

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
**FACULTAD DE MEDICINA MEXICALI**  
**COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**



**“Comparación entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024”**

Trabajo terminal para obtener el diploma de especialidad en:

**ANESTESIOLOGÍA**

Presenta:

**Dr. José David Durán Morales**

Mexicali, Baja California a 16 de agosto de 2024

## **Firmas de autorización de trabajo terminal**

**Dr. Román Arturo de la Torre Valenzuela**

Director del Hospital General de Mexicali

**Dr. Diego Fernando Ovalle Marroquín**

Jefe de enseñanza e investigación

**Dr. Alejandro Sánchez Barbosa**

Jefe del servicio de anestesiología

**Dr. Verónica Avelyn León Ríos**

Profesor titular del curso de anestesiología

**Dr. Alejandro Sánchez Barbosa**

Asesor de investigación

**Dr. José David Durán Morales**

Sustentante del examen para obtener el diploma de especialidad en anestesiología

## **Agradecimientos**

A mis padres, quienes a lo largo de mi vida siempre han creído en mi, incluso más que yo mismo. Agradezco la paciencia que han tenido a lo largo de este camino, los consejos, las risas, y por siempre hacerme sentir amado y valioso.

A mis hermanos, las prolongaciones mas fieles de mi, mis mejores amigos. Gracias por siempre preguntar, entender y seguir conmigo en este camino.

A mi prima Brianda Ayala, por recorrer junto a mi este largo camino, siempre motivarme, alentarme, consolarme y sobre todo aplaudirme. Sin duda la mejor compañera de carrera que pude haber deseado.

A mis compañeros residentes de mayor jerarquía: Amairany, Aranxa, Fernando, Yvanna, Fátima, Luis Fernando, Willinton, por enseñarme a ser residente y mejor anesthesiólogo día con día. A mis compañeros de generación, gracias por el apoyo durante estos 3 años, en donde aprendimos y llegamos juntos a la meta. A mis residentes de menor jerarquía, gracias por enseñarme a ser jefe y a disfrutar del camino.

A mis adscritos de turnos, infinitamente llevaré en mi práctica diaria cada una de las enseñanzas durante estos 3 años de formación. En especial a la Dra. Terán por ayudarme con mi tesis, y por siempre motivarme a innovar con las técnicas de anestesia, enseñarme a proponer, a investigar y a resolver complicaciones. A ubicarme en mi evolución en el tiempo y por qué no, por las horas de pláticas y de risas.

A mis sinodales y asesores, Dr. Hurtado, Dr. Vela, Dr. Vázquez, Dra. León, por siempre estar a disponibilidad de enseñarme y de hacerme crecer día a día para mejorar. Llevaré presente siempre sus enseñanzas.

## **Dedicatoria**

### **Dr. Alejandro Sánchez Barbosa**

Este documento representa el esfuerzo puesto en 3 años de formación como anestesiólogo y quiero dedicártelo por muchas razones.

Gracias por abrirme una enorme puerta en este mundo, gracias por darme la oportunidad aun sin conocerme, y dejarme practicar con tus pacientes, gracias por nunca negarte al preguntarte sobre manejos, y técnicas, por siempre tener un sí a cada cosa que me propusiera. Gracias por enseñarme a ser el mejor, aprendiendo de ti. Gracias por confiar en mi, y nunca dejarme solo. No me alcanzará la vida para pagarte todas las cosas que has hecho por mí, pero creo que un gesto muy honorable es dedicarte este documento que con mucho cariño, lo inicié pensando en que sería la manera de honrarte y demostrarte que si tú ponías tu confianza en mi, valdría la pena. Gracias por todo querido Sánchez, mi mejor maestro, mi mejor mentor, y mi mejor anestesiólogo cardiovascular pediatra. Esto no termina aquí.

### **Dr. Adrián Medina Amarillas**

Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor de la disciplina, y la perseverancia, por demostrarme que cualquier esfuerzo siempre valdrá la pena, por enseñarme que alguien siempre está observando el actuar diario y que es ese mismo actuar es el que habla por ti mismo.

Gracias por apostar por mi, por abrirme las puertas en este mundo sin algún pero, sin ningún problema. Es para mi un gran ejemplo a seguir en todos los aspectos, no me cansaré de agradecer lo que ha hecho por mí, y prueba de ello es esta dedicatoria que

plasma que el esfuerzo de estos años y la oportunidad que me brindó, ha valido la pena.

## **Abreviaturas**

PVC: presión venosa central

POAP: presión de oclusión de arteria pulmonar

VCI: Vena cava inferior

PIA: presión intraabdominal

AD: aurícula derecha

Mm: milímetros

VM: ventilación mecánica

Max: máximo

Min: mínimo

MHz: MegaHertz

cm: centímetros

VVS: variabilidad de volumen sistólico

VTI: índice de tiempo de vuelo

cm<sup>3</sup>: centímetros cúbicos

NICE: Instituto Nacional de Salud y Excelencia

KDA: kilodalton

LRA: Lesión renal aguda

IECA: Inhibidor de la enzima convertidora de angiotensina

EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica

mmHg: milímetros de mercurio

## Contenido

Agradecimientos	3
Dedicatoria	4
Abreviaturas	5
Contenido	6
Índice de Tablas	8
Índice de Figuras	8
Resumen	10
1. Introducción	12
2. Marco Teórico	13
3. Antecedentes	29
4. Planteamiento del Problema	35
5. Justificación	37
6. Hipótesis y Objetivos	39
6.1. Hipótesis nula	39
6.2. Hipótesis alterna	39
6.2. Objetivo general	39
6.3. Objetivos específicos	39
7. Materiales y Métodos	41
7.1. Diseño del estudio	41
7.2. Descripción de la población	41
7.3. Cálculo del tamaño de muestra	41
7.4. Criterios de selección	42
7.4.1. Criterios de inclusión	42
7.4.2. Criterios de exclusión	43
7.4.3. Criterios de eliminación	44
7.5. Variables	46
7.5.1. Variables dependientes	46
7.5.2. Variables independientes	46
7.5.3. Operacionalización de las variables	46
7.6. Análisis estadístico	51

7.7. Aspectos éticos	48.
Resultados	51
9. Discusión	52
10. Conclusiones	52
11. Bibliografía	54
Anexos	65

Anexo A. Acta de aprobación del Comité de Ética en Investigación.

Anexo B. Formato de la Carta de Consentimiento Informado.

Anexo C. Formato de la hoja de recolección de datos.

(Se incluyen los anexos que sean necesarios)

## **Índice de Tablas**

Tabla 1. Características demográficas de los pacientes.

Tabla 2. Características anestésicas y hemodinámicas de los pacientes.

Tabla 3. Correlación entre el índice de colapsabilidad y distensibilidad con el volumen administrado por ultrasonido y correspondiente por fórmula de Holliday-Segar, y las presiones arterial media y venosa central estimada.

Tabla 4. Correlación entre el volumen administrado por ultrasonido y correspondiente por fórmula de Holliday-Segar con las presiones arterial media y venosa central estimada.

Tabla 5. Comparación del índice de colapsabilidad y de distensibilidad con una medición de hipotensión por presión arterial media  $< 65$  mm Hg.

Tabla 6. Asociación entre la respuesta a líquidos y la condición hemodinámica preanestésica.

## Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de Guyton. La intersección de las dos curvas define el punto de funcionamiento del sistema cardiovascular.

Figura 2. Relación entre flujo sanguíneo entre presión.

Figura 3. Curva de función ventricular o de Frank – Starling.

Figura 4. Ultrasonido en modo 2D en donde se observa la anatomía ultrasonográfica de la vena cava inferior y sus relaciones anatómicas.

Figura 5. A) Imagen longitudinal de la vena cava inferior vista subcostal en modo 2D. B) Medición de la variación del diámetro durante la respiración espontánea en modo movimiento, (A) que representa el diámetro máximo y (B) el diámetro mínimo.

Figura 6. Diagrama de dispersión de puntos entre el volumen administrado por ultrasonido y el volumen correspondiente por fórmula de Holliday-Segar en cada medición realizada durante el periodo transoperatorio.

Figura 7. Diagrama de dispersión de puntos entre el volumen total administrado por ultrasonido y el volumen total correspondiente por fórmula de Holiday-Segar al final de la cirugía.

## **Resumen**

### **Título**

“Comparación entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024”

### **Introducción:**

La administración de soluciones es una parte crucial del manejo quirúrgico, a cargo del anestesiólogo. En la última década, se han adoptado protocolos dirigidos por objetivos, demostrando ser más efectivos que enfoques restrictivos o liberales en el tratamiento de pacientes. Tradicionalmente, se han utilizado parámetros como la presión venosa central (PVC) y la presión de oclusión de la arteria pulmonar (POAP) para evaluar la precarga ventricular, pero estudios indican que no son altamente predictivos de la respuesta a la administración de volumen<sup>1</sup>.

Actualmente, se propone una administración de líquidos guiada por objetivos, utilizando mediciones de la vena cava inferior para evaluar colapsabilidad y distensibilidad, con el fin de mantener una normovolemia adecuada<sup>2</sup>.

### **Objetivo:**

Comparar la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024

## **Material y Métodos:**

Investigación de tipo observacional, descriptiva, prospectiva transversal.

El área de estudio corresponde al área de quirófanos del Hospital General de Mexicali. Los casos fueron reclutados en el periodo comprendido entre septiembre de 2023 a enero de 2024, se comparó el volumen administrado con ultrasonido vs el correspondiente por fórmula de Holliday Segar, además, de otros parámetros como la respuesta a líquidos después de la elevación pasiva de miembros inferiores, estimación de PVC en cada hora de procedimiento en comparación del volumen administrado.

## **Resultados:**

Después de un análisis de concordancia entre el volumen administrado por ultrasonido y el volumen correspondiente por fórmula de Holliday-Segar, por medio del coeficiente de correlación intraclase (CCI), no encontramos una concordancia entre el volumen administrado y el correspondiente por fórmula, en cada medición realizada durante el periodo transoperatorio (CCI = 0.164, P=0.124 ), sin embargo, al sumar los volúmenes totales al final de la cirugía, hubo una concordancia moderada (CCI = 0.668, P < 0.001)

## **Conclusiones:**

Hay una baja o casi nula concordancia en los volúmenes administrados por ultrasonido y correspondientes por fórmula en cada medición durante el periodo transoperatorio, pero hubo una concordancia mayor (moderada) con la suma de los volúmenes totales por cada método, por lo que no es exactamente igual, arrojándonos una P significativamente estadística, esto nos rechaza la hipótesis nula y nos dirige a apoyar a la hipótesis real y alterna de la presente investigación.

## Introducción

La administración de soluciones es una parte crucial del manejo quirúrgico, a cargo del anestesiólogo. En la última década, se han adoptado protocolos dirigidos por objetivos, demostrando ser más efectivos que enfoques restrictivos o liberales en el tratamiento de pacientes. Tradicionalmente, se han utilizado parámetros como la presión venosa central (PVC) y la presión de oclusión de la arteria pulmonar (POAP) para evaluar la precarga ventricular, pero estudios indican que no son altamente predictivos de la respuesta a la administración de volumen<sup>1</sup>.

