



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Medicina Humana

Segunda Especialidad en Medicina de Emergencias y Desastres

**Precisión diagnóstica del diámetro de la vaina del nervio óptico para la
predicción tomográfica de edema cerebral severo en pacientes con
traumatismo encéfalocraneano grave en un Hospital Nivel III-1, Arequipa,
2026**

Proyecto de Investigación presentado por:

Bejarano Flores, Enrique Alexander

ORCID: 0009-0004-2888-1994

para optar el Título de Segunda Especialidad en Medicina de Emergencias y Desastres

Asesor:

Dr. Mamani Ruelas, Angel Sixto

ORCID: 0000-0001-9082-4975

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
SEGUNDA ESPECIALIDAD EN MEDICINA DE EMERGENCIAS Y DESASTRES
SEGUNDA ESPECIALIDAD CON PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
DICTAMEN APROBACIÓN DE PROYECTO / PLAN

Arequipa, 22 de Septiembre del 2026

Dictamen: 019913-A-FMH-2026

Visto el proyecto / plan del expediente 019913, presentado por:

2023971491 - BEJARANO FLORES ENRIQUE ALEXANDER

Titulado:

**PRECISIÓN DIAGNÓSTICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIO ÓPTICO PARA LA
PREDICCIÓN TOMOGRÁFICA DE EDEMA CEREBRAL SEVERO EN PACIENTES CON
TRAUMATISMO ENCÉFALOCRANEANO GRAVE EN UN HOSPITAL NIVEL III-I, AREQUIPA, 2026**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**07961667 - NOEL CORDOVA EDGARD ELEAZAR
DICTAMINADOR**



Precisión diagnóstica del diámetro de la vaina del nervio óptico para la predicción tomográfica de edema cerebral severo en pacientes con traumatismo encéfalo craneano grave en un Hospital Nivel III-1

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

11%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	3%
	Trabajo del estudiante	
2	hdl.handle.net	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.ucsm.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
4	medicinainterna.org.mx	1%
	Fuente de Internet	
5	es.scribd.com	1%
	Fuente de Internet	
6	Gomez Peñaloza, Emerson Shalim. "Comparación de las escalas tomográficas de Marshall y Rotterdam como predictores de desenlace en traumatismo craneoencefálico en el Hospital Manuel Núñez Butrón de Puno 2025-2026", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru), 2025	1%
	Publicación	
7	alicia.concytec.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
8	Submitted to Universitat de Barcelona	1%
	Trabajo del estudiante	
9	villavicencio.org.ar	1%
	Fuente de Internet	
10	Submitted to Docentes	1%
	Trabajo del estudiante	
11	bibliotecadigital.oducal.com	<1%
	Fuente de Internet	
12	revcalixto.sld.cu	<1%
	Fuente de Internet	
13	doku.pub	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A mi familia, por su apoyo constante y comprensión a lo largo de este camino formativo. A los docentes y colegas de la especialidad de Medicina de Emergencias y Desastres, por inculcar la búsqueda constante de la excelencia académica y clínica orientada a la preservación de la vida del paciente crítico.



RESUMEN

OBJETIVO: Determinar la precisión diagnóstica del diámetro ecográfico de la vaina del nervio óptico (DVNO) para detectar edema cerebral severo y predecir hipertensión endocraneana según la clasificación tomográfica de Marshall en pacientes con traumatismo encéfalo craneano (TEC) grave en el servicio de emergencias de un Hospital Nivel III-1, Arequipa, 2026.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se realizará un estudio de enfoque cuantitativo, de diseño observacional, prospectivo y de corte transversal para la evaluación de una prueba diagnóstica, guiado bajo los estándares metodológicos de la declaración STARD. La población de estudio estará conformada por pacientes adultos admitidos en la unidad de Shock Trauma con diagnóstico clínico de TEC grave (Escala de Coma de Glasgow ≤ 8 puntos). Mediante la fórmula matemática de Buderer y Hajian-Tilaki para pruebas diagnósticas (sensibilidad esperada del 90%, prevalencia estimada del 40% y margen de error del 10%), se determinó una muestra mínima de 87 eventos clínicos, proyectando reclutar hasta 96 pacientes mediante muestreo no probabilístico consecutivo entre octubre y diciembre del año 2026 para compensar posibles pérdidas técnicas. La prueba índice consistirá en la medición neurosonográfica del DVNO a 3 mm del polo posterior ocular (corte patológico > 5.2 mm). El patrón de referencia será la tomografía axial computarizada cerebral clasificada según la escala de Marshall por un especialista cegado a los resultados ecográficos.

RESULTADOS ESPERADOS: Se calcularán la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo, valor predictivo negativo y las razones de verosimilitud con intervalos de confianza al 95%. La exactitud global se evaluará mediante el Área Bajo la Curva ROC (AUC), y el punto de corte óptimo local se determinará con el índice de Youden.

Palabras claves: Vaina del Nervio Óptico, Edema Cerebral, Traumatismo Encéfalo craneano.

ABSTRACT

OBJECTIVE: To determine the diagnostic accuracy of the ultrasonographic measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) to detect severe cerebral edema and predict intracranial hypertension according to the Marshall classification in patients with severe traumatic brain injury (TBI) in the emergency department of a Level III-1 Hospital, Arequipa, 2026.

MATERIALS AND METHODS: A quantitative, observational, prospective, and cross-sectional diagnostic accuracy study will be performed following STARD guidelines. The study population will include adult patients admitted to the Shock Trauma unit with severe TBI (Glasgow Coma Scale ≤ 8 points). Based on Buderer's formula for diagnostic studies (90% expected sensitivity, 40% prevalence, 10% precision), a minimum sample size of 87 subjects was calculated, targeting 96 patients via consecutive sampling between October and December 2026 to account for potential technical attrition. The index test will be the sonographic measurement of ONSD 3 mm posterior to the globe (pathological cut-off > 5.2 mm). The reference standard will be a brain computed tomography scan evaluated under the Marshall classification by a radiologist blinded to the ultrasound findings.

EXPECTED RESULTS: Sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value, and likelihood ratios (95% CI) will be calculated. Global accuracy will be assessed using the Area Under the ROC Curve (AUC), establishing the optimal cut-off value through Youden's J statistic.

Keywords: Optic Nerve Sheath, Brain Edema, Traumatic Brain Injuries

ÍNDICE

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO TEÓRICO	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	3
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:	7
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO	9
1. CONCEPTOS TEÓRICOS:	10
2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS:	17
3. OBJETIVOS:	21
CAPÍTULO III.....	23
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL	23
1. TÉCNICA, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN:.....	24
2. CAMPO DE VERIFICACIÓN:	24
3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS:	27
4. ASPECTOS ÉTICOS:	29
5. PLAN PROCESAMIENTO DE DATOS:	30
6. CRONOGRAMA:.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS	40

INTRODUCCIÓN

El traumatismo encéfalocraneano (TEC) grave representa una de las emergencias neurocríticas de mayor complejidad a nivel mundial y constituye una de las principales causas de muerte prematura e incapacidad permanente en la población económicamente activa. Durante la atención inicial del paciente politraumatizado en el área de Shock Trauma, el desarrollo de hipertensión endocraneana secundaria al edema cerebral difuso o a lesiones ocupantes de espacio representa el evento fisiopatológico determinante en el pronóstico funcional y vital. La elevación incontrolada de la presión intracraneal conduce de manera inexorable a la reducción crítica de la presión de perfusión cerebral, provocando fenómenos de isquemia global y herniación cerebral letal.

El abordaje diagnóstico tradicional de estas complicaciones enfrenta barreras logísticas significativas. Aunque la tomografía axial computarizada es el método de imagen estándar para evaluar las lesiones intracraneales agudas, el traslado del paciente en estado crítico fuera del área de reanimación acarrea riesgos de desaturación, desestabilización hemodinámica, extubación accidental e interrupción de medidas de resucitación. Por otro lado, la monitorización invasiva mediante catéteres intraventriculares o intraparenquimatosos, considerada el estándar de referencia fisiológico, no suele estar disponible inmediatamente durante la fase de admisión en urgencias y conlleva riesgos quirúrgicos, infecciosos y hemorrágicos.

