bigotes, comparación del DVNO entre el ojo derecho e izquierdo realizado por el operador experto. DOE: DVNO del ojo derecho por experto. DOIE: DVNO del ojo izquierdo por el experto.



**Figura S4.** Gráfico de cajas y bigotes, comparación del DVNO entre diferentes subgrupos según su IMC.



**Figura S5.** Gráfico de cajas y bigotes, variación del DVNO según la edad.



**Figura S6.** QQplot de DVNO entre personal experto y no experto.