La principal causa de falla circulatoria es el choque hipovolémico, y aunque en individuos sin comorbilidades una prueba de volumen casi siempre aumenta el volumen sistólico, en pacientes con falla circulatoria aguda, la respuesta a dicha prueba disminuye significativamente hasta marcadamente al 50%<sup>2</sup>.

Por lo tanto, en años recientes, se han desarrollado técnicas más precisas, como la ultrasonografía clínica, que permiten una mejor evaluación de la precarga y cómo evoluciona el paciente, tras la administración endovenosa de cristaloides o coloides, y esto con el beneficio de poderlo hacer en su propia cama. Este enfoque busca evitar el aporte innecesario de líquidos y sus efectos adversos, particularmente en casos de choque séptico y síndrome de distrés respiratorio agudo. Actualmente, se propone una administración de líquidos guiada por objetivos, utilizando mediciones de la vena cava inferior para evaluar colapsabilidad y distensibilidad, con el fin de mantener una normovolemia adecuada<sup>2</sup>.

## **Marco teórico**

### Vena Cava Inferior

“La vena cava inferior es un importante vaso sanguíneo que se forma en la unión de las venas ilíacas comunes a nivel de L5 y asciende por el abdomen, ingresando al tórax a través del diafragma. Recibe sangre de varias tributarias, incluidas venas frénicas, suprarrenales, renales, gonadales y lumbares. Además, la sangre del sistema digestivo fluye a través de la vena porta al hígado antes de llegar a la vena cava inferior. Su función principal es transportar sangre desde el abdomen, pelvis y miembros inferiores hacia el corazón. En casos de obstrucción, se activan circuitos colaterales que desvían la sangre hacia la vena cava superior. También puede colapsar si la presión interna es menor que la presión externa, lo que afecta su rendimiento<sup>47</sup>.”

Este colapso es resultado de la interacción en fuerza de las siguientes:

1. **La presión ejercida dentro de la Vena Cava Inferior**, que se relaciona a la presión en la aurícula derecha (AD) y la PVC, asumiendo que no hay obstrucciones.
2. **La presión intraabdominal (PIA).**

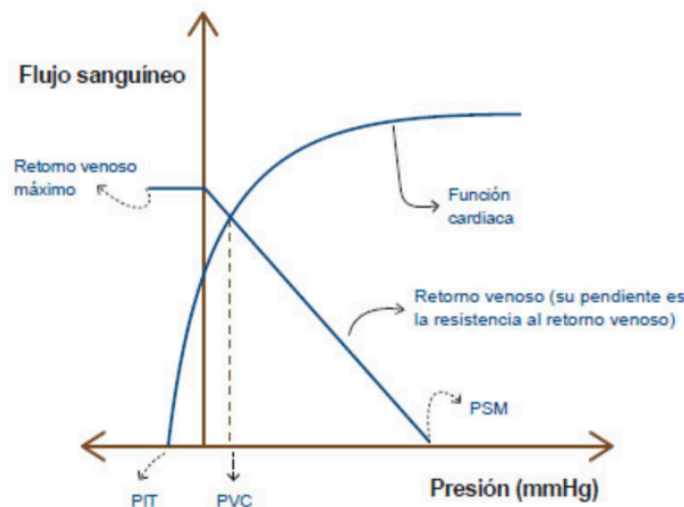
El colapso de la VCI puede ocurrir debido a una disminución de la presión interna (1), un aumento de la PIA (2), o una combinación de ambas. Para entender mejor los factores que contribuyen al colapso de la VCI durante la ventilación espontánea, se pueden destacar cuatro aspectos fundamentales:

1. El descenso en la presión dentro del tórax a la inspiración.
2. El aumento de la presión dentro del abdomen a la inspiración.
3. Los cambios cardiovasculares que ocurren para determinar la presión dentro de la VCI (el retorno venoso y cambios en la actividad cardíaca).
4. La técnica respiratoria del paciente, como una respiración diafragmática en comparación con una respiración torácica.

Durante la inspiración espontánea, la presión dentro de la vena cava inferior (VCI) disminuye debido a la naturaleza complaciente de la aurícula derecha (AD), lo que provoca que su presión interna caiga junto con la presión pleural. Esta disminución de la presión venosa central (PVC) se transmite a la VCI y depende de tres variables interrelacionadas: la caída en la presión pleural, la función del retorno venoso y la función cardíaca.

La presión dentro de la aurícula en la fase de inspiración se ve influenciada por tres factores: el primero es la presión pleural, que disminuye la presión venosa central (PVC); el segundo es el retorno venoso que aumenta la PVC por traer a la parte superior la sangre; y tercera, la función del corazón, que puede bajar la PVC al expulsar sangre del tórax. Esta interacción compleja se ilustra de manera efectiva en el diagrama de Guyton, que muestra la relación entre el retorno venoso y la función del corazón.

**Figura 1. Diagrama de Guyton. La intersección de las dos curvas define el punto de funcionamiento del sistema cardiovascular.**



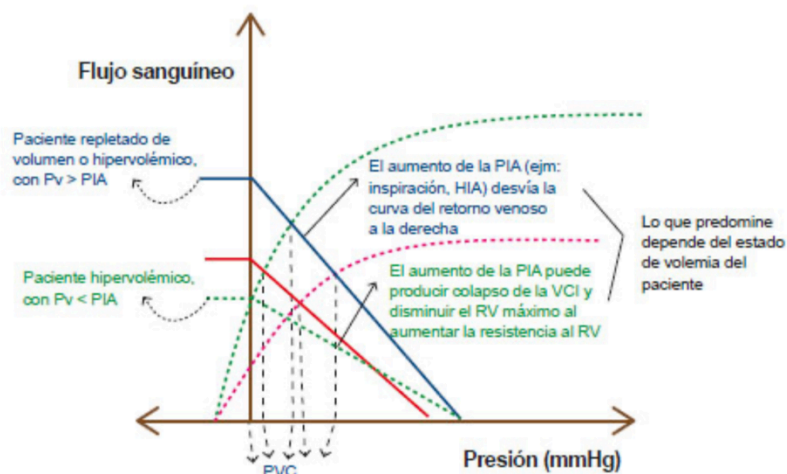
La presión venosa central (PVC) es la que se ve afectada por la caída de la presión pleural, lo que desplaza la curva de la función cardíaca hacia la izquierda en relación con la curva del retorno venoso. A pesar de la impresión común, esta caída inspiratoria en los valores de PVC no proporciona información acerca del estado de volumen del paciente (si es euvolémico o no) ni sobre la respuesta al volumen (si aumentará su gasto cardíaco con líquidos). Esto se debe a que la presión venosa central, resulta de

la dinámica entre el retorno venoso y la función del corazón, ambos influenciados por múltiples factores fisiológicos.

La presión intraabdominal (PIA) influye en la presión abdominal y puede afectar el colapso de la vena cava inferior (VCI). Cuando la presión venosa central (PVC) cae por debajo de la PIA, se produce el colapso inspiratorio de la VCI. Esto puede ocurrir en ausencia de presurización patológica del abdomen, como la provocada por PEEP, auto-PEEP o ascitis, y sin respiración forzada. En tales casos, el colapso de la VCI indica una PVC baja. El clínico debe considerar que una PVC baja puede tener diversas causas, que deben ser evaluadas adecuadamente bajo los siguientes preceptos:

- Bajo volumen circulante.
- Dificultad del sistema cardiovascular para aumentar el retorno a la AD.
- Pacientes que usen venodilatadores, o que estén en estado de sepsis.
- Alteración dinámica del sistema cardiovascular, que produzca un aumento del sistema nervioso simpático.

Por lo anterior puede presentarse un paciente que presente resistencia a la administración de fluidos, pero que tenga una buena colapsabilidad bajo los siguientes preceptos:



**Figura 2. Relación entre flujo sanguíneo entre presión.**

Existen varias situaciones que pueden contribuir al colapso de la vena cava inferior (VCI) y afectar la presión venosa central (PVC):

1. Inspiración aumentada del paciente.
2. La presión intraabdominal (PIA) que está elevada con anormalidad, como en casos de ascitis o casos que produzcan un aumento de la presión abdominal.

Esto puede suceder en pacientes con bajo retorno venoso y función cardíaca deteriorada, como en casos de cirrosis, sepsis, insuficiencia suprarrenal o uso de medicamentos venodilatadores, junto con una mala función cardíaca (por ejemplo, cardiomiopatía relacionada con el alcohol).

En este contexto, la curva de retorno venoso se puede representar de diferentes maneras: la curva de color rojo hace referencia a un paciente catalogado como "normal"; la curva azul indica lo que sucedería con un aumento de la PIA; y la curva punteada verde señala lo que ocurriría con el colapso de la VCI debido a una PIA alta. La curva de función cardíaca punteada verde representa un paciente "normal", mientras que la curva punteada morada indica a un paciente con función cardíaca deprimida. Este análisis resalta cómo la PVC puede modificarse por diferentes factores, no solo por cambios en la volemia<sup>4</sup>.

Un determinante crucial que a menudo se pasa por alto en la evaluación del retorno venoso es la presión intratorácica positiva, que puede ser resultante de intervención médica (invasiva o no invasiva) o patológica, como en el caso del autoPEEP. La presión ejercida en la parte superior del abdomen durante la respiración puede facilitar la colapsabilidad en la VCI durante la inspiración. Esto puede llevar a interpretar el colapso de la VCI como un "falso positivo" en pacientes que no respondan a la administración de líquidos, lo que resalta la importancia de considerar la presión intratorácica al evaluar la hemodinámica de estos pacientes<sup>5</sup>.

La vena cava inferior (VCI) es una estructura dinámica cuyo diámetro cambia con las variaciones de presión intravascular e intratorácica. Durante la inspiración, la VCI colapsa debido a la presión negativa generada por la expansión del tórax. En pacientes sanos que respiran espontáneamente, el diámetro de la VCI puede colapsar hasta un 50%. Este diámetro está altamente correlacionado con la actividad del corazón derecho y no se ve alterado por la vasoconstricción como mecanismo de compensación que ocurre ante la caída de la volemia. Por lo tanto, la VCI refleja con mayor precisión el estado de la volemia en comparación con otros parámetros, como la presión arterial o el diámetro de la aorta<sup>6</sup>.

Aunque es necesario establecer criterios unificados, los puntos de corte aceptados para el diámetro de la vena cava inferior (VCI) en individuos sanos son de 0 a 14 mm durante la inspiración y de 15 a 20 mm durante la espiración en reposo. Las variaciones en el diámetro de la VCI durante la inspiración se deben al aumento de la presión negativa intratorácica, que genera una presión negativa intraluminal y favorece el retorno venoso al corazón. Esto resulta en una disminución del calibre de la VCI durante la inspiración, mientras que en espiración, su diámetro es mayor<sup>2</sup>.

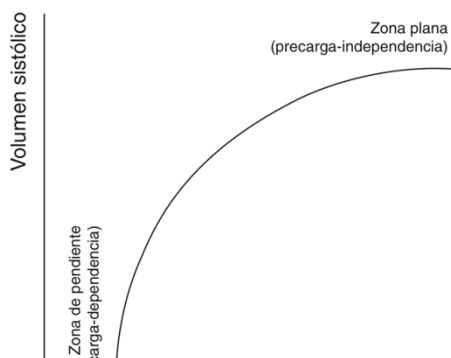
La variabilidad respiratoria de la vena cava inferior (VCI) se calcula como la diferencia porcentual entre el diámetro máximo (inspiratorio) y el mínimo (espiratorio) de la VCI, dividido por el diámetro máximo inicial inspiratorio, en pacientes ventilados y hemodinámicamente inestables. Se considera que un cambio del 12% o más es significativo. Los pacientes que presenten esta variabilidad del 12% o superior son más propensos a responder favorablemente a la administración de volumen. Este método ha mostrado una sensibilidad del 90% y una especificidad del 100%, lo que lo convierte en una herramienta útil en la evaluación hemodinámica<sup>6</sup>.