En este contexto, la ultrasonografía en el punto de atención (POCUS) ha transformado la monitorización neurocrítica no invasiva. El nervio óptico, al ser un tracto anatómico del diencefalo recubierto por las tres capas meníngeas y bañado por líquido cefalorraquídeo dentro del espacio subaracnoideo, transmite de forma hidrostática e inmediata los incrementos de presión del compartimento intracraneal. La medición del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) mediante transductores lineales de alta frecuencia se presenta como una alternativa rápida, segura, reproducible y realizable a pie de cama. El presente proyecto de investigación tiene como propósito determinar la precisión diagnóstica de la medición ecográfica del DVNO frente a los signos tomográficos de edema cerebral severo definidos por la clasificación de Marshall en pacientes con TEC grave en un hospital de referencia regional



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

1.1. Enunciado del problema:

El abordaje del paciente con traumatismo encéfalo craneano (TEC) grave en las unidades de Shock Trauma exige decisiones terapéuticas ultrarrápidas. El edema cerebral severo se manifiesta radiológicamente mediante el colapso de las cisternas de la base y la desviación de la línea media (grados avanzados en la Clasificación de Marshall), signos que invariablemente reflejan un compromiso en la presión de perfusión cerebral; tener en cuenta además que mover a un paciente con Traumatismo encéfalo craneano (TEC) inestable al tomógrafo implica riesgos de extubación accidental, hipotensión y picos de hipertensión intracraneal y también ante el reto que supone la monitorización invasiva de la presión intracraneal en la fase aguda, la evaluación del diámetro de la vaina del nervio óptico emerge como una ventana sonográfica hacia el encéfalo. Identificar la validez de este marcador no invasivo en un hospital nivel III-1 es crucial para consolidar protocolos que optimicen los tiempos de respuesta y mejoren el pronóstico neurológico del paciente. Por lo que nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es la precisión diagnóstica del diámetro ecográfico de la vaina del nervio óptico (DVNO) para detectar edema cerebral severo y predecir hipertensión endocraneana según la clasificación de Marshall en pacientes con traumatismo encéfalo craneano (TEC) grave en el servicio de emergencias de un Hospital Nivel III-1, Arequipa, durante el periodo de octubre a diciembre del año 2026?

1.2. Descripción del problema:

1.2.1. Área de conocimiento:

- Área general: Ciencias de la salud
- Área específica: Medicina Humana
- Especialidad: Medicina de Emergencias y Desastres
- Línea de investigación: Ultrasonografía crítica / Neurointensivismo

1.2.2. Operacionalización de variables:

Variable	Definición Operacional	Indicador	Unidad / Categoría	Escala
Independiente: Medición del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) como prueba índice (1, 2)	Valor transversal de la vaina hipoecoica del nervio óptico obtenida a 3 mm por detrás del polo posterior de la retina mediante ultrasonografía ocular en modo B.	Diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) medido ecográficamente a 3 mm del polo posterior del globo ocular.	Positivo/Anormal: > 5.2 mm Negativo/Normal: ≤ 5.2 mm	Cuantitativa continua (Razón) dicotomizada para validez diagnóstica
Dependiente: Signos tomográficos con edema cerebral severo sugerentes de Hipertensión Endocraneana, como patrón de referencia. (3)	Hallazgos estructurales tomográficos cerebrales sin contraste evaluados según la escala de Marshall.	Clasificación de Marshall para hallazgos tomográficos para TEC dicotomizada.	Positivo: Marshall Grados III, IV, V y VI (Cisternas basales colapsadas/ausentes, desviación de línea media >5 mm o masas evacuadas/no evacuadas) Negativo: Marshall Grados I y II (Sin patología visible o lesiones difusas con cisternas abiertas y desviación < 5 mm)	Cualitativa nominal dicotómica

Interviniente 1: Gravedad clínica al ingreso (4)	Nivel de deterioro del estado de conciencia post-reanimación inicial evaluado clínicamente.	Escala de Coma de Glasgow (ECG).	Puntaje total de 3 a 8 puntos (Criterio estricto de TEC grave).	Cuantitativa discreta / Ordinal
Interviniente 2: Presión de Perfusion Cerebral inferida (PPC = PAM – PIC). (5)	Estado hemodinámico sistémico concomitante durante la insonación ocular.	Presión Arterial Media (PAM) obtenida por línea arterial o esfigmomanometría	Milímetros de mercurio (mmHg).	Cuantitativa continua (Razón)

1.2.3. Interrogantes básicas:

- **Interrogante general:**

¿Cuál es la precisión diagnóstica del diámetro ecográfico de la vaina del nervio óptico (DVNO) para detectar edema cerebral severo y predecir hipertensión endocraneana según la clasificación de Marshall en pacientes con traumatismo encéfalo craneano (TEC) grave en el servicio de emergencias de un Hospital Nivel III-1, Arequipa, durante el periodo octubre a diciembre del año 2026?

- **Interrogantes específicas:**

1. ¿Cuál es la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN) de la medición ecográfica del DVNO utilizando el punto de corte establecido ($> 5,2$ mm) frente al patrón de referencia tomográfico de la clasificación de Marshall?
2. ¿Cuál es el Área Bajo la Curva ROC (AUC) del DVNO para determinar la exactitud global discriminativa en la predicción de signos de edema cerebral severo?

3. ¿Cuál es el punto de corte milimétrico óptimo del DVNO determinado mediante el índice de Youden en la población atendida en el hospital?
4. ¿Cuáles son las características demográficas (edad, sexo) y clínicas (puntuación ECG, PAM) de los pacientes con TEC severo en la muestra de estudio?

1.2.4. Tipo de investigación: Cuantitativa

1.2.5. Diseño de investigación:

- De acuerdo con la manipulación de variables: observacional.
- Carácter: prospectivo
- Dimensión temporal con que se examina la muestra: transversal.

1.2.6. Nivel de investigación:

Relacional (Estudio de Exactitud y Evaluación de Prueba Diagnóstica)

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA:

2.1. Justificación Científica:

El aumento sostenido de la presión intracraneal ($PIC > 20$ mmHg) compromete de inmediato la perfusión cerebral y conduce a herniaciones fatales (5, 6). La doctrina clásica de Monro-Kellie y la fisiología hidrostática explican que el espacio subaracnoideo del nervio óptico transmite en tiempo real las variaciones tensionales del líquido cefalorraquídeo (1, 11). Validar científicamente un método no invasivo que detecte a pie de cama signos subrogados de edema severo permite iniciar terapias hiperosmolares y coordinar intervenciones neuroquirúrgicas descompresivas antes de que se produzca un daño isquémico secundario irreversible (2, 7, 8).

La evaluación ecográfica a pie de cama (POCUS) ha probado ser una herramienta clínica robusta en pacientes con cefalea aguda, trauma craneal o alteración del estado mental donde existe sospecha de presión intracraneal elevada. Estudios clínicos que comparan la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico a través de tomografía computarizada frente a la evaluación ecográfica de emergencia en pacientes con hemorragia intracraneal han demostrado que el ultrasonido posee una sensibilidad del 100% y una especificidad del 95%. Estas métricas validan el rol de la neurosonografía como método de tamizaje rápido y de alta precisión mientras se estabiliza al paciente antes de su ingreso al tomógrafo. (8)

2.2. Originalidad:

Aunque la neurosonografía se aplica en centros internacionales, su validación prospectiva estandarizada frente a evaluaciones estáticas tradicionales como las escalas tomográficas validadas (Marshall) en las unidades de Shock Trauma de la región Arequipa es inédita, este estudio busca establecer de forma prospectiva la validez de un método dinámico y no invasivo en un hospital de referencia del sur del Perú, generando curvas de rendimiento diagnóstico (ROC) y puntos de corte propios para nuestra realidad hospitalaria (1, 7, 17)

2.3. Social:

El traumatismo encefalocraneano grave representa una de las principales causas de mortalidad y años de vida potencialmente perdidos por accidentes de tránsito y caídas en la población económicamente activa de Arequipa debido a accidentes de tránsito y

laborales (14, 15, 17). Optimizar la detección y manejo inicial de la hipertensión endocraneana reduce los tiempos de espera diagnóstica, para terapias osmóticas o intervenciones neuroquirúrgicas descompresivas, impactando de forma directa en la reducción de la morbimortalidad, disminuye las secuelas neurológicas a largo plazo y alivia el impacto socioeconómico que sufren las familias y las instituciones de salud pública (17).

2.4. Factibilidad:

La investigación es plenamente viable. El servicio de emergencias del Hospital nivel III-1 de Arequipa, cuenta con equipos de ecografía con transductores lineales de alta frecuencia idóneos para la evaluación ocular. El investigador cuenta con la formación técnica especializada en ultrasonografía crítica necesario para asegurar mediciones reproducibles, y el flujo epidemiológico del establecimiento asegura la captación consecutiva del tamaño muestral proyectado sin generar costos extraordinarios al hospital, ni para los pacientes.

2.5. Interés personal:

Responde al interés del investigador por consolidar el uso del ultrasonido crítico en el servicio de emergencias y estandarizar protocolos de monitorización multimodal no invasiva a pie de cama en el paciente neurocrítico, con el fin de optimizar la toma de decisiones clínicas en tiempo real basadas en la evidencia médica.



1. CONCEPTOS TEÓRICOS:

1.1. Fisiopatología del Traumatismo Encéfalocraneano (TEC) y la Hipertensión Endocraneana (HTEC):

El TEC grave involucra una secuencia fisiopatológica bifásica. La lesión primaria ocurre en el momento del impacto por fuerzas biomecánicas de traslación, rotación o cizallamiento, causando contusiones, laceraciones y daño axonal difuso (5, 9, 15). Tras esta noxa inicial, se activa la lesión secundaria a lo largo de las primeras horas y días, caracterizada por una cascada bioquímica destructiva en la que intervienen la excitotoxicidad por glutamato, la sobrecarga intracelular de calcio, la disfunción mitocondrial, el estrés oxidativo y la liberación masiva de citoquinas proinflamatorias (9, 10, 15). Estos procesos degradan la barrera hematoencefálica y conduce al edema cerebral (citotóxico y vasogénico) y al aumento de la presión intracraneal (PIC) (9, 10).

La bóveda craneana en el adulto constituye una estructura ósea no distensible. De acuerdo con la doctrina de Monro-Kellie, el volumen intracraneal total ($V_{total} = V_{parénquima} + V_{LCR} + V_{sangre}$) debe permanecer invariable (11, 14). Ante la instauración de un hematoma o edema cerebral, los mecanismos compensatorios iniciales consisten en el desplazamiento de líquido cefalorraquídeo hacia el canal medular y la compresión del lecho venoso cerebral de baja presión (11, 14). Una vez agotada esta capacidad de amortiguación (punto de inflexión de la curva de distensibilidad cerebral elastomérica), pequeños incrementos volumétricos disparan exponencialmente la presión intracraneal (11, 14).

En un adulto, la PIC normal es menor de 15 mmHg; un valor basal superior a 20 mmHg se asocia a compromiso de la Presión de Perfusión Cerebral ($PPC = PAM - PIC$) (5, 11, 14), precipitando hipoxia tisular e isquemia global que agravan el edema y provocan hernias falcinas, uncales o transtentoriales catastróficas (12, 14).

El nervio óptico y su vaina protectora discurren de manera posterior al globo ocular en dirección hacia el quiasma óptico, presentando una reflectividad interna baja y homogénea al ser insonados. Existe una comunicación anatómica directa y demostrada entre el espacio subaracnoideo de los ventrículos cerebrales y la vaina del nervio óptico.

Dado que esta estructura es fácilmente distensible, cualquier condición clínica que produzca una elevación en la presión intracraneal (PIC) como ocurre de forma aguda en el traumatismo encéfalocraneano grave por edema o hemorragia conduce de forma inminente a su dilatación.

ESCALA DE GLASGOW (ECG)

Evaluación del Nivel de Conciencia y Clasificación del Traumatismo Encéfalocraneano (TEC)

Apertura Ocular (E)	Respuesta Verbal (V)	Respuesta Motora (M)
4: Espontánea	5: Orientado	6: Obedece órdenes
3: Al estímulo verbal	4: Desorientado	5: Localiza el dolor
2: Al dolor	3: Palabras inapropiadas	4: Retira al dolor
1: Nula	2: Sonidos incomprensibles	3: Flexión anómala (decorticación)
	1: Nula	2: Extensión (descerebración)
		1: Nula
TEC Leve	TEC Moderado	TEC Grave
ECG: 13 - 15 puntos	ECG: 9 - 12 puntos	ECG: 3 - 8 puntos

Clasificación clínica del Traumatismo Encéfalocraneano (TEC): Leve (13-15 puntos), Moderado (9-12 puntos), Grave (3-8 puntos).

Fuente: Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. Lancet. 1974 (4)

1.2. Neurosonografía Ocular: biofísica, técnica y bioseguridad:

El nervio óptico es una prolongación directa del diencefalo, recubierto por las tres capas meníngeas (piamadre, aracnoides y duramadre) (1, 13, 14).

El espacio subaracnoideo que rodea al nervio óptico contiene LCR y se encuentra en continuidad anatómica libre con el espacio subaracnoideo de la base del encéfalo a través del canal óptico (13, 14).

Cuando la PIC aumenta, la presión hidrostática se transmite una onda hidrostática a través del LCR que distiende el diámetro transversal de la vaina meníngea del nervio óptico (DVNO) (13, 14, 16).

La máxima distensibilidad elástica ocurre a nivel de la porción retrobulbar adyacente a la esclera, lo que fundamenta la medición estandarizada en este punto anatómico (1, 14).

La ecografía ocular destaca frente a otras técnicas de monitorización neurológica por ser un procedimiento no invasivo, de rápida realización, accesible, económico y que puede repetirse las veces necesarias sin exponer al paciente a radiación ionizante. (8, 15, 16).

1.2.1. Principios físicos de insonación:

La ecografía ocular se basa en el principio del eco-pulso con ondas mecánicas longitudinales. La resolución axial y lateral requerida para discriminar estructuras milimétricas subesclerales exige el uso de transductores lineales de alta frecuencia (7.5 - 15 MHz) con longitud de onda submétrica (16, 17). La interfaz entre el humor vítreo anecoico, la retina hiperecogénica y la vaina meníngea genera gradientes de impedancia acústica ($Z = p \times c$) claramente diferenciables.

1.2.2. Técnica ecográfica estandarizada:

El paciente debe ser colocado en decúbito supino con la cabecera a 30 grados. Se aplica una capa gruesa de gel conductor hipoalergénico sobre el párpado superior cerrado, permitiendo que el transductor repose suavemente sobre el gel sin ejercer presión física sobre el globo ocular (1, 14, 16). Evitar la compresión es esencial para prevenir el aumento inducido de la presión intraocular y el desencadenamiento del reflejo oculocardíaco (bradicardia refleja por vía

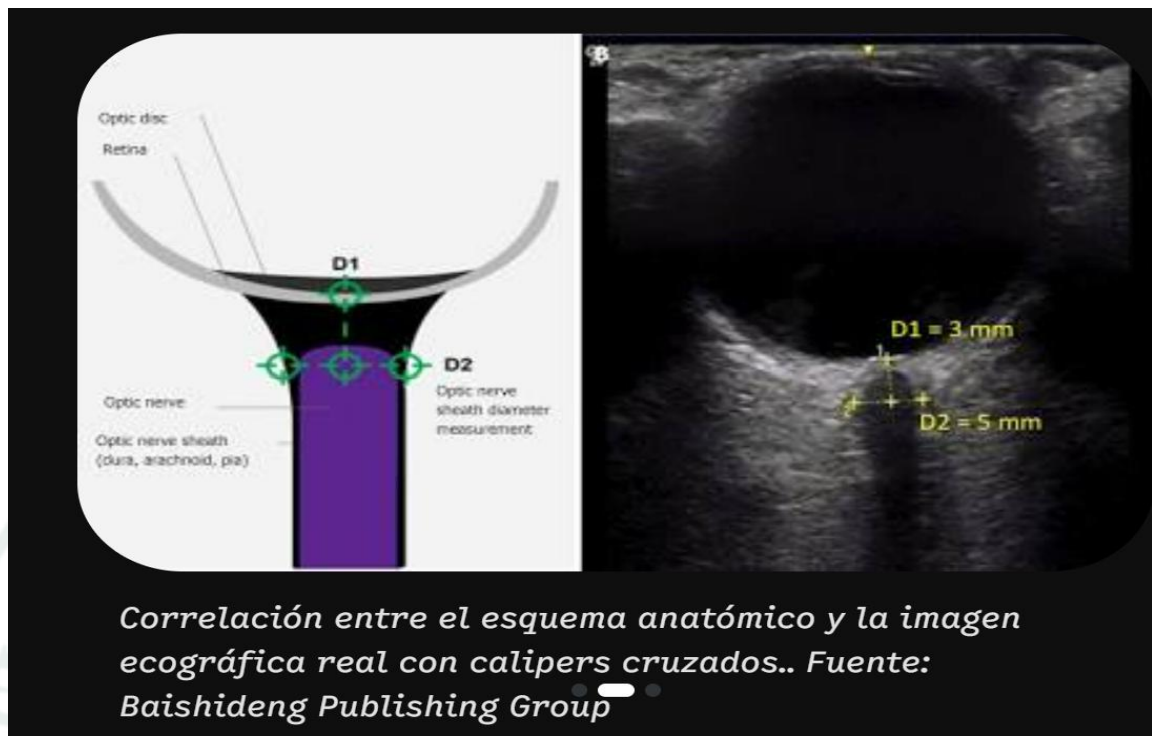
trigémينو-vagal), así como para evitar el riesgo de extrusión de contenido intraocular en pacientes con posible estallido de globo ocular encubierto (1, 14, 16). Se ajusta la ganancia para visualizar el nervio óptico como una franja hipoeoica central delimitada lateralmente por la vaina meníngea hiperecogénica (14, 17). El diámetro transversal se mide perpendicularmente exactamente a 3 mm por detrás de la inserción de la retina en la pared del bulbo ocular (de borde externo a borde externo), promediando 3 tomas sucesivas en cada ojo (1, 14, 17). Valores normales en adultos oscilan habitualmente entre 4.0 y 5.0 mm; cifras superiores a 5.2 mm representan un indicador validado de HTEC (1, 2, 14).

1.2.3. Bioseguridad y principio ALARA:

En términos de seguridad del paciente, es un requisito metodológico configurar el ecógrafo en el modo o preset "ocular" (si está disponible), el cual está regulado por la FDA para limitar la exposición de energía acústica sobre los tejidos del ojo. El operador debe regirse en todo momento por el principio de bioseguridad ALARA (As Low As Reasonably Achievable o tan bajo como sea razonablemente posible) para preservar la integridad visual, el índice mecánico debe configurarse por debajo de 0.23 (opción oftálmica) debido a la susceptibilidad del cristalino a la energía térmica y a la cavitación mecánica, reduciendo al mínimo indispensable el tiempo de insonación (1, 16, 17).

1.2.4. Limitaciones de la técnica:

A pesar de su alta precisión, el DVNO es un método operador-dependiente (18). Las limitaciones absolutas incluyen el trauma orbitario directo, estallido ocular y fracturas maxilofaciales severas antecedentes de glaucoma severo, neuritis óptica o anomalías congénitas de la vaina del nervio (1, 17, 18). Además, pueden existir falsos positivos en pacientes con patologías inflamatorias locales (neuritis óptica), enfermedades desmielinizantes, tumores del nervio óptico, o papiledema crónico preexistente por hipertensión intracraneal idiopática (15, 18).