La precarga es uno de los determinantes principales del gasto cardíaco, junto con la poscarga, contractilidad, distensibilidad e interdependencia ventricular. Sin embargo, en la práctica clínica, la precarga a menudo se evalúa a través de medidas más

accesibles, como las presiones intracavitarias o los volúmenes telediastólicos, que reflejan el llenado ventricular<sup>2</sup>.

Según la ley de Frank-Starling, existe una relación positiva entre la precarga y el volumen sistólico: cuanto mayor es la precarga ventricular, mayor es el volumen sistólico debido al estiramiento de las fibras miocárdicas. Sin embargo, esta relación no es lineal, sino curvilínea. Una vez que se alcanza un valor específico de precarga, aumentos adicionales no generan un incremento significativo en el volumen sistólico y, en cambio, pueden tener efectos perjudiciales para el paciente. Este comportamiento se representa gráficamente mediante la curva de Frank-Starling o curva de función ventricular<sup>2</sup>.

La curva de Frank-Starling se divide en dos zonas: una pendiente, donde cambios mínimos en la precarga producen un aumento significativo en el volumen sistólico (zona de precarga-dependencia), y otra plana, donde el volumen de eyección varía poco con modificaciones en la precarga (zona de precarga-independencia). Para lograr un aumento en el volumen sistólico izquierdo, es necesario que ambos ventrículos se encuentren en la zona pendiente de la curva. De lo contrario, intervenciones terapéuticas destinadas a incrementar la precarga, como la administración de fluidos, solo resultarán en un aumento de las presiones intracardíacas sin generar beneficios hemodinámicos<sup>2</sup>.



**Figura 3. Curva de función ventricular o de Frank – Starling.**

Durante la última década, las consideraciones sobre la relación entre la precarga y el volumen sistólico no se habían tomado en cuenta adecuadamente, lo que ha contribuido a un aumento en la morbilidad en el postoperatorio. La administración excesiva de líquidos puede conducir a un incremento en la hemorragia intraoperatoria, exacerbando la dilución de plaquetas y factores de coagulación, que son causas principales de hemorragia por coagulopatía. Esto destaca la importancia de un manejo cuidadoso y dirigido de los líquidos durante el perioperatorio para evitar complicaciones<sup>2</sup>.

Vena Cava Inferior como parámetro estático: La presión venosa central (PVC) se puede evaluar midiendo el diámetro de la vena cava inferior (VCI) mediante ecocardiografía transtorácica al final de la espiración. En pacientes en ventilación mecánica (VM), la correlación entre el tamaño de la VCI y la PVC es baja. Sin embargo, un diámetro de la VCI menor de 10 mm puede indicar una respuesta positiva a la infusión de líquidos, mientras que un diámetro mayor de 20 mm suele excluir una respuesta a fluidos.

Vena Cava Inferior como parámetro dinámico: Los cambios en el diámetro de la VCI durante la VM pueden utilizarse para predecir la respuesta a fluidos. En la evaluación con modo M en una vista subcostal longitudinal, la VCI se dilata durante la inspiración (diámetro máximo) y se reduce durante la espiración (diámetro mínimo) en un paciente sin esfuerzo inspiratorio espontáneo. El índice de distensibilidad de la VCI puede predecir la respuesta a fluidos, con valores de corte propuestos del 12% (usando max-min/valor medio) y 18% (usando max-min/min). Para garantizar la validez de estas mediciones, todos los pacientes deben estar en VM, con una interacción pasiva con el ventilador y sin respiración espontánea durante la evaluación<sup>5</sup>.

El glicocálix endotelial es una estructura difusa que recubre el endotelio vascular, constituido por proteoglicanos, glucosaminoglicanos y glicoproteínas. Desempeña funciones esenciales tales como la función de no extravasación de líquidos y sustancias, transducir fuerzas mecánicas y participar en las cascadas de fibrinólisis y

coagulación. También actúa como una barrera contra la adhesión de leucocitos, plaquetas y patógenos.

Diversos factores pueden dañar el glicocálix, incluyendo el aumento de las fuerzas de tensión, la presencia de especies reactivas de oxígeno, y elevaciones en sustancias plasmáticas como sodio (hipernatremia), glucosa (hiperglicemia) y colesterol (hipercolesterolemia), así como moléculas proinflamatorias. El daño al glicocálix puede llevar a disfunción endotelial, que se manifiesta como aumento de la permeabilidad vascular, migración de lípidos al endotelio, activación intermitente de la cascada de coagulación, y mayor adhesión plaquetaria y de leucocitos al endotelio.<sup>3</sup>

Los proteoglicanos, sintetizados en células endoteliales, son componentes clave del glicocálix incluyen sindecanos (1, 2 y 4), glicopirano 1 y perlecano. Estas moléculas consisten en cadenas proteicas que poseen un dominio citoplasmático que sostiene el glicocálix y otro dominio externo donde se anclan los glucosaminoglicanos. El ácido hialurónico es un componente abundante en la parte superior del glicocálix.

La fracción luminal del glicocálix en contacto directo con la sangre contiene proteínas plasmáticas, como la albúmina, así como GAG y proteoglicanos de origen plasmático. Es importante destacar que el glicocálix funciona dinámicamente, cuya composición y función dependen de la interacción de sus componentes y del microambiente vascular.<sup>3</sup>

El glicocálix endotelial juega un papel fundamental en la protección y homeostasis del endotelio a través de diversas funciones clave:

1. Protección contra fuerzas mecánicas: Resguarda al endotelio de fuerzas de cizallamiento y regula la permeabilidad al agua y macromoléculas, previniendo la adhesión plaquetaria y la trombosis.
2. Transducción de fuerzas mecánicas: Regula las fuerzas mecánicas generadas en el torrente sanguíneo. Las fuerzas de tensión inducen la liberación de óxido nítrico (NO), pero el glicocálix puede degradar el NO, protegiendo así el

endotelio. Además, las fuerzas de tensión normales estimulan la síntesis de hialuronano y GAG sulfatados.

3. Regulación de la permeabilidad: Previene el edema y controla la filtración de proteínas. Aumentos de sodio (Na) pueden disminuir el grosor del glicocálix, aumentando la rigidez vascular y reduciendo la síntesis de NO, lo que puede relacionarse con la hipertensión arterial. En el riñón, es la primera barrera que determina la selectividad del filtrado glomerular.
4. Adhesión de leucocitos e inflamación: Las lesiones en el glicocálix incrementan la adhesión de leucocitos. El ácido hialurónico está involucrado en la interacción de los neutrófilos con el contrarreceptor CD44.
5. Coagulación: La lesión del glicocálix aumenta la adhesión plaquetaria y expone heparán sulfato, que induce un efecto anticoagulante. El dermatán sulfato inactiva la trombina, deteniendo la cascada de coagulación.

La disfunción endotelial se caracteriza por la pérdida de estas funciones fisiológicas, afectando las capacidades vasodilatadores, antioxidantes y de regulación de la coagulación. Esto puede resultar en consecuencias clínicas significativas, como, un síndrome coronario agudo, evento vascular cerebral, falla del corazón como bomba, incluso en disfunción eréctil. Las características que contribuyen a la disfunción endotelial incluyen la pérdida de fuerzas mecánicas de tensión, especies reactivas de oxígeno, hipernatremia, hipercolesterolemia, etc.

En la enfermedad coronaria, la falla endotelial está relacionada directamente a a que tan grande sea la placa ateromatosa, a cuantos vasos hay afectación y al grado de estenosis arterial. Además, el aumento del especies reactivas libres de oxígeno, desempeña un papel importante en la disfunción endotelial, que es característica de condiciones como la diabetes mellitus y las enfermedades cardiovasculares. Estas patologías subyacentes son comunes en pacientes con fracturas de miembros pélvicos, especialmente en individuos de edad avanzada, lo que destaca la relación entre la salud cardiovascular y la fragilidad ósea en esta población<sup>3</sup>.

El mal manejo de líquidos durante el período transanestésico tiene consecuencias biológicas significativas sobre el glicocálix, que se manifiestan de la siguiente manera:

1. Edema pericapilar: Se produce un aumento en la acumulación de líquido alrededor de los capilares.
2. Incremento de la permeabilidad a macromoléculas: El glicocálix se vuelve más permeable, permitiendo el paso de moléculas de gran tamaño.
3. Aumento del hematocrito capilar: Se eleva la concentración de glóbulos rojos en los capilares debido a la alteración del equilibrio de líquidos.
4. Disfunción endotelial: Se deterioran las funciones normales del endotelio, afectando su capacidad de regulación.
5. Disminución en la liberación de óxido nítrico: La respuesta endotelial a las fuerzas de tensión se ve comprometida, lo que reduce la producción de NO, un importante vasodilatador.
6. Adhesión de leucocitos y plaquetas: Hay un aumento en la adhesión de estas células al endotelio, lo cual puede desencadenar procesos inflamatorios y trombóticos.
7. Activación de la coagulación plasmática: Se activa la cascada de coagulación, lo que puede llevar a complicaciones trombóticas.

Estas alteraciones afectan gravemente la homeostasis vascular y pueden resultar en complicaciones en el contexto quirúrgico y anestésico<sup>3</sup>.

La protección del glicocálix ha emergido como un objetivo terapéutico relevante en la medicina moderna. Las estrategias establecidas, como el control de la glucosa en sangre y el uso de corticosteroides, son fundamentales para mantener la integridad del glicocálix. Además, varias terapias experimentales han mostrado resultados prometedores en la preservación de su función.

1. Inhibición de citoquinas proinflamatorias: Inhibidores como el etanercept, que bloquea el factor de necrosis tumoral (TNF- $\alpha$ ), y la antitrombina III (ATIII), que

inhibe la activación del factor nuclear kB, son efectivos para reducir el daño inflamatorio y proteger el glicocálix endotelial.

2. Estatinas: Estas sustancias pueden proteger el glicocálix al combatir la lesión endotelial inducida por radicales libres y reducir reactivos inflamatorios. Sin embargo, la evidencia para su uso es limitada, especialmente en pacientes sin tratamiento previo con estatinas y con enfermedad renal crónica.
3. Sevoflurano: Este anestésico se ha demostrado efectivo para proteger el glicocálix al disminuir la degradación a través de mecanismos de preacondicionamiento y postacondicionamiento, particularmente al reducir la liberación de catepsina B liposomal.
4. Neferina: Este alcaloide vegetal muestra un potencial prometedor, ya que suprime la producción de ROS mitocondriales, contribuyendo así a la protección al glicocálix.
5. Sulodexida: Esta mezcla de glicoproteínas, que incluye heparina de bajo peso molecular y sulfato de dermatán, ha demostrado eficacia en la regeneración del glicocálix, especialmente en situaciones de sepsis.
6. Marcadores de degradación del glicocálix: Se han identificado varios marcadores, como sindecano-1, sulfatos de heparán, heparanasa, endocano, ácido hialurónico, condroitina y angiopoyetinas, que pueden servir como indicadores de daño al glicocálix y herramientas diagnósticas para evaluar disfunciones endoteliales y la gravedad de la sepsis.