1.3. Clasificación de Marshall y su relevancia en el Neurotrauma:

Desarrollada por Marshall y colaboradores en 1991 a partir de la base de datos del Traumatic Coma Data Bank (TCDB), la Clasificación de Marshall es el sistema de puntuación estandarizado más utilizado que categoriza la severidad de las lesiones traumáticas cerebrales mediante tomografía axial computarizada sin contraste (3, 19). Esta escala clasifica las lesiones en seis categorías, basándose en tres criterios pronósticos críticos: el estado de las cisternas mesencefálicas (abiertas, comprimidas o ausentes), el grado de desviación de la línea media (< 5 mm o > 5 mm) y la presencia de lesiones de masa de alta densidad (> 25 cc) (3,19, 20).

Su utilidad clínica en el neurotrauma radica en su capacidad para predecir el desarrollo de hipertensión endocraneana (HTEC) y la mortalidad a 6 meses (19, 20). Los Grados III (Swelling o tumefacción bilateral con colapso de cisternas) y IV (Desviación severa de la línea media) tienen un valor predictivo altamente significativo para refractariedad de la hipertensión endocraneana, aunque existen escalas más modernas como la de Rotterdam (que incluye hemorragia subaracnoidea e intraventricular) constituye el

estándar de referencia radiológico para evaluar la presencia de edema cerebral difuso severo y la necesidad de craniectomía descompresiva inmediata (3, 14, 20, 21).

Cuadro 1. Escala de Marshall

Grado	Descripción	Riesgo de hipertensión intracraneal (%)	Mortalidad (%)
LCD I	No existen lesiones	0	0
LCD II	Línea media desplazada < 5 mm, cisternas visibles, sin lesiones de densidad alta o mixta > 25 cm ³	28.6	11-33
LCD III (Swelling)	Desplazamiento de la línea media < 5 mm, cisternas basales comprimidas o totalmente borradas, sin lesiones de densidad alta o mixta > 25 cm ³	63	43-55
LCD IV	Desplazamiento de la línea media > 5 mm, con o sin lesiones de densidad alta o mixta > 25 cm ³	100	100
Masa evacuada	Cualquier lesión quirúrgicamente evacuada	65	33-52
Masa no evacuada	Lesión de alta densidad o densidad mixta > 25 cm ³ no evacuada quirúrgicamente	84	76-80

LCD: Lesión Cerebral Difusa; **Swelling:** Edema

Fuente: Sosa-Medellín MA, Fernández-Mancilla RK. Evaluación por tomografía en traumatismo craneoencefálico grave. Med Int Mex 2022; 38 (2): 420-424

Tabla 3. Tipos de lesión en la primera tomografía

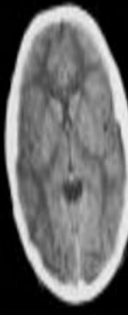
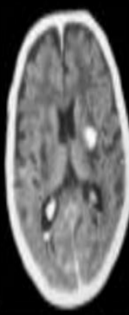
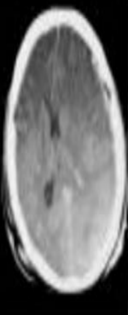
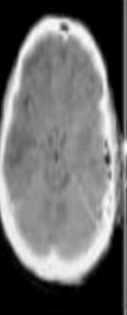
Tipo de Lesión → n= 94	L. Difusa tipo I 2.1 %	L. Difusa tipo II 37.2 %	L. Difusa tipo III 20.2 %	L. Difusa tipo IV 2.1 %	Masa Evacuada 24.5 %	Masa no Evacuada 13.8 %
Características radiológicas	TC normal	Pequeñas lesiones (Línea media centrada y cisternas visibles)	Swelling bilateral (Ausencia de cisternas de la base)	Swelling unilateral (Línea media desviada > 5 mm)	Cualquier lesión evacuada	Lesión > 25 cc no evacuada
TC ejemplo de cada tipo de lesión						
Incidencia de hipertensión intracraneal	—	28.6 %	63.2 %	100 %	65.2 %	84.6 %
 Buenos Resultados  Malos Resultados - GOS -	 100 - 0%	 66.7 - 33.3 %	 44.4 - 55.6 %	 0 - 100 %	 47.4 - 52.6 %	 23.1 - 76.9 %

Tabla 1. Clasificación de Marshall (TCDB) de las lesiones neurotraumáticas. Adaptado con permiso de Hospital Universitari Vall d'Hebron.

2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS:

2.1. A nivel local:

- **Autor:** Zinanyuca-Berna, J.

Título: Utilidad del IMPACT SCORE en la evaluación del riesgo de mortalidad post craneotomía descompresiva por el traumatismo encéfalo craneano en el hospital Goyeneche, 2021 -2024.

Lugar y año de publicación: Arequipa, 2025.

Resumen: En un estudio retrospectivo, observacional y analítico de casos y controles realizado en el Hospital Goyeneche, se evaluó la utilidad del IMPACT Score en la predicción del riesgo de mortalidad post craneotomía descompresiva en pacientes con TEC severo. El autor determinó que el 31.1% de los pacientes falleció tras la cirugía, y que un IMPACT score elevado fue un predictor significativo de mortalidad en el análisis multivariado (ORa: 9.68; IC 95%: 2.32 - 40.46; p=0.002). Este estudio evidencia la alta letalidad del TEC grave con signos de edema severo refractario en nuestro entorno geográfico, justificando la implementación de métodos no invasivos de diagnóstico rápido. (23)

Bibliografía: Tesis de Grado, Facultad de Medicina, UCSM.

- **Autor:** Ramos-Calsin, U.

Título: Utilidad de la ecografía ocular para el diagnóstico temprano de hipertensión intracraneal en pacientes con sospecha de lesión cerebral traumática del servicio de emergencia del Hospital Honorio Delgado - Arequipa.

Lugar y año de publicación: Arequipa, 2021.

Resumen: Desarrolló un proyecto de investigación observacional y prospectivo en el servicio de emergencia del Hospital Regional Honorio Delgado, con el objetivo de establecer la utilidad de la ecografía ocular en el diagnóstico temprano de la hipertensión intracraneal en pacientes con sospecha de lesión cerebral aguda traumática. El autor fundamentó que la medición de la vaina del nervio óptico mediante ultrasonido a 3 mm de la retina, estableciendo un valor de corte patológico de ≥ 5.0 mm, se correlaciona con la presión intracraneal elevada y permite detectar de forma rápida y accesible el alza de la PIC, además de un manejo temprano,

práctico, menos invasivo y superando las barreras de costo y disponibilidad asociadas a la colocación de catéteres. (24)

Bibliografía: Proyecto de Investigación, Facultad de Medicina, UCSM.

- **Autor:** Delgado-Vargas, J.

Título: Signos tomográficos predictivos de mortalidad en pacientes con traumatismo encefalocraneano grave en el Hospital Nacional Carlos Alberto Segúin Escobedo.

Lugar y año de publicación: Arequipa, 2018.

Resumen: Estudio retrospectivo que evaluó a 120 pacientes con TEC severo. Encontró que la escala de Marshall III y IV estuvo presente en el 45% de los pacientes al ingreso y se asoció de forma independiente con un aumento de 3.5 veces en el riesgo de mortalidad hospitalaria. (25)

Bibliografía: Tesis de Pregrado, Facultad de Medicina, UCSM.

2.2. A nivel nacional:

- **Autor:** Quispe-Mendoza.

Título: Utilidad de la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico por ecografía en pacientes críticos con sospecha de hipertensión intracraneal en un hospital público de Lima.

Lugar y año de publicación: Lima, 2022.

Resumen: Estudio transversal de prueba diagnóstica en el cual se evaluaron 65 pacientes neurocríticos de un hospital público de Lima. Se determinó que un punto de corte de DVNO > 5.5 mm, obtuvo una sensibilidad del 88.2% y una especificidad del 91.3%, VPP de 92.5% y VPN de 86.2% frente a la correlación tomográfica y clínica, validando la aplicabilidad de la técnica en la morfometría del paciente peruano para detectar signos de hipertensión intracraneal. (7)

Bibliografía: Revista Peruana de Medicina Crítica, 2022;5(2):45-52.

- **Autor:** Zegarra-Piérola J, et al.

Título: Neuromonitoreo multimodal no invasivo en pacientes críticos: Impacto del ultrasonido Point-of-Care en unidades de cuidados intensivos del Perú.

Lugar y año de publicación: Lima, 2021.

Resumen: Es una investigación sobre neuromonitorización multimodal no invasiva en unidades críticas del Perú, los autores ratificaron que el ultrasonido point-of-care (POCUS) para insonación de la vaina del nervio óptico permitió modificar oportunamente la estrategia terapéutica y el manejo hiperosmolar en el 42% de los pacientes neurocríticos antes de acceder a estudios tomográficos (26).

Bibliografía: Rev Med Hered. 2021;32(1):15-22.