Este enfoque multidimensional para la protección del glicocálix tiene importantes implicaciones en el manejo de condiciones médicas, especialmente aquellas vinculadas a la disfunción endotelial y procesos inflamatorios<sup>3</sup>.

Evaluación de la vena cava inferior

Descripción de la Técnica:

Para la evaluación de la vena cava inferior (VCI), se recomienda utilizar un transductor sectorial, que tiene una superficie de contacto pequeña y opera a baja frecuencia,

generalmente en rangos de 2-5 MHz. Es preferible seleccionar el modo bidimensional (2D) en la máquina de ultrasonografía y utilizar el perfil cardiológico si está disponible.

Procedimiento:

Posicionamiento del Paciente: El paciente debe estar en decúbito dorsal (acostado sobre su espalda).

Localización de la Ventana Acústica: Se identificará la ventana acústica subxifoidea o subcostal, colocando el transductor justo debajo del apéndice xifoides, ligeramente hacia la derecha.

Orientación del Transductor: El transductor debe ser dirigido hacia el hombro izquierdo del paciente en un ángulo de aproximadamente 15 grados. La marca del transductor debe estar posicionada hacia la izquierda del paciente, girando en sentido horario entre las posiciones de las 2 y 3 horas.

Profundidad de Imágenes: Ajustar la profundidad del ultrasonido a 16-20 cm o más, según sea necesario, para localizar adecuadamente el corazón.

Giro del Transductor: Después de posicionar el transductor, se realizará un giro continuo en sentido antihorario desde las posiciones de las 3 a las 12 horas y un ligero desplazamiento hacia la izquierda.

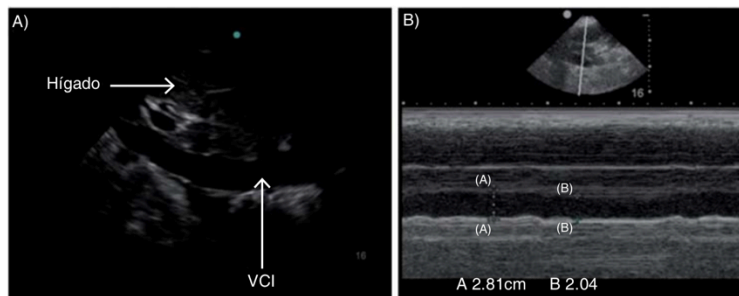
Visualización: Al realizar estos movimientos y ajustes, se podrá visualizar la vena cava inferior en su trayecto a través del hígado, en el sitio donde se une al atrio derecho, además de observar la glándula hepática y la vena hepática.

Este enfoque permite obtener imágenes claras y precisas de la VCI, esenciales para evaluar su tamaño y función, lo cual es crucial en el contexto clínico (Figura 4) <sup>2</sup>.

**Figura 4. Ultrasonido en modo 2D en donde se observa la anatomía ultrasonográfica de la vena cava inferior y sus relaciones anatómicas.**



Una vez localizada la vena cava deberá realizarse la medición en modo M (mono-dimensional) a 2 cm distal de su unión con el atrio derecho, incluso las guías americanas de ecocardiografía recomiendan su medición perpendicular al eje largo, justo proximal a la unión de la vena hepática, que es aproximadamente de 0.5 a 3 cm de la aurícula derecha. Deberán realizarse medidas del diámetro máximo de un ciclo respiratorio en inspiración y espiración (Figura 5) <sup>2</sup>.



**Figura 5. A) Imagen longitudinal de la vena cava inferior vista subcostal en modo 2D. B) Medición de la variación del diámetro durante la respiración espontánea en modo movimiento, (A) que representa el diámetro máximo y (B) el diámetro mínimo.**

Existen numerosos estudios en los que se ha estudiado la relación del índice de colapso y distensión de la vena cava inferior, con la presión de la aurícula derecha, y han quedado asentadas en el esquema que fue publicado por la Asociación Americana de Ecocardiografía (Cuadro I).

**Cuadro I. Estimación de la presión de la aurícula derecha con base en el diámetro y colapso de la vena cava inferior**

Variable	Normal (0-5) 3 mmHg	Intermedio (5-10) 8 mmHg	Alto (10-20) 15 mmHg
Diámetro VCI	< 2.1 cm	< 2.1 – > 2.1 cm	> 2.1 cm
Colapso (respiración)	> 50%	< 50 – > 50%	< 50%
Presión elevada AD		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricción de llenado</li> <li>• Tricúspide E/E' &gt; 6</li> <li>• Flujo diastólico predominante en venas hepáticas (fracción</li> </ul>	

Durante la fase inspiratoria de la ventilación mecánica, el aumento de la presión pleural se transmite hacia la aurícula derecha, lo que reduce el retorno venoso y provoca la dilatación de la vena cava inferior (VCI). Por el contrario, en la fase de espiración, la reducción de la presión intratorácica favorece el retorno venoso y disminuye el diámetro de la VCI. Estas variaciones en el diámetro de la VCI son más pronunciadas en pacientes hipovolémicos, mientras que en aquellos hipervolémicos la distensibilidad de la VCI puede estar disminuida.

Es crucial tener en cuenta que en pacientes sometidos a ventilación mecánica, especialmente en aquellos con presiones de meseta superiores a 27 cmH<sub>2</sub>O, puede desarrollarse cor pulmonale agudo, complicando la evaluación de su estado hemodinámico y dificultando la determinación de su posición en la curva de Frank-Starling. Además, pacientes con falla ventricular aguda derecha pueden manifestar signos que imitan la hipovolemia, sin beneficiarse del aporte de volumen e incluso sufriendo un deterioro con su administración.

Por lo tanto, es fundamental utilizar toda la información hemodinámica disponible y considerar otros parámetros dinámicos para evaluar la respuesta al volumen, tales como la variabilidad de volumen sistólico (VVS), la velocidad máxima de flujo aórtico y el índice de tiempo de vuelo (VTI), entre otros. Esto ayudará a prevenir complicaciones y a guiar de manera efectiva el manejo de fluidos en estos pacientes<sup>2</sup>.

En pacientes bajo ventilación mecánica, se ha demostrado que el índice de colapsabilidad de la vena cava inferior, es útil para predecir la respuesta al volumen administrado. Sin embargo, los valores de colapsabilidad pueden verse afectados por disfunción aguda del ventrículo derecho y condiciones que aumenten las presiones en el corazón derecho, por ejemplo en taponade cardiaco, el neumotórax a tensión, un incremento en la presión intrabdominal y un aumento del PEEP, Actualmente, no se ha definido un valor de PEEP, que limite la evaluación del índice de colapsabilidad.<sup>2</sup>

Dos estudios clave han evaluado la ultrasonografía de la vena cava inferior (VCI) para determinar la respuesta al volumen en pacientes bajo ventilación mecánica sin algún

tipo de esfuerzo en la respiración. El estudio de Barbier y colaboradores midió el índice de distensibilidad utilizando el diámetro máximo y mínimo de la VCI, ubicado justo distal a la vena hepática. Este índice se calculó con la fórmula:  $(\text{Diámetro máximo} - \text{diámetro mínimo}) \times 100 / \text{diámetro mínimo}$ . Definieron un punto de corte del 18% para clasificar a los pacientes como respondedores al volumen, reportando una sensibilidad y especificidad del 90%.

En pacientes con ventilación espontánea, se ha encontrado una relación entre el diámetro máximo de la vena cava inferior (VCI) y la presión venosa central, así como la hipovolemia. Muller introdujo un índice de colapsabilidad de la VCI, que se calcula con la fórmula:  $(\text{Diámetro máximo} - \text{diámetro mínimo}) / \text{Diámetro máximo} \times 100$ , estableciendo un punto de corte del 40%, con una sensibilidad del 70% y una especificidad del 80%. Asimismo, se han evaluado maniobras como la elevación pasiva de las piernas, que pueden aumentar el retorno venoso a la aurícula derecha y, por lo tanto, modificar el gasto cardíaco en pacientes que responden al volumen. Monnet y Lamia reportaron una sensibilidad del 93% y una especificidad del 94% para detectar cambios en el flujo máximo aórtico y en el gasto cardíaco con esta maniobra, destacando su importancia en la evaluación de la VCI en estos pacientes.<sup>2</sup>

## **Antecedentes**

La administración de fluidos intravenosos es necesaria cuando las necesidades de líquidos o electrolitos no pueden satisfacerse por vía oral o enteral, o como medio para administrar medicamentos. Según las pautas del Instituto Nacional de Salud y Excelencia en la Atención (NICE), deben considerarse las 5 R al prescribir líquidos intravenosos: Reanimación, Mantenimiento de rutina, Reemplazo, Redistribución y Reevaluación. Esto justifica una reducción temprana en la administración de líquidos.

Los cristaloides son soluciones que contienen iones inorgánicos y pequeñas moléculas orgánicas en agua y se clasifican según su tonicidad en soluciones isotónicas, hipotónicas o hipertónicas. Sin embargo, la administración excesiva de cristaloides ácidos, como la solución salina normal que tiene una concentración de cloruro de 153 mmol/L, puede provocar acidosis metabólica hiperclorémica, así como dañar el glicocálix endotelial, llevar a lesión renal aguda y deteriorar las funciones de coagulación.

La rápida infusión de NS puede inducir una actividad excesiva de plasmina y autoheparinización debido a la eliminación del glicocálix endotelial, resultando en una coagulopatía difusa, especialmente en situaciones de traumatismo o sepsis. Esto destaca la importancia de una administración cuidadosa y controlada de líquidos intravenosos en el manejo clínico<sup>7</sup>.

Los cristaloides balanceados, como el Ringer lactato y Plasmalyte, son considerados más fisiológicos debido a su composición similar al plasma humano. Estas soluciones son compatibles con la capa endotelial del glicocálix, lo cual puede contribuir a la preservación de su integridad.

Importantes ensayos clínicos aleatorizados, como **SMART** y **SALTED**, han demostrado que en pacientes tanto críticos como no críticos, la incidencia de eventos renales adversos, como la lesión renal aguda y la necesidad de terapia de reemplazo renal, es menor al utilizar soluciones salinas balanceadas con bajo contenido de cloruro (<110 mmol/L) en comparación con la solución salina normal.

Sin embargo, es crucial señalar que los cristaloides balanceados son hipotónicos en relación con el líquido extracelular, lo que puede estar asociado con alcalosis metabólica. Por lo tanto, aunque estos cristaloides son más seguros en múltiples aspectos, no están exentos de riesgos, y su uso debe ser evaluado cuidadosamente en el contexto clínico<sup>7</sup>.

El daño a la capa endotelial del glicocálix altera la distribución de soluciones salinas equilibradas, lo que puede contribuir al edema intersticial. Se anticipa que los coloides, por su gran tamaño molecular, permanezcan en el espacio intravascular durante más tiempo, lo que resulta en un aumento de la presión oncótica<sup>7</sup>.

Los coloides más comúnmente utilizados son naturales (como la albúmina) o artificiales (como gelatina, dextrano e hidroxietilalmidón). La albúmina, aunque tiene un tamaño molecular relativamente bajo (67 kDa), forma parte de la fracción soluble de la capa endotelial del glicocálix<sup>7</sup>.

Se ha demostrado que la hipoalbuminemia incrementa el daño a la capa endotelial del glicocálix, especialmente en casos de traumatismos y sepsis, además de causar una mayor fuga de albúmina al espacio intersticial en comparación con pacientes que presentan niveles normales de albúmina. La administración de albúmina al 5% ayuda a mantener la integridad del glicocálix y se recomienda como un tratamiento inicial en casos de traumatismo, excepto en el contexto de lesiones cerebrales traumáticas<sup>7</sup>.

La administración de coloides artificiales o semisintéticos se ha asociado con un aumento en la incidencia de reacciones anafilactoides, coagulopatía y lesión renal aguda. Aunque se creía que el hidroxietilalmidón al 6% de nueva generación (130/0,42) proporcionaba un mayor margen de seguridad y eficacia, ensayos clínicos como los estudios escandinavos y CHEST han demostrado un aumento en la mortalidad a largo plazo y en la incidencia de LRA<sup>7</sup>.

Diversos factores pueden provocar daños en la capa endotelial del glicocálix, tales como la inflamación, trauma, shock (hipovolémico o séptico), hiperglucemia, isquemia, reperfusión, desequilibrios electrolíticos, y causas iatrogénicas como la administración rápida de líquidos y cirugía. Además, factores predisponentes como el envejecimiento, la falta de ejercicio, una dieta alta en azúcar y el tabaquismo contribuyen significativamente al daño al glicocálix<sup>7</sup>.

El glicocálix tarda de 6 a 8 horas en regenerarse en condiciones fisiológicas normales; sin embargo, en condiciones patológicas, el tiempo de reconstrucción puede variar desde horas hasta días, dependiendo de la gravedad de la lesión y del volumen dañado. En modelos experimentales de degradación enzimática, el glicocálix puede tardar 5 a 7 días o más en recuperar su grosor original<sup>7</sup>.

La rápida administración de líquidos intravenosos puede afectar el glicocálix incluso en individuos sanos, pero en situaciones de shock hipovolémico o séptico, es crucial administrar líquidos a través de venas grandes con cánulas de gran calibre para evitar el "chorro" de líquido y prevenir daños en la delicada estructura del glicocálix<sup>7</sup>.

Además, los productos sanguíneos y líquidos intravenosos de más de 500 ml deben calentarse a 37 °C para ayudar a mantener la temperatura corporal central y proteger el glicocálix. El glicocálix se destruye con grandes volúmenes de líquidos o hipervolemia, y el péptido natriurético auricular liberado por el estiramiento de las aurículas se considera uno de los factores que contribuyen a la destrucción de esta capa endotelial<sup>7</sup>.

Glucocálix y fisiopatología clínica

El edema es la acumulación de líquido en el intersticio con un aumento de la distensibilidad intersticial. El edema tisular ocurre cuando la tasa de transudación de líquido en el espacio intersticial desde los capilares supera el drenaje linfático máximo. El mecanismo de formación de edema es diferente en diversas condiciones patológicas<sup>7</sup>.

#### Insuficiencia cardíaca

EGL intacto tiene la capacidad de amortiguar un aumento en el sodio corporal total sin retención de agua. Como resultado de la insuficiencia cardíaca, existe una acumulación excesiva de sodio en el cuerpo tanto por la retención renal como por la degradación de EGL. El proceso de edema en insuficiencia cardíaca aguda y crónica es diferente. En la insuficiencia cardíaca aguda (ICA), la redistribución de líquido se produce desde la circulación periférica y esplácnica debido a la activación simpática en lugar del aumento real del volumen intravascular que, de otro modo, se produce en la insuficiencia cardíaca crónica<sup>7</sup>.

De acuerdo con las fuerzas de Starling, un aumento en la presión hidrostática transcápilar junto con una disminución en el gradiente de presión oncótica transcápilar provoca que el líquido se extravase hacia el intersticio. Esto conduce a un incremento de la presión intersticial debido a la acumulación excesiva de líquido, lo que puede comprometer el drenaje linfático.

Los diuréticos, comúnmente utilizados como el tratamiento de primera línea para la insuficiencia cardíaca, reducen la presión hidrostática capilar, lo que a su vez disminuye el flujo de líquido transcápilar. Esto mejora la eficacia del drenaje linfático desde el intersticio y, en consecuencia, reduce el edema. Sin embargo, a medida que se destruye el tampón protector en el sistema, una gran cantidad de sodio se pierde en el aclaramiento renal. Esto sigue contribuyendo a la formación de edema, lo que hace que los diuréticos por sí solos no sean completamente efectivos en el manejo del edema en situaciones donde la acumulación de líquido es significativa<sup>7</sup>.

En el síndrome nefrótico, la membrana basal renal presenta capilares continuos fenestrados con un escaso glicocálix, y las fenestraciones tienen un tamaño de 65 nm, que se reduce a 15 nm por la superposición del glicocálix. El tamaño de poro efectivo a

nivel de podocitos es de solo 6 nm, lo que impide la presencia de albúmina en el líquido tubular en condiciones normales; su presencia indica un aumento en la permeabilidad capilar. En este síndrome, el edema se desarrolla antes que la proteinuria, y se observa una disminución de la albúmina sérica, así como un aumento de los productos de degradación del glicocálix, como el sindecano-1, en etapas tempranas con función renal conservada<sup>7</sup>.

El mecanismo de formación de edema en el síndrome nefrótico es complejo e involucra la disminución de la albúmina sérica, el estado del volumen intravascular, factores neurohormonales y un mecanismo de retención de sodio a través de la activación de los canales de sodio epiteliales (ENaC). Existen dos hipótesis para explicar la formación de edema:

1. Hipótesis de llenado insuficiente: La disminución de la presión oncótica por hipoalbuminemia aumenta la  $J_v$ , causando extravasación de líquido al espacio intersticial y dando lugar al edema. Esto se interpreta como hipovolemia, activando el sistema renina-angiotensina-aldosterona y causando retención de sodio.
2. Hipótesis de sobrellenado: Se postula que la retención primaria de sodio a nivel renal produce edema.

La albúmina puede ser útil como tratamiento si la albúmina sérica está por debajo de 2 g/dL, ya que ayuda a aumentar la presión oncótica plasmática. También se utilizan inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (IECA), bloqueadores de los receptores de angiotensina II, diuréticos y corticosteroides para gestionar el edema y la inflamación<sup>7</sup>.

En la cirrosis, la sobreexpresión de receptores de Aplein activa las células estrelladas hepáticas, provocando remodelación del tejido y daño a las células endoteliales sinusoidales del hígado. Esto reduce el flujo sanguíneo a través del hígado y aumenta la presión en la vena porta, provocando un aumento de  $J_v$  y extravasación de líquido, lo que da lugar a edema y ascitis. La disminución en la síntesis de albúmina debido a la

fibrosis hepática también disminuye la presión oncótica plasmática, contribuyendo al edema<sup>7</sup>.

El tratamiento del edema en la cirrosis se centra en minimizar la presión venosa portal y aumentar la presión oncótica, empleando medidas como mantener un balance de sodio negativo, administrar diuréticos, bloqueadores beta, realizar paracentesis e infundir albúmina<sup>7</sup>.

El glicocálix en la vasculatura pulmonar es más grueso que en la vasculatura sistémica, reflejando su papel crucial en la fisiología pulmonar normal, incluyendo la mecanotransducción y la permeabilidad vascular. Un compromiso en la integridad del glicocálix puede resultar en edema intersticial e hipoxia, afectando la extravasación de neutrófilos, fluidos y proteínas, así como la señalización del óxido nítrico, que modifica la permeabilidad endotelial<sup>7</sup>.

El síndrome de dificultad respiratoria puede surgir por la disfunción del glicocálix. La detección de productos de degradación del glicocálix en sangre puede servir como un indicador de daño pulmonar inminente. La restauración del glicocálix con heparina, que posee propiedades antiinflamatorias, se presenta como una medida terapéutica prometedora en pacientes críticos<sup>7</sup>.

## **Planteamiento del problema**

La terapia de líquidos óptima durante el perioperatorio es fundamental para favorecer la recuperación, reducir complicaciones y acortar la estancia intrahospitalaria. Sin embargo, a pesar de su importancia, las recomendaciones sobre la administración de líquidos en este contexto continúan siendo motivo de controversia. El manejo de líquidos transanestésicos es responsabilidad del anestesiólogo en cualquier tipo de cirugía, y ha sido objeto de debate en las últimas décadas<sup>1</sup>.

Tradicionalmente, este manejo se ha guiado por la fórmula de Holliday-Segar, sumando pérdidas cuantificadas por sangrado, exposición de tejidos y diuresis. No obstante, este enfoque puede ser subjetivo, especialmente en pacientes con comorbilidades como insuficiencia cardíaca, renal y hipertensión, lo que puede resultar en un manejo inadecuado de los líquidos. Esto a su vez puede llevar a complicaciones graves, como edema pulmonar agudo, edema de tejidos blandos, hipervolemia o hipovolemia, que se asocia a hipoperfusión generalizada, insuficiencia renal aguda, deficiencias en la cicatrización, dehiscencia de la herida quirúrgica, falla cardiorrespiratoria, y falla orgánica múltiple, aumentando así la morbimortalidad en el postoperatorio<sup>1</sup>.

Un estudio de Ortega y colaboradores indica que alrededor del 20% de pacientes adultos hospitalizados reciben una terapia con líquidos inapropiada. Cada año, aproximadamente 230 millones de pacientes se someten a cirugía, y aunque la tasa de mortalidad general es baja (1-4%), existe un pequeño subgrupo de alto riesgo que presenta una elevada morbimortalidad. Este subgrupo incluye pacientes geriátricos, aquellos sometidos a cirugías mayores electivas y de urgencias, y pacientes con múltiples comorbilidades y alto riesgo de sangrado (ASA III-V). En estos casos, la gestión inadecuada de soluciones intravenosas puede influir drásticamente en la evolución del paciente e incluso resultar en la muerte<sup>1</sup>.

### **Pregunta de investigación**

¿Existe diferencia entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de trauma de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024?

### **Beneficios**

Disminuir la morbimortalidad y complicaciones postanestésicas en el postquirúrgico inmediato, mediano y tardío de los pacientes a estudiar. Dentro de las cuales destacan, falla renal aguda, edema agudo de pulmón, síndrome nefrótico, insuficiencia cardiaca congestiva, mayor tiempo de estancia intrahospitalaria, mayor riesgo de infecciones nosocomiales, etc. Disminuir el consumo de insumos tales como soluciones endovenosas ya que se optimizaría al administrar únicamente lo necesario. Adiestramiento de uso de ultrasonografía a pie de cama para mejorar condiciones trans y postanestésicas.

## **Justificación**

En los últimos años, la ecografía a pie de cama ha facilitado el que se pueda realizar mediciones estáticas o dinámicas de la VCI convirtiéndola en una herramienta útil para evaluar el estado hemodinámico del paciente y si es candidato a reposición de volumen o restricción del mismo. Sin embargo, es esencial comprender diversos aspectos fisiológicos del comportamiento de la VCI para interpretar correctamente los valores en la práctica clínica y tomar decisiones adecuadas en beneficio del paciente<sup>5</sup>.