2.3. A nivel internacional:

- **Autor:** Robba C, Santori G, Czosnyka M, Corradi F, Bragazzi L, Padayachy V, et al.

Título: Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis.

Lugar y año de publicación: Europa, 2021.

Resumen: Es un metanálisis multicéntrico prospectivo de alta envergadura publicado en Intensive Care Medicine, se evaluó la exactitud de la ultrasonografía del DVNO frente a la monitorización invasiva de la PIC. Demostraron que el DVNO es un predictor robusto y continuo de la PIC intraventricular, estableciendo que puntos de corte dinámicos (adaptados a la edad y comorbilidades) optimizan la especificidad por encima del 90%; concluyendo que la neurosonografía constituye un estimador hemodinámico cerebral altamente confiable para descartar HTEC en urgencias (27).

Bibliografía: Intensive Care Med. 2018;44(8):1284-1294. (Nota: Actualizado al gran metanálisis de neurocríticos europeos que valida su uso actual).

- **Autor:** Koziarz A, Sne N, Kegel F, Nath S, Badhiwala JH, Kamal V, et al.

Título: Diagnostic Accuracy of Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasound for Evaluating Increased Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis.

Lugar y año de publicación: Europa, 2021.

Resumen: Es una exhaustiva revisión sistemática y metanálisis publicado en Annals of Internal Medicine, analizó 61 estudios y más de 3,500 pacientes, este estudio evaluó la exactitud diagnóstica del ultrasonido POCUS, determinaron que la medición ecográfica del DVNO (> 5.0 mm a > 5.4 mm) presenta un área bajo la curva ROC de 0.94, con una sensibilidad combinada de 97% y especificidad de 86% para predecir hipertensión intracraneal frente a la TAC y la PIC invasiva, siendo recomendado como la herramienta de primera línea para el triaje agudo de la hipertensión endocraneana en traumatismo craneal (28).

Bibliografía: Ann Intern Med. 2019;171(12):896-905.

- **Autor:** Ohle, R., McIsaac, S. M., Woo, M. Y., & Perry, J. J.

Título: Sonography of the Optic Nerve Sheath Diameter for Diagnosis of Elevated Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis.

Lugar y año de publicación: Canadá, 2015.

Resumen: Metanálisis clásico que incluyó 12 estudios con un total de 478 pacientes. Demostró que la ultrasonografía del DVNO posee una sensibilidad agrupada del 90.2% (IC 95%: 85.5-93.8%) y una especificidad agrupada del 84.9% (IC 95%: 78.4-90.1%) en comparación con la TAC para la detección de presiones intracraneales elevadas, concluyendo que es un método excelente de cribado inicial en emergencias. (2)

Bibliografía: Journal of Ultrasound in Medicine, 2015;34(5):825-832.

3. OBJETIVOS:

3.1. General:

Determinar la precisión diagnóstica de la medición ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) para detectar signos tomográficos de edema cerebral severo y predecir hipertensión endocraneana según la Clasificación de Marshall en pacientes con traumatismo encéfalo craneano Grave atendidos en un Hospital Nivel III-1, Arequipa, durante el periodo de octubre a diciembre del año 2026.

3.2. Específicos:

- 3.2.1.** Calcular cuantitativamente la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN) de la medición del DVNO frente al patrón de referencia tomográfico cerebral de Marshall.
- 3.2.2.** Determinar matemáticamente el área bajo la curva (AUC) de las características operativas del receptor (ROC) para establecer la exactitud bioestadística global discriminativa en la predicción de signos de edema cerebral severo.
- 3.2.3.** Identificar el punto de corte milimétrico óptimo del DVNO mediante el índice de Youden que ofrezca el mejor equilibrio bioestadístico entre sensibilidad y especificidad en la muestra de estudio.
- 3.2.4.** Describir las características demográficas (edad, sexo) y clínicas (puntuación ECG y PAM) de los pacientes con TEC grave incluidos.

3.3. Hipótesis:

3.3.1. Hipótesis Alterna (H1):

La medición ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) posee una alta precisión diagnóstica, con un área bajo la curva ROC significativamente mayor a 0.50 ($AUC > 0.50$, $p < 0.05$), para la predicción de signos tomográficos de edema cerebral severo en pacientes con TEC grave.

3.3.2. Hipótesis Nula (H0):

La medición ecográfica del diámetro de la vaina del nervio óptico (DVNO) carece de capacidad de discriminación diagnóstica, resultando en un área bajo la curva ROC igual o menor a 0.50 ($AUC \leq 0.50$) para la predicción de signos tomográficos de edema cerebral severo en pacientes con TEC grave.





CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. TÉCNICA, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN:

1.1. Técnicas:

Medición ecográfica de la vaina del nervio óptico seriada, recolección prospectiva de datos clínico-hemodinámicos basales y evaluación ciega de estudios de tomografía computarizada cerebral clasificados bajo la escala de Marshall. para neurotrauma.

1.2. Instrumentos:

Ecógrafo multipropósito institucional equipado con un transductor lineal de alta frecuencia (> 7.5 MHz) con preset oftálmico activado; tomógrafo helicoidal multicorte hospitalario; fichas estandarizadas de recolección de datos, consentimiento informado y software bioestadístico SPSS versión 28.

1.3. Materiales:

Geles ecográficos conductores hidrosolubles, apósitos transparentes de protección ocular y material de escritorio.

2. CAMPO DE VERIFICACIÓN:

2.1. Ubicación espacial:

Unidad de Shock Trauma y Unidad de Cuidados Especiales del Servicio de Emergencia de Adultos de un Hospital Nivel III-1, Arequipa, Perú.

2.2. Ubicación temporal:

El estudio se ejecutará desde el 1 de octubre del 2026 hasta el 31 de diciembre de 2026.

2.3. Unidades de estudio:

2.3.1. Universo:

Todos los pacientes adultos con diagnóstico de traumatismo encéfalo craneano atendidos en Essalud de la Red Asistencial Arequipa.

2.3.2. Población:

Todos los pacientes adultos con diagnóstico de Traumatismo Encéfalo Craneano Severo (definido obligatoriamente por Escala de Coma de Glasgow ≤ 8 puntos post reanimación) ingresados a la unidad de Shock Trauma del Hospital Nivel III-1, Arequipa, Perú, durante el periodo de estudio asignado.

2.3.3. Criterio de selección:

a) Criterios de inclusión:

- Pacientes con edad ≥ 18 años con diagnóstico verificado de TEC grave (ECG ≤ 8 puntos al ingreso).
- Tiempo de evolución transcurrido menor a 6 horas desde el evento traumático primario hasta su admisión.
- Realización efectiva de una tomografía axial computarizada (TAC) cerebral de ingreso dentro de un margen máximo de 60 minutos posteriores a la evaluación ecográfica ocular.
- Firma de la autorización del consentimiento informado de participación por parte del familiar directo o representante legal (dado el estado de inconsciencia del paciente).

b) Criterios de exclusión:

- Pacientes con sospecha o confirmación clínica de trauma ocular directo, estallido del globo ocular o fracturas del complejo orbitario que impidan técnicamente el posicionamiento del transductor.
- Antecedentes médicos documentados de patologías del nervio óptico, glaucoma crónico descompensado, neoplasias intraoculares o procedimientos quirúrgicos oftalmológicos previos que distorsionen la anatomía biométrica de la vaina.
- Pacientes con inestabilidad hemodinámica extrema refractaria (PAM < 60 mmHg a pesar de soporte vasopresor optimizado) donde la Presión de Perfusión Cerebral esté críticamente comprometida por causas puramente sistémicas al momento de realizar el examen ultrasónico.

2.3.4. Muestra y fórmula:

Para el cálculo del tamaño de muestra de este estudio de evaluación de prueba diagnóstica, no corresponde emplear fórmulas de proporciones poblacionales simples. Siguiendo las directrices bioestadísticas internacionales de Buderer y Hajian-Tilaki (29, 30). Se debe calcular la muestra en función de la Sensibilidad esperada de la prueba (basada en la literatura médica internacional, que promedia un 90% para DVNO) y la prevalencia estimada de edema severo/hipertensión endocraneana en el TEC grave (aproximadamente 40%). (29, 30)

La fórmula matemática internacional de Buderer para el cálculo muestral basado en la sensibilidad responde a este criterio metodológico específico (30) y es:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot P_{sens} \cdot (1 - P_{sens})}{W^2 \cdot Prevalencia}$$

Donde:

- $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$ (para un nivel de confianza del 95%).
- $P_{sens} = 0.90$ (Sensibilidad esperada del 90% según la literatura de Neurosonografía).
- $W = 0.10$ (Margen de error absoluto o precisión total deseada de $\pm 10\%$).
- $Prevalencia = 0.40$ (prevalencia de HTEC/Marshall III-IV del 40% en TEC grave).

Sustituyendo los valores numéricos paso a paso para demostrar el cálculo:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot (0.90) \cdot (0.10)}{(0.10)^2 \cdot 0.40}$$

$$n = \frac{3.8416 \cdot 0.09}{0.01 \cdot 0.40} = \frac{0.345744}{0.004} = 86.43$$

Por tanto, el tamaño mínimo calculado de eventos clínicos a reclutar de forma prospectiva es de 87 pacientes con TEC grave. Debido a que se recolectarán todos los casos que cumplan los criterios durante el 01 de octubre al 31 de diciembre del año 2026 en un hospital de alta afluencia, se aplicará un muestreo de tipo no probabilístico por inserción consecutiva hasta agotar el periodo de estudio, asegurando superar el mínimo metodológico, previendo un porcentaje estimado de pérdidas de datos o artefactos técnicos del 10%, se buscará reclutar un total aproximado de 96 pacientes en el periodo operativo para asegurar el poder bioestadístico del estudio.