Es fundamental recordar que la VCI no se colapsa o distiende de manera aleatoria; su comportamiento sigue los indicadores que rigen la PVC. La evaluación ecográfica de la VCI permite realizar un seguimiento visual de los cambios dinámicos cualitativos de la PVC en relación con la presión intraabdominal (PIA). Cuando la PVC cae por debajo de la PIA, la VCI tiende a colapsarse; por el contrario, cuando la PVC se eleva por encima de la PIA, la VCI tiende a distenderse, dentro de sus limitaciones de complianza<sup>5</sup>.

En pacientes con ventilación mecánica, se evalúa la vena cava inferior (VCI) para determinar su capacidad de dilatación durante la ventilación, ya que la presión intratorácica es más alta que la presión intraabdominal (PIA). Una adecuada dilatación de la VCI indica que puede recibir más volumen, lo que sugiere una reserva de

precarga. Si no hay dilatación en esta relación con la presión venosa central (PVC), esto indica que la VCI no puede adaptarse a un aumento de volumen debido a baja complacencia.<sup>5</sup>

En contraste, en pacientes con respiración espontánea, se analiza la capacidad de la VCI para colapsar ante una disminución de la presión intratorácica y un aumento de la PIA. Los cambios en el diámetro de la VCI reflejan la relación entre la PVC y el gradiente de presión entre la presión intratorácica y abdominal. El colapso puede ocurrir por una PVC muy baja o por una presión intratorácica excesivamente negativa, situaciones comunes en casos de asma grave aguda, exacerbaciones de EPOC o insuficiencia respiratoria severa.<sup>5</sup>

Se sugiere que exista un protocolo ecoguiado para analizar la capacidad de respuesta a líquidos o dirigir una terapia hídrica transanestésica óptima. La medición de la colapsabilidad y distensibilidad de la vena cava inferior por ultrasonido ha sido usada por médicos de urgencias y en cuidados críticos para un espectro de situaciones tanto diagnósticas como terapéuticas, método viable no invasivo que permite al anestesiólogo optimizar las condiciones hemodinámicas perioperatorias.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis de trabajo:**

Existe diferencia entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de trauma de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024

### **Hipótesis estadística:**

#### **Hipótesis nula:**

No Existe diferencia entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de trauma de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024

#### **Hipótesis alternativa:**

La reposición hídrica transanestésica guiada por ultrasonido es mejor y disminuye significativamente la morbimortalidad sobre los pacientes que son sometidos a cirugía

de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Comparar la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024

### **Objetivos específicos:**

1. Determinar la correlación entre la presión venosa central y el índice de colapsabilidad / distensibilidad de la vena cava inferior en los pacientes en estudio.
2. Analizar la correlación entre el índice de colapsabilidad / distensibilidad de la vena cava inferior y el volumen de líquido administrados durante el periodo transanestésico, en los casos en estudio.

3. Establecer la proporción de pacientes respondedores y no respondedores a líquidos intravenosos adicionales, según estado hemodinámico.
4. Demostrar en que porcentaje de colapsabilidad y distensibilidad de VCI, se presenta hipotensión y es necesario la administración de líquidos endovenosos.
5. Descubrir si existe respuesta hemodinámica favorable en pacientes que aparentemente no la tuvieron tras un periodo hipotensivo tratado con reposición endovenosa de líquidos, tras la prueba de elevación a 45 grados de miembro inferior sano.

## **Materiales y métodos**

### **Diseño del estudio**

Investigación de tipo observacional, descriptiva, prospectiva transversal.

El área donde se estudiarán a los pacientes es en quirófanos del Hospital General de Mexicali. Los casos fueron reclutados en el periodo comprendido entre septiembre de 2023 a enero de 2024

### **Descripción de la población**

El universo está constituido por el total de pacientes con diagnóstico de fractura de miembro inferior con edad desde 18 a 70 años ingresados para RAFI de miembro inferior o colocación de clavo centromedular en el periodo de septiembre de 2023 a enero de 2024. Con un universo de 200 pacientes en 5 meses, respecto a tendencia previa, corroborado en registro de procedimientos quirúrgicos realizados en cinco meses de fractura de miembro inferior.

### **Tamaño de muestra**

Para la muestra necesaria se utilizó la fórmula muestral para universo conocido, se estudiarán **169 pacientes**, usando el programa Sample Size Calculator, con los siguientes valores:

Muestra (n):

Nivel de confianza (z) : 95%

Margen de error (e): 5 %

Universo (N) : 200 pacientes (corresponde al número de pacientes sometidos a RAFI de miembro inferior en un lapso de cinco meses )

Probabilidad en contra y a favor: 50

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2}$$

## **Criterios de selección**

### **A. Criterios de inclusión**

- Caso con diagnóstico de fractura de miembro inferior
- Pacientes sometidos a anestesia neuroaxial
- Que se haya atendido en el periodo comprendido para el periodo de experimentación
- Ingreso al área de quirófanos
- Edad de 18 a 70 años
- Posición decúbito supino
- Pacientes con sonda vesical

### **B. Criterios de exclusión**

- Ritmo no sinusal
- Disfunción de ventrículo derecho
- Insuficiencia cardiaca

- Edema agudo de pulmón
- Paciente con ventilación mecánica invasiva
- Asma grave aguda
- Exacerbaciones de EPOC
- Pacientes con falla renal
- Pacientes sometidos a anestesia general con ventilación mecánica invasiva.
- Posición decúbito lateral
- Pacientes sin sonda vesical

#### Unidad de análisis

La unidad de análisis corresponde al paciente con fractura de miembro inferior sometido a cirugía en el periodo transanestésico.

#### Técnicas de recolección de la información

##### A. Fuente de información

1. Primaria: basada en el expediente clínico.
2. Secundaria: corresponde al paciente en periodo transanestésico en la medición ecografía directa de VCI del paciente.

##### **B.** Instrumento (ficha de recolección)

El instrumento elaborado se constituye de las siguientes partes:

1. Ficha de identificación y características clínicas
2. Antecedentes patológicos
3. Clasificación y tipo de fractura
4. Condición hemodinámica del paciente y manejo previo de líquidos y fármacos
5. Ecografía de la vena cava inferior
6. Reposición hídrica transanestésica horaria, guiada por ultrasonido
7. Prueba de elevación pasiva de miembro inferior

## Variables

### Variables independientes:

- Edad
- Sexo
- IMC
- Comorbilidades
- Tipo de fractura

### Variables dependientes:

- Tipo de ventilación al inicio
- Tipo de ventilación al final
- Carga de volumen preanestésica
- Condición hemodinámica preanestésica
- Uso de vasopresores
- Condición al final del procedimiento
- PVC estimada
- Índice de colapsabilidad
- Índice de distensibilidad
- Índice de colapsabilidad / distensibilidad pre test elevación de miembros inferiores
- Índice de colapsabilidad / distensibilidad post test miembros inferiores
- Prueba de elevación de miembros inferiores

### Operalización de las variables

No	Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala
.					

	Edad	Corresponde a edad biológica	En años	Registro expediente	Variable cuantitativa discontinua
	Sexo	Características físicas y sexuales que corresponden a un ser humano	Masculino o femenino	Registro expediente	Variable cualitativa dicotómica
	IMC	Índice de masa corporal	Kg/ m2	Talla, peso IMC: peso / T <sup>2</sup>	Variable cuantitativa nominal
	Comorbilidades	Corresponde a las enfermedades que padezca el paciente al momento de la intervención	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hipertensión Arterial</li> <li>▪ Diabetes Mellitus</li> <li>▪ Asma grave agudizada</li> <li>▪ EPOC</li> <li>▪ Cardiopatías</li> <li>▪ Dislipidemias</li> <li>▪ Insuficiencia renal crónica</li> <li>▪ Cáncer</li> </ul>	Registro expediente	Variables cualitativa nominal
	Tipo de fractura	Corresponde a solución de continuidad del hueso afectado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fémur</li> <li>▪ Tibia</li> <li>▪ Peroné</li> <li>▪ Huesos del propios del pie</li> </ul>	Registro expediente	Variable cualitativa ordinal

	Tipo de ventilación al inicio	Corresponde a si tiene o no automatismo ventilatorio	Mecánica / espontánea	Registro expediente	Variable cualitativa dicotómica
	Tipo de ventilación al final	Corresponde a si tiene o no automatismo ventilatorio	Mecánica / espontánea	Registro expediente	Variable cualitativa dicotómica
	Carga de volumen endovascular	Corresponde a cuántos ml se administran de solución endovenosa	ml/hr	Registro expediente	Variable cuantitativa continua
	Condición hemodinámica preanestésica	Corresponde al estado hemodinámico antes de la anestesia	Hipovolémico , normovolémico, hipervolémico	Registro expediente	Variable cualitativa ordinal
	Uso de vasopresores	Necesidad de apoyo farmacológico para mantener TAM en parámetros normales	Mcg/kg/min	Registro expediente	Variable dicotómica
	Condición al final del procedimiento	Corresponde al estado de vida al final del procedimiento	Fallecido / vivo	Registro expediente	Variable dicotómica
	PVC estimada	Presión venosa central estimada	MmHg	Registro expediente	Variable cuantitativa

	Índice de colapsabilidad	Medida utilizada para determinar la cantidad de colapso	Porcentaje de colapsabilidad	Ecográfico	Variable cuantitativa continua
	Índice de distensibilidad	Medida utilizada para determinar la cantidad de distensión	Porcentaje de distensibilidad	Ecográfico	Variable cuantitativa continua
	Índice de colapsabilidad / distensibilidad pre test elevación de miembros inferiores	Medida usada para determinar colapso y distensión antes de test de elevación de miembros inferiores	Porcentaje de colapso y distensión antes de la prueba	Ecográfico	Variable cuantitativa continua
	Índice de colapsabilidad / distensibilidad post test elevación de miembros inferiores	Porcentaje de colapso y distensión después de la prueba	Porcentaje de colapsabilidad y distensibilidad después de la prueba de elevación de miembros inferiores	Ecográfico	Variable cuantitativa
	Prueba de elevación de miembros inferiores	Maniobra utilizada para mejorar el retorno venoso y por tanto gasto cardiaco y	Si / no	Monitorización de TA	Variable dicotómica

		presión arterial			
--	--	---------------------	--	--	--

## **Análisis estadístico**

### **Creación de la base de datos**

Basado en el instrumento para la recolección de datos se creó una hoja de Excel para capturar los datos obtenidos durante la fase experimental.

En la base de datos se contempló datos del paciente, así como lo obtenido en el periodo transanestésico: edad, sexo, volumen que corresponder administrar por fórmulas, volumen real infundido guiado por ultrasonido, estimación de PVC, respondedor o no de volumen, respondedor o no a elevación pasiva de miembros inferiores, clasificación volémica del paciente.

### **Tipo de intervención y descripción del procedimiento**

Una vez recibidos los pacientes en el área de quirófanos, se interrogaron nuevamente para clasificarlos y ver si cumplían criterios de inclusión para el protocolo, o si tenían alguno de exclusión que los clasificaran en pacientes no apto para realizar el estudio.