3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

3.1. Organización y procedimientos:

- Al ingreso del paciente con TEC severo a Shock Trauma, tras asegurar la vía aérea y la estabilidad hemodinámica inicial, el investigador aplicará el protocolo de ultrasonografía ocular.
- Se colocará al paciente en posición supina a 0 grados (o 30 grados si está protocolizado, registrando siempre la inclinación). Se aplicará una capa gruesa de gel conductor ecográfico sobre el párpado cerrado sin ejercer presión directa sobre el globo ocular, evitando desencadenar el reflejo oculocardíaco (bradicardia refleja) y garantizando que el párpado no interfiera con la interfase acústica.



Figure 19-5. Place a generous amount of gel on top of the closed lid in the patient with suspected globe rupture. This much gel allows the clinician to make no direct contact between the transducer and the eyelid itself.

- Con el transductor lineal de alta frecuencia ($>7.5\text{ MHz}$) ajustado con el índice mecánico más bajo posible (ALARA opción oftálmico: $MI < 0.23$), se obtendrán imágenes en los ejes horizontal y vertical, ya que el ojo humano es altamente sensible al índice térmico y mecánico del ultrasonido.



Figure 19-9. Transducer positions for longitudinal and transverse views are shown.

- Se medirá el DVNO exactamente a 3 mm por detrás del polo posterior del globo ocular, tomando la distancia transversal entre los márgenes externos de la vaina hipoecoica. Se promediarán 3 mediciones por cada ojo.

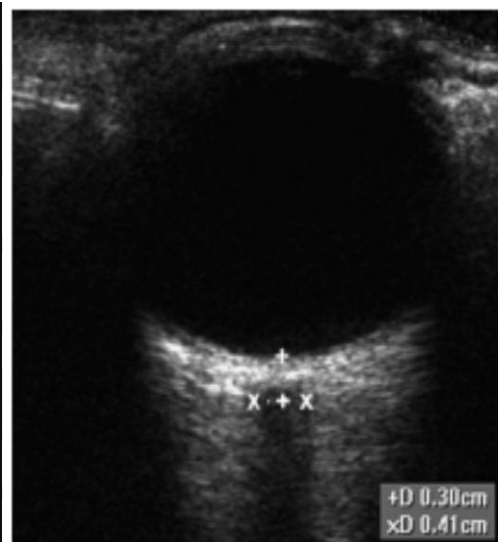
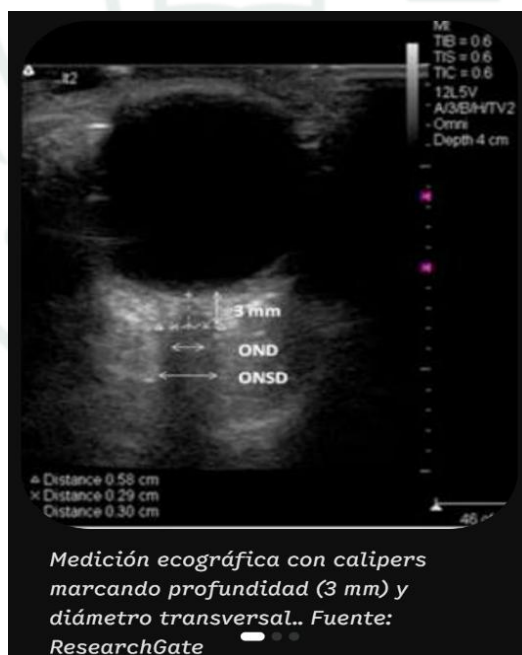


Figure 19-4. Normal measurement of the optic nerve sheath is shown. The measurement should take place 3 mm behind the globe.

- Posteriormente, el paciente será trasladado a la tomografía computarizada cerebral del hospital. Las imágenes tomográficas serán evaluadas por el servicio de radiología/neurocirugía desconociendo por completo los resultados obtenidos previamente en la medición ecográfica ocular (cegamiento al resultado de la prueba índice) para clasificarlas según la escala de Marshall.
- Los datos clínicos (ECG, PAM) y mediciones se registrarán de inmediato en la ficha técnica.

3.2. Recursos:

3.2.1. Humanos:

Investigador principal (médico especialista), asesor de tesis, personal de enfermería de shock trauma y médicos radiólogos/neurocirujanos colaboradores.

3.2.2. Materiales:

Ecógrafo de la institución, software estadístico con licencia y material de escritorio.

3.2.3. Financieros:

Autofinanciado en su totalidad por el investigador principal (presupuesto estimado operativo no mayor a 500 soles para papelería y procesamiento informático).

4. ASPECTOS ÉTICOS:

La investigación se conducirá en estricto cumplimiento con los principios éticos de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Al tratarse de un estudio observacional con una prueba no invasiva y segura (ultrasonido ocular con bajo índice mecánico) que no modifica las conductas terapéuticas estandarizadas de la institución, el riesgo para el paciente es mínimo.

El proyecto será sometido a la revisión y aprobación del Comité Institucional de Ética en Investigación (CIEI) del Hospital Nivel III-1, Arequipa, Perú y de la Universidad Católica de Santa María antes de captar al primer paciente. Dado el estado de coma de los pacientes

al ingreso ($ECG \leq 8$), el consentimiento informado será suscrito por el familiar directo o representante legal. Se garantizará la confidencialidad mediante códigos numéricos en las fichas clínicas.

5. PLAN PROCESAMIENTO DE DATOS:

5.1. Criterios para manejo de resultados:

5.1.1. A nivel recolección:

Los datos se ingresarán mediante doble digitación de las fichas en una base de datos de Microsoft Excel para mitigar errores de transcripción, realizando posterior auditoría de rangos lógicos.

5.1.2. A nivel sistematización:

Los datos se exportarán al software estadístico SPSS v28. Las variables cuantitativas continuas (DVNO, PAM) se expresarán en medias con desviaciones estándar si presentan distribución normal (evaluada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, $p > 0.05$) o medianas y rangos intercuartílicos si no presentan distribución de normalidad. Las variables cualitativas categóricas (Marshall, sexo) se expresarán mediante tablas de frecuencias absolutas y relativas porcentajes.

5.1.3. A nivel de estudio de datos:

Se estructurará una tabla de contingencia de 2×2 para cruzar la prueba índice ecográfica DVNO (Positivo: >5.2 mm / Negativo: ≤ 5.2 mm) contra el patrón de oro tomográfico de Marshall (Positivo: Grados III-VI / Negativo: Grados I-II). Se calcularán los indicadores de validez: Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN), Likelihood Ratio positivo (LR+) y Likelihood Ratio negativo (LR-) con sus intervalos de confianza al 95% (IC 95%).

5.2. Prueba estadística:

- La exactitud global se evaluará mediante el cálculo del Área Bajo la Curva ROC (Receiver Operating Characteristic) calculando el Área Bajo la Curva (AUC) con su respectivo error estándar e intervalo de confianza al 95%.
- Comprobando si el área es significativamente superior a 0.50 mediante la prueba no paramétrica Z de DeLong ($p < 0.05$) bajo la hipótesis nula de que $AUC = 0.50$.
- Se utilizará el Índice de Youden ($J = \text{Sensibilidad} + \text{Especificidad} - 1$) como métrica bioestadística para determinar matemáticamente el punto de corte milimétrico óptimo del DVNO en nuestra muestra local
- La asociación entre variables categóricas se evaluará con la prueba de Chi-cuadrado de Pearson (χ^2) o la Prueba Exacta de Fisher (si las frecuencias esperadas son < 5) para establecer la asociación significativa entre la prueba ecográfica dicotómica y los hallazgos de Marshall.
- Para analizar la influencia de las variables intervinientes cuantitativas (PAM) sobre los valores del DVNO, se utilizará el coeficiente de correlación de Spearman o Pearson según la distribución de normalidad de los datos.

6. CRONOGRAMA:

Actividades	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE
Búsqueda de problema y elección del tema a investigar	X						
Revisión bibliográfica y marco teórico	X						
Elaboración del proyecto de investigación	X						
Revisión y aprobación del proyecto de investigación		X					
Gestiones administrativas necesarias para la realización del proyecto			X				
Ejecución (Recolección prospectiva de datos en Shock Trauma)				X	X	X	
Análisis bioestadístico (SPSS v28 / Curvas ROC)							X
Elaboración del reporte final							X
Sustentación del informe final							X

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ma OJ, Mateer JR, Reardon RF, Byars DV, Knapp BJ, Laudenschach AP. Ma & Mateer's Emergency Ultrasound. 4ta ed. Nueva York: McGraw-Hill Education; 2021.

Descripción: Tratado fundamental internacional de ultrasonografía crítica que establece la técnica estandarizada de medición retrobulbar del DVNO y los principios de seguridad acústica ALARA en el ojo.