Se les evaluó el índice de colapsabilidad y distensibilidad de la VCI como primera instancia en área de recuperación previo a su ingreso a sala, esto para determinar el grado de volemia a su ingreso, tomando en cuenta lo anterior se normará conducta para que entre a quirófano en normovolemia; esto es, si reponer volumen o restringirlo, dependiendo el caso.

Una vez en quirófano se realizaron mediciones de la VCI horarias, para reevaluar el estado volémico del paciente y decidir si administrar o no volumen endovenoso. Se determinó que, en caso de presentar sangrado activo o pérdidas abundantes, se evaluará inmediatamente la ecografía de vena cava.

El volumen de carga en pacientes con hipovolemia fue calculado a peso ideal del paciente, a 3 ml / Kg / Hora

Formula de peso ideal:

- Hombres:  $0.75 \times \text{altura (cm)} - 62.5$
- Mujeres:  $0.675 \times \text{altura (cm)} - 56-25$

Se realizó estimación de Presión Venosa Central (PVC) a la par, se comparó el volumen infundido guiado por ultrasonido por hora, contra el volumen que le correspondía en reposición habitual por hora.

El procedimiento estuvo supervisado y guiado por el adscrito de anestesiología en sala, quien deberá interrumpir el protocolo si el paciente mostraba uno de los siguientes momentos:

Hipotensión sostenida por más de 2 tomas arteriales de 5 minutos de diferencia, después de haber administrado líquido endovenosos guiado por ultrasonido.

Cambio en el tipo de anestesia, a general por necesidades del paciente y cirugía en las siguientes condiciones:

- Choque vasopléjico.
- Insuficiencia cardiaca transoperatoria o edema agudo de pulmón.
- Disfunción de ultrasonido.

- Anatomía modificada de vena cava o deficiencia en la localización y / o medición de la vena cava inferior.

El evaluador proseguirá con el protocolo si el manejo es óptimo y no presenta un compromiso de complicaciones para el paciente en el periodo transanestésico.

En el estudio se realizaron dos tipos de análisis uno descriptivo y el otro analítico inferencial.

Para la estadística descriptiva fue plasmada de acuerdo a la naturaleza de su variable: para las cualitativas se representarán en término de frecuencia absoluta (número de casos) y frecuencias relativas como porcentaje.

Para las variables numéricas cuantitativas se representarán en términos de medidas de tendencia central; moda, mediana, media y desviación estándar, así como rango.

Todo el análisis estadístico se realizó con el programa SPSS para sistema operativo macOS. En la estadística analítica inferencial, para las variables cualitativas se utilizó la prueba de Chi cuadrado o test exacto de Fisher con la finalidad de comparar las distintas variables de interés, y para las variables cuantitativas la prueba de Pearson, para la concordancia entre la reposición hídrica total guiada por US y volumen total previsto para paciente, el coeficiente de Correlación Intercalase, resultado significativo cuando P: menor a 0.05

### **Aspectos éticos**

La investigación en su parte ética está basada en las pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos. Elaboradas por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS) en las que se establece el valor científico y social y respeto a los derechos del paciente, personas que tienen capacidad de dar consentimiento informado, beneficios individuales y riesgos de una investigación.

El presente estudio está basado también en los principios éticos para investigaciones éticas en seres humanos establecidos por la Asamblea médica Mundial en la

Declaración de Helsinki y ratificados en Río de Janeiro en el 2013. En los cuales se describen como factores fundamentales preservar siempre y por sobretodo la beneficencia del paciente, velar y promover la salud del paciente. Que el motivo principal de toda intervención sea generar conocimiento. Se mantiene en estricto control de confidencialidad sobre los datos personales de los pacientes, salvaguardando siempre su integridad y su individualidad, en donde solamente el comité de ética e investigación del hospital, así como los autores y coautores tiene acceso a dichos datos.

De la misma manera el presente trabajo fue sometido a evaluación y aprobación por el Comité de ética e investigación del Hospital General de Mexicali, por lo que su desarrollo está fundamentado siempre por dicho departamento. Por lo anterior se solicitó la firma del paciente en el consentimiento informado, los pacientes accedieron de forma voluntaria, sin coerción y tratamiento totalmente gratuito.

### **Análisis de resultados**

Se incluyeron un total de 169 pacientes en el estudio, con una media de edad de  $47.6 \pm 9.5$  años, de los cuales 76 (45%) fueron mujeres y 93 (55%) varones.

La media de peso ideal fue de  $71.4 \pm 6.3$  kg, con una media de IMC de  $27.6 \pm 2.5$  kg/m<sup>2</sup>. La mayoría de las cirugías fueron de fractura de tibia (37.9%), seguida de fémur (33.7%) (Tabla 1).

**Tabla 1. Características demográficas de los pacientes.**

<b>Variable</b>	
Edad (años)	47.6 ± 9.5
Sexo	
Mujer	76 (45%)
Hombre	93 (55%)
Peso ideal (kg)	71.4 ± 6.3
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	27.6 ± 2.5
Tipo de fractura	-
Fémur	57 (33.7%)
Tibia	64 (37.9%)
Peroné	46 (27.2%)
Fémur y peroné	1 (0.6%)
Tibia y peroné	1 (0.6%)

Todos los pacientes estuvieron bajo ventilación espontánea al inicio y final de la cirugía. La mediana de carga de volumen endovascular preanestésica fue de 0 (0-204) ml/kg. El 68% de los pacientes (115) tuvieron una condición hemodinámica preanestésica normovoémica y 54 (32%) hipovolémica (Tabla 2).

**Tabla 2. Características anestésicas y hemodinámicas de los pacientes.**

<b>Variable</b>	
Tipo de ventilación al inicio	-
Espontáneo	169 (100%)
Invasiva	0 (0%)
Tipo de ventilación al final	-
Espontáneo	169 (100%)
Invasiva	0 (0%)
Carga de volumen endovascular preanestésico (ml/kg)	0 (0-204)

Condición hemodinámica preanestésica	-
Hipovolémica	54 (32%)
Normovolémica	115 (68%)

Se encontró una correlación significativa negativa muy baja entre índice de colapsabilidad y el volumen administrado por ultrasonido ( $r = -0.098$ ,  $P = 0.03$ ) y positiva baja con el volumen correspondiente por la fórmula ( $r = 0.141$ ,  $P=0.002$ ).

También se encontró una correlación positiva baja entre el índice de distensibilidad y el volumen administrado por ultrasonido ( $r = 0.099$ ,  $P = 0.026$ ) y con el volumen correspondiente por la fórmula ( $r = 0.24$ ,  $P < 0.001$ ). No se encontró asociación (Tabla 3).

**Tabla 3. Correlación entre el índice de colapsabilidad y distensibilidad con el volumen administrado por ultrasonido y correspondiente por fórmula de Holliday-Segar, y las presiones arterial media y venosa central estimada.**

Variable	Índice de colapsabilidad		Índice de distensibilidad	
	r	P	r	P
Volumen administrado por US	-0.098	0.03	0.099	0.026
Volumen correspondiente por fórmula HS	0.141	0.002	0.24	<0.001
PAM	-0.024	0.6	0.084	0.061
PVC estimada	0.017	0.712	-0.004	0.924

No se encontró una correlación entre la presión venosa central con ambas mediciones de volumen (Tabla 4).

**Tabla 4. Correlación entre el volumen administrado por ultrasonido y correspondiente por fórmula de Holliday-Segar con las presiones arterial media y venosa central estimada.**

Variable	Volumen administrado por US		Volumen correspondiente por fórmula HS	
	r	P	r	P
PAM	0.037	0.412	-0.125	0.005
PVC estimada	-0.028	0.529	-0.064	0.153

Se realizó un análisis de acuerdo con los episodios de hipotensión, definida por PAM < 65 mm Hg, y las mediciones de índice de colapsabilidad e índice de distensibilidad correspondientes, y no se encontraron diferencias significativas entre ambas mediciones con el episodio de hipotensión (Tabla 5).

**Tabla 5. Comparación del índice de colapsabilidad y de distensibilidad con una medición de hipotensión por presión arterial media < 65 mm Hg.**

<b>Variable</b>	<b>No</b>		<b>P</b>
	<b>Hipotensión</b>	<b>hipotensión</b>	
Índice de colapsabilidad	24 ± 7.6	21.3 ± 5.6	0.14
Índice de distensibilidad	25.5 ± 3.3	25.2 ± 5.7	0.72

Del total de pacientes, 151 (89.3%) fueron respondedores a volumen y solo 18 (10.6%), no respondieron a la administración de líquidos posterior a haber presentado hipotensión, pero todos respondieron a la elevación de piernas, para mantener presión arterial media dentro de parámetros normales.

De los 18 pacientes que requirieron elevación de piernas, la mayoría tenían un estado preanestésico hipovolémico (88.9%), un porcentaje significativamente mayor que los pacientes que no la requirieron, y que estaban en un estado preanestésico hipovolémico (25.2%, P < 0.001) (Tabla 6).

**Tabla 6. Asociación entre la respuesta a líquidos y la condición hemodinámica preanestésica.**

<b>Variable</b>	<b>Prueba de elevación de miembros inferiores</b>		<b>P</b>
	<b>Sí</b>	<b>No</b>	
Condición hemodinámica preanestésica	-		<0.001
Hipovolémica	16 (88.9%)	38 (25.2%)	
Normovolémica	2 (11.1%)	113 (74.8%)	

Después de un análisis de concordancia entre el volumen administrado por ultrasonido y el volumen correspondiente por fórmula de Holliday-Segar, por medio del coeficiente de correlación intraclass (CCI), no encontramos una concordancia entre el volumen administrado y el correspondiente por fórmula, en cada medición realizada durante el periodo transoperatorio (CCI = 0.164, P=0.124; Figura 6), sin embargo, al sumar los volúmenes totales al final de la cirugía, hubo una concordancia moderada (CCI = 0.668, P < 0.001; Figura 7).