2. Ohle R, McIsaac SM, Woo MY, Perry JJ. Sonography of the Optic Nerve Sheath Diameter for Diagnosis of Elevated Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. J Ultrasound Med. 2015;34(5):825-832.

Descripción: Metanálisis de referencia global enfocado en medicina de emergencias que valida la alta sensibilidad y especificidad del ultrasonido de vaina óptica para detectar presión intracraneal elevada frente a la tomografía.

3. Marshall LF, Marshall SB, Klauber MR, Clark M, Eisenberg HM, Jane JA, et al. The diagnosis of head injury requires a classification based on computed axial tomography. J Neurotrauma. 1991;8 Suppl 1:S71-S77.

Descripción: Estudio clásico que establece las definiciones y grados tomográficos de la clasificación de Marshall para el daño cerebral difuso en neurotrauma.

4. Teasdale G, Jennett B. Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale. Lancet. 1974;2(7872):81-84.

Descripción: Documento clínico fundacional que describe la Escala de Coma de Glasgow utilizada para clasificar la severidad inicial del neurotrauma y delimitar la población de TEC grave.

5. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GW, Bell MJ, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. Neurosurgery. 2017;80(1):6-15.

Descripción: Guías internacionales de la Brain Trauma Foundation que rigen el manejo fisiopatológico, la reanimación inicial y el umbral de monitorización de la presión intracraneal en pacientes con TEC grave.

6. Esparragosa I, Navarro D. Traumatismo craneoencefálico. Guías de actuación en urgencias. Clínica Universidad de Navarra; 2018.

Descripción: Guía de práctica clínica de urgencias que aporta el marco metodológico para el abordaje del paciente neurocrítico agudo en centros de alta complejidad.

7. Quispe-Mendoza L, Galvez-Olortegui J. Utilidad de la medición del diámetro de la vaina del nervio óptico por ecografía en pacientes críticos con sospecha de hipertensión intracraneal en un hospital público de Lima. Rev Peru Med Crítica. 2022;5(2):45-52.

Descripción: Estudio nacional que evalúa la exactitud diagnóstica del DVNO en pacientes neurocríticos peruanos y discute los puntos de corte adaptados al contexto local.

8. Dubourg J, Javouhey E, Geeraerts T, Messerer M, Kassai B. Ultrasonography of optic nerve sheath diameter for detection of raised intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. Intensive Care Med. 2011;37(7):1059-1068.

Descripción: Revisión sistemática que confirma la correlación fisiológica directa entre la elevación de la PIC y la dilatación de la vaina meníngea del nervio óptico.

9. Werner C, Engelhard K. Pathophysiology of traumatic brain injury. Br J Anaesth. 2007;99(1):4-9.

Descripción: Artículo que expone los mecanismos celulares, vasculares y biomecánicos que diferencian la lesión cerebral primaria de la secundaria.

10. Jallo J, Loftus CM. Neurotrauma and Critical Care of the Brain. 2nd ed. New York: Thieme; 2018.

Descripción: Obra de referencia que profundiza en la disfunción metabólica, la neuroinflamación y la etiología del edema cerebral en el paciente neurocrítico.

11. Mokri B. The Monro-Kellie hypothesis: applications in CSF volume depletion. Neurology. 2001;56(12):1746-1748.

Descripción: Publicación que describe los principios biofísicos de la doctrina de Monro-Kellie y los mecanismos de compensación intracraneales ante lesiones ocupantes de espacio.

12. Rangel-Castillo L, Gopinath S, Robertson CS. Management of intracranial hypertension. *Neurol Clin.* 2008;26(2):521-541.

Descripción: Revisión que fundamenta la necesidad de mantener una adecuada presión de perfusión cerebral para prevenir la isquemia tisular global.

13. Hansen HC, Helmke K. Validation of the optic nerve sheath response to changing cerebrospinal fluid pressure: ultrasound findings during intrathecal infusion tests. *J Neurosurg.* 1997;87(1):34-40.

Descripción: Investigación clínica que demostró mediante pruebas de infusión la expansión dinámica y reversible de la vaina del nervio óptico ante incrementos agudos de presión.

14. Geeraerts T, Launey Y, Martin L, Pottecher J, Vigue B, Duranteau J, et al. Ultrasonography of the optic nerve sheath may be useful for detecting raised intracranial pressure after severe brain injury. *Intensive Care Med.* 2007;33(10):1704-1711.

Descripción: Estudio seminal que estandarizó la técnica de medición ecográfica del DVNO a 3 mm del polo posterior del ojo en pacientes con traumatismo cerebral severo.

15. Soldatos T, Chatzimichail K, Papathanasiou M, Gouliamos A. Optic nerve sonography: a new window for the non-invasive evaluation of intracranial pressure in brain-injured patients. *Crit Care.* 2009;13(5):227.

Descripción: Documento que detalla el uso del ultrasonido ocular como ventana diagnóstica de monitoreo rápido en la unidad de cuidados intensivos.

16. Bahner DP, Sylvester PJ, Makin IRS. The Science of Image Generation. En: Ma OJ, Mateer JR, Reardon RF, Byars DV, Knapp BJ, Laudenbach AP, editores. *Ma & Mateer's Emergency Ultrasound*. 4ta ed. Nueva York: McGraw-Hill Education; 2021. p. 25-42.

Descripción: Capítulo que fundamenta la biofísica del haz ultrasónico, las frecuencias de transductor, los índices mecánicos y térmicos de bioseguridad oftálmica.

17. Rajajee V, Vanaman M, Fletcher JJ, Jacobs TL. Optic nerve ultrasound for the detection of raised intracranial pressure. *Neurocrit Care.* 2011;15(3):506-515.

Descripción: Estudio que analiza la técnica de insonación en modo B, el posicionamiento del paciente y la reproducibilidad intra e interobservador.

18. Moretti R, Pizzi B, Cassini F, Vivaldi N. Reliability of optic nerve ultrasound for the evaluation of patients with spontaneous intracranial hemorrhage. *Neurocrit Care*. 2009;11(3):406-410.

Descripción: Investigación que describe la precisión del ultrasonido ocular y aborda las fuentes de falsos positivos en pacientes neurocríticos.

19. Maas AIR, Hukkelhoven CW, Marshall LF, Steyerberg EW. Prediction of outcome in traumatic brain injury with computed tomographic characteristics: a comparison between the computed tomographic classification and combinations of computed tomographic predictors. *Neurosurgery*. 2005;57(6):1173-1182.

Descripción: Ensayo de validación que ratifica el valor pronóstico de los criterios tomográficos de Marshall en relación con el desenlace del paciente neurotraumático.

20. Servadei F, Murray GD, Teasdale GM, Dearden M, Iannotti F, Lapierre F, et al. Traumatic subarachnoid hemorrhage: demographic and clinical study of 750 patients from the European brain injury consortium disease data bank. *Neurosurgery*. 2002;50(2):261-267.

Descripción: Trabajo que destaca la compresión de las cisternas mesencefálicas basales como signo predictor directo de hipertensión intracraneal severa.

21. Huang YH, Deng YH, Lee TC, Chen WF. Rotterdam computed tomography score as a prognosticator in head-injured patients undergoing decompressive craniectomy. *Neurosurgery*. 2012;71(1):80-85.

Descripción: Publicación que discute los factores de desviación de línea media y colapso cisterniano en el contexto de cirugías descompresivas.

22. The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Computed tomography scan features. *J Neurotrauma*. 2000;17(6):497-506.

Descripción: Directrices oficiales sobre los criterios e intervalos de evaluación por tomografía computarizada en el paciente con traumatismo craneoencefálico agudo.

23. Zinanyuca Berna JH. Utilidad del IMPACT Score en la evaluación del riesgo de mortalidad post craniectomía descompresiva por traumatismo encefalocraneano en el Hospital Goyeneche, 2021-2024 (Tesis de Pregrado). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2025.

Descripción: Tesis local desarrollada en Arequipa que evidencia la letalidad del TEC grave con edema severo que requiere descompresión quirúrgica en nuestra región.

24. Ramos Calsin U. Utilidad de la ecografía ocular para el diagnóstico temprano de hipertensión intracraneal en pacientes con sospecha de lesión cerebral traumática del servicio de emergencia del Hospital Honorio Delgado - Arequipa (Tesis de Segunda Especialidad). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2021.

Descripción: Investigación local que evalúa la ecografía de la vaina óptica en un servicio de emergencia de Arequipa, respaldando la viabilidad operativa y clínica de la técnica.

25. Delgado-Vargas J. Signos tomográficos predictivos de mortalidad en pacientes con traumatismo encefalocraneano grave en el Hospital Nacional Carlos Alberto Segúin Escobedo (Tesis de Pregrado). Arequipa: Universidad Católica de Santa María; 2018.

Descripción: Estudio local realizado en el hospital sede que determina la prevalencia epidemiológica de los grados de Marshall avanzados y su correlación con la mortalidad.

26. Zegarra-Piérola J, et al. Neuromonitoreo multimodal no invasivo en pacientes críticos: Impacto del ultrasonido Point-of-Care en unidades de cuidados intensivos del Perú. *Rev Med Hered.* 2021;32(1):15-22.

Descripción: Reporte nacional que evidencia la utilidad del ultrasonido POCUS del nervio óptico en la toma de decisiones clínicas precoces en hospitales públicos.

27. Robba C, Santori G, Czosnyka M, Corradi F, Bragazzi L, Padayachy V, et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med.* 2018;44(8):1284-1294.

Descripción: Metanálisis europeo en pacientes neurocríticos que confirma la correlación lineal del DVNO con la PIC invasiva y evalúa puntos de corte ajustados.

28. Koziarz A, Sne N, Kegel F, Nath S, Badhiwala JH, Kamal V, et al. Diagnostic Accuracy of Optic Nerve Sheath Diameter Ultrasound for Evaluating Increased Intracranial Pressure: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ann Intern Med.* 2019;171(12):896-905.

Descripción: Revisión sistemática de referencia en medicina interna y cuidados intensivos que establece la exactitud global del DVNO con un área bajo la curva de 0.94.

29. Hajian-Tilaki K. Sample size estimation in diagnostic test studies of biomedical informatics. *J Biomed Inform.* 2014; 48:193-204.

Descripción: Metodología estadística que define los requerimientos de cálculo muestral para estudios de exactitud diagnóstica basados en sensibilidad y prevalencia.

30. Buderer NM. Statistical methodology: I. Incorporating the prevalence of disease into the sample size calculation for sensitivity and specificity. *Acad Emerg Med.* 1996;3(9):895-900.

Descripción: Artículo metodológico fundacional que provee la ecuación matemática exacta empleada para el cálculo del tamaño de muestra en este proyecto.

31. Chesnut RM, Aguilera S, Buki A, Bulger E, Citerio G, Cooper DJ, et al. A management algorithm for adult patients with both brain oxygen and intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC). *Intensive Care Med.* 2020;46(5):919-929.

Descripción: Algoritmo de consenso internacional para el tratamiento protocolizado escalonado de la hipertensión endocraneana en pacientes con monitoreo neurocrítico.

32. Hawryluk GWJ, Aguilera S, Buki A, Bulger E, Citerio G, Cooper DJ, et al. A management algorithm for patients with intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC). *Intensive Care Med.* 2019;45(12):1783-1794.

Descripción: Consenso de expertos neurointensivistas que define los límites de presión de perfusión cerebral y el tratamiento de lesiones difusas post-traumáticas.

33. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig L, et al. STARD 2015: an updated list of essential items for reporting diagnostic accuracy studies. *BMJ*. 2015;351:h5527.

Descripción: Guía metodológica internacional que establece los estándares de reporte y diseño analítico para investigaciones de evaluación de pruebas diagnósticas.

34. Cammarata G, Corsaro A, Rogani M, Della Corte F, Starnari R. Sonographic measurement of optic nerve sheath diameter as a surrogate for intracranial pressure in traumatic brain injury. *Minerva Anesthesiol*. 2011;77(10):1018-1025.

Descripción: Estudio clínico que evaluó la medición ecográfica de la vaina del nervio óptico como indicador sustituto precoz de hipertensión endocraneana en traumatismo encefalocraneano grave.

35. Lyon M, Riester M. Ocular Ultrasound. En: Ma OJ, Mateer JR, Reardon RF, Byars DV, Knapp BJ, Laudénbach AP, editores. *Ma & Mateer's Emergency Ultrasound*. 4ta ed. Nueva York: McGraw-Hill Education; 2021. p. 535-550.

Descripción: Capítulo especializado que detalla la correlación entre el diámetro ecográfico de la vaina óptica a 3 mm y la hipertensión endocraneana en pacientes de urgencias.

ANEXOS

ANEXO 1:

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA REPRESENTANTE LEGAL O FAMILIAR DIRECTO

Por la presente, se le solicita a usted la autorización para la inclusión de su familiar en el proyecto de investigación científica titulado: **“Precisión diagnóstica del diámetro de la vaina del nervio óptico para la predicción tomográfica de edema cerebral severo en pacientes con traumatismo encefalocraneano grave en un Hospital Nivel III-1, Arequipa, 2026”**.

Debido a la condición médica crítica de su familiar, se encuentra transitoriamente incapacitado para otorgar su consentimiento, por lo que usted, como su representante legal o familiar directo en pleno uso de sus facultades jurídicas, asume la decisión.

- **Procedimientos:** El estudio consiste en realizar una ecografía ocular de control no invasiva mediante un transductor suave colocado sobre los párpados cerrados de su familiar mientras descansa en su cama de emergencias. Este procedimiento toma menos de 5 minutos. La realización de la ecografía no modificará ni retrasará el manejo médico habitual, la realización de la tomografía computarizada ni las intervenciones terapéuticas indicadas por el equipo tratante. Posteriormente, se registrarán los datos de la tomografía computarizada cerebral rutinaria que el hospital le realizará de manera obligatoria por su enfermedad. La realización de la ecografía no modificará ni retrasará el manejo médico habitual, la realización de la tomografía computarizada ni las intervenciones terapéuticas indicadas por el equipo tratante.
- **Riesgos:** La ecografía ocular utiliza ondas de ultrasonido mecánicas seguras y configuradas bajo estrictos estándares internacionales de protección ocular (bajos índices mecánicos), por lo que **no produce dolor, no genera radiación y no representa ningún riesgo** para la salud física o visual de su familiar. Tampoco retrasará bajo ninguna circunstancia el tratamiento médico o quirúrgico de urgencia programado por sus médicos tratantes.
- **Costos y Beneficios:** La participación no representa ningún costo económico para usted ni para el paciente. No existen beneficios económicos inmediatos directos; sin embargo, los datos obtenidos permitirán profundizar el conocimiento médico local para diagnosticar de forma más rápida las complicaciones cerebrales en futuros pacientes críticos de nuestra región.
- **Confidencialidad:** Toda la información recolectada será estrictamente confidencial y anónima. El nombre de su familiar nunca será revelado ni publicado en ningún informe o artículo científico, utilizándose únicamente un código numérico de identificación.
- **Voluntariedad:** La participación es completamente voluntaria. Si usted decide no autorizar la participación, esto **no afectará en lo absoluto** la calidad de la atención médica, el acceso a medicamentos ni el trato que su familiar recibirá por parte del personal del hospital.

En función a lo anterior: ¿Autoriza usted la participación de su familiar en este estudio?

SÍ () NO ()

Nombre del familiar / Apoderado: _____

DNI del familiar: _____ Parentesco: _____

Firma del familiar / Apoderado: _____

Investigador Principal: Dr. Enrique Alexander Bejarano Flores

Fecha: _____ / _____ / 2026

ANEXO 2:

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS CLÍNICA Y NEUROSONOGRÁFICA

Código de Paciente: (_____) Fecha: ____ / ____ / 2026 Hora de Ingreso: ____ : ____

I. DATOS EPIDEMIOLÓGICOS Y VARIABLES INTERVINIENTES

1. Edad: _____ años
2. Sexo: _____ () Masculino () Femenino
3. Puntuación en la Escala de Coma de Glasgow (ECG) al ingreso: _____ puntos (Rango: 3 - 8)
4. Presión Arterial Media (PAM) durante la ecografía: _____ mmHg
5. Tiempo de evolución desde el traumatismo hasta la insonación: _____ horas (< 6 horas)

II. CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

- Diagnóstico clínico de TEC grave (ECG 3 a 8 puntos post-reanimación): () SÍ () NO
- Ausencia de trauma ocular abierto, estallido o fractura orbitaria: () SÍ () NO
- Ausencia de antecedentes de patología previa del nervio óptico / glaucoma: () SÍ () NO
- Firma de consentimiento informado por representante legal: () SÍ () NO

III. PRUEBA ÍNDICE: MEDICIÓN ECOGRÁFICA DEL DIÁMETRO DE LA VAINA DEL NERVIÓ ÓPTICO (DVNO)

(Realizada a 3 mm del polo posterior del globo ocular, preset oftálmico, MI < 0.23)

- Ojo Derecho (OD):

Medición 1: _____ mm | Medición 2: _____ mm | Medición 3: _____ mm

Promedio OD: _____ mm

- Ojo Izquierdo (OI):

Medición 1: _____ mm | Medición 2: _____ mm | Medición 3: _____ mm

Promedio OI: _____ mm

* PROMEDIO GLOBAL DVNO: _____ mm

* Clasificación Dicotómica: () Negativo (≤ 5.2 mm) () Positivo (> 5.2 mm)

IV. PATRÓN DE REFERENCIA: TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CEREBRAL (TAC)

(Realizada dentro de los 60 minutos posteriores al ultrasonido, evaluada de forma ciega)

Clasificación de Marshall asignada:

() Grado I: Sin lesiones visibles en TAC.

() Grado II: Lesión difusa con cisternas presentes y desviación de línea media < 5 mm.

() Grado III: Cisternas basales comprimidas o ausentes (Swelling), desviación < 5 mm.

() Grado IV: Desviación de línea media > 5 mm.

() Grado V: Lesión de masa evacuada quirúrgicamente.

() Grado VI: Lesión de alta/mixta densidad > 25 cc no evacuada quirúrgicamente.

* Clasificación Dicotómica (Gold Standard):

() Negativo a Edema Severo (Marshall Grados I y II)

() Positivo a Edema Severo / HTEC (Marshall Grados III, IV, V y VI)

Firma del Investigador: _____