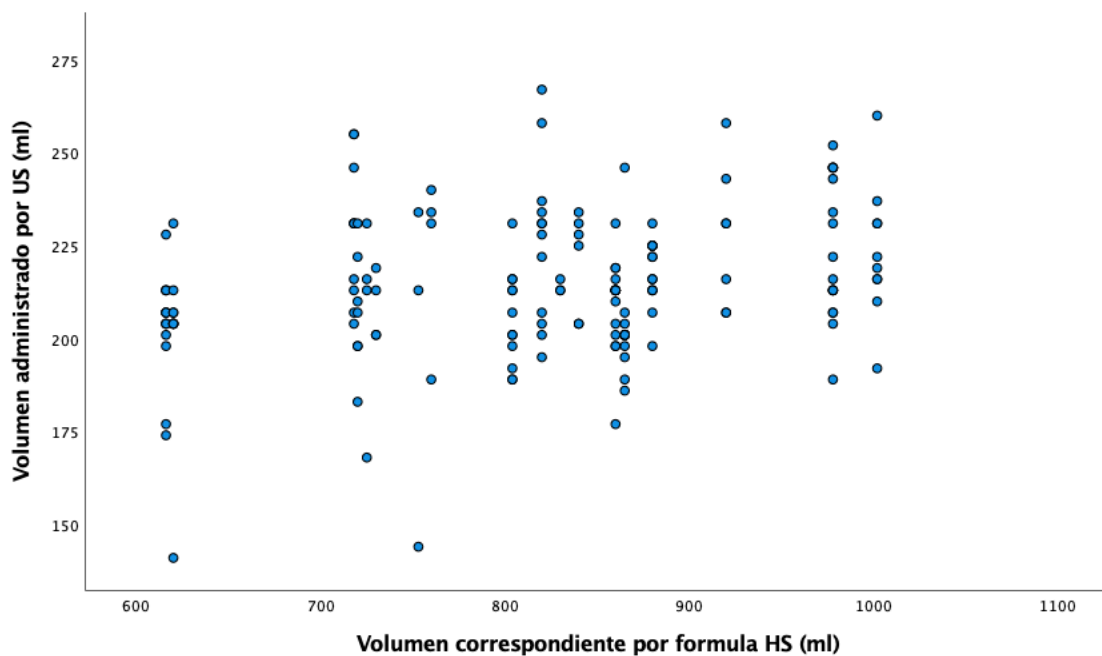
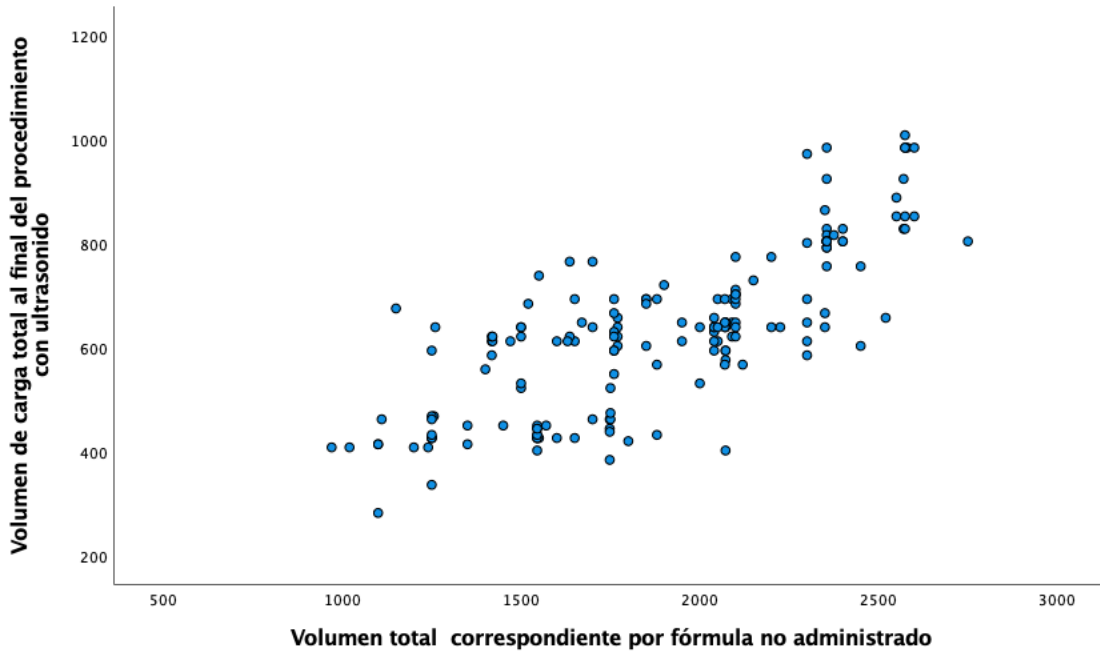


Figura 6. Diagrama de dispersión de puntos entre el volumen administrado por ultrasonido y el volumen correspondiente por fórmula de Holliday-Segar en cada medición realizada durante el periodo transoperatorio.



**Figura 7. Diagrama de dispersión de puntos entre el volumen total administrado por ultrasonido y el volumen total correspondiente por fórmula de Holiday-Segar al final de la cirugía.**

## Discusión

Existen diversos métodos para evaluar el volumen intravascular y facilitar una reanimación con líquidos exitosa. Entre estos métodos, el monitoreo hemodinámico mediante ecografía se destaca por varias razones: es un enfoque no invasivo, está listo para usar, se puede aplicar en la cabecera del paciente, es económico y está disponible en la mayoría de las unidades de cuidados intensivos. Esta técnica permite a los clínicos realizar una evaluación rápida y efectiva del estado hemodinámico del paciente, lo que es esencial para tomar decisiones informadas sobre la administración de líquidos y el manejo del paciente en situaciones críticas<sup>8</sup>.

La presión venosa central (PVC) se utiliza comúnmente para evaluar el estado actual de los líquidos y los posibles requerimientos de fluidos en pacientes críticos. Sin embargo, su confiabilidad se ve comprometida por la naturaleza invasiva del procedimiento, los riesgos de complicaciones asociados y su baja sensibilidad y especificidad.

Como alternativa a la PVC, se han desarrollado índices más recientes que evalúan el estado del volumen intravascular. Estos incluyen el índice de colapsabilidad de la vena cava inferior (VCI), el índice de distensibilidad, y mediciones dinámicas del diámetro de

la VCI, que están ganando aceptación y se utilizan cada vez más en la práctica clínica. Estas métricas no invasivas ofrecen una forma más segura y efectiva de evaluar la respuesta hemodinámica y las necesidades de líquidos en pacientes críticos<sup>9-11</sup>.

La evaluación del diámetro de la vena cava inferior y el índice de la vena cava se consideran métodos bien estudiados para valorar el estado del volumen intravascular. Sin embargo, la literatura presenta resultados extremadamente discordantes sobre su efectividad. En un metanálisis realizado por Long y colegas, se evidenció un notable grado de heterogeneidad entre los estudios. Aunque no se encontró una diferencia significativa en la precisión diagnóstica del índice de la cava para predecir la respuesta a líquidos entre los estudios que incluían poblaciones adultas y pediátricas, existe una falta de estudios que analicen específicamente el papel de la vena cava inferior en poblaciones pediátricas. Estas poblaciones han sido de gran interés, especialmente en lo que respecta al uso de la hidratación de mantenimiento guiada por ultrasonido<sup>12</sup>.

El índice de colapsabilidad de la vena cava inferior parece mostrar una mayor precisión en estudios realizados en entornos de urgencias y quirófano en comparación con aquellos en terapia intensiva. En particular, se ha observado que el índice presenta una mayor sensibilidad en los estudios de urgencias. Sin embargo, es difícil determinar si este resultado está relacionado con las condiciones clínicas propias de poblaciones significativamente diferentes o si es el resultado de efectos transitorios que no se han observado en el contexto de la terapia intensiva. Esta diferencia subraya la necesidad de considerar el entorno clínico al interpretar los resultados del índice de colapsabilidad de la vena cava inferior<sup>13</sup>.

En comparación con los pacientes con sepsis, en los pacientes quirúrgicos, el índice de colapsabilidad de la vena cava ha mostrado una precisión diferente, en particular una especificidad menor, lo cual es posible que sea una de las razones por las diferencias en la baja concordancia en nuestro estudio. Aunque los pacientes quirúrgicos a menudo son hipovolémicos, las intervenciones quirúrgicas o las condiciones que aumentan la presión intraabdominal pueden hacer que el índice de colapsabilidad de la vena cava no

sea confiable<sup>14-16</sup>. En contraste con la literatura, se ha visto una menor capacidad predictiva del índice de colapsabilidad de la vena cava en pacientes ventilados que en aquellos con ventilación espontánea<sup>12,17</sup>. Dicho esto, debemos considerar que nuestros pacientes estuvieron todos bajo ventilación espontánea, lo cual hace estas conclusiones sujetas solo a esta población de pacientes.

En nuestro estudio, vimos que existe una baja o casi nula correlación entre el índice de colapsabilidad y de distensibilidad con el volumen administrado por ultrasonido, y tiende a ser un poco más acercado, pero no por mucho más fiable, cuando se compara con el volumen correspondiente por fórmula. Además, no encontramos asociación entre estas mediciones con la presión venosa central, ni documentamos alguna diferencia asociada a los pacientes que desarrollaron presiones arteriales medias no perfusoras o de hipotensión.

También, encontramos que no hay una concordancia en los volúmenes administrados por ultrasonido y correspondientes por fórmula en cada medición durante el periodo transoperatorio, pero hubo una concordancia mayor con los volúmenes totales por cada método.

Ansari et al. observaron que no existe un acuerdo sustancial en la literatura sobre la definición de “capacidad de respuesta a los fluidos”. Los parámetros como la “precisión” y la “reproducibilidad” de una medición no parecen estar suficientemente explicados en los estudios de capacidad de respuesta a los fluidos<sup>18</sup>. Además, cualquier sistema de monitoreo tiene limitaciones relacionadas con la condición clínica del paciente, lo que reduce su aplicabilidad a cualquier paciente indiscriminadamente. Además de esta fuente de sesgo, la precisión con la que se realizan las mediciones, especialmente en entornos caóticos, no siempre es óptima. En última instancia, una serie de aproximaciones menores pueden conducir a un error final importante, especialmente cuando los parámetros que se deben medir se relacionan con pacientes críticos que requieren asistencia casi inmediata., lo cual puede contribuir a parte del sesgo en nuestro estudio.

A pesar de la realización de numerosos estudios, la evidencia concluyente que respalda el uso del ultrasonido de la vena cava inferior como predictor de respuesta a líquidos se limita a un pequeño subconjunto de pacientes que están perfectamente sincronizados con un ventilador mecánico. En particular, los pacientes intubados y completamente ventilados no participan activamente en su ventilación, lo que crea condiciones de carga respirofásica casi idénticas y permite medir de manera confiable los cambios dinámicos en la vena cava inferior.

Estudios como el de Barbier et al. encontraron que un umbral del 18% para el índice de distensibilidad logra discriminar entre pacientes que responden o no al volumen, con una sensibilidad y especificidad del 90%. Por otro lado, Feissel et al. reportaron que un valor del 12% también discriminaba correctamente entre pacientes respondedores y no respondedores, logrando un valor predictivo positivo del 93% y un valor predictivo negativo del 92%. Estos hallazgos destacan la utilidad del ultrasonido de la VCI en entornos controlados de ventilación mecánica<sup>19-20</sup>.

A diferencia de la distensión de la vena cava inferior que se produce en pacientes con ventilación pasiva, la evidencia de colapso respiratorio en el diámetro de la vena cava inferior entre pacientes con respiración espontánea es menos sólida, aunque puede proporcionar más orientación. Muller et al encontraron que un índice de colapsabilidad mayor del 40% generalmente se asocia con capacidad de respuesta al volumen, mientras que otro estudio pequeño reportó que un valor de índice de colapsabilidad del 15% o menos tenía un valor predictivo negativo del 100% para la capacidad de respuesta al volumen<sup>21,22</sup>. En una población de pacientes hipotensos del departamento de emergencias con choque, Weekes et al mostraron que el índice disminuyó de un valor inicial del 45% al 22% después de la carga de líquido. Esto sugiere que existe cierta utilidad en la estimación adicional de la probabilidad de respuesta a líquidos en pacientes con respiración espontánea, lo cual sería idóneo evaluar en nuestros pacientes en estudios posteriores<sup>23</sup>.

## **Conclusiones**

Encontramos una baja o casi nula correlación entre el índice de colapsabilidad y de distensibilidad con el volumen administrado por ultrasonido, y tiende a ser un poco más acercado, pero no por mucho más fiable, cuando se compara con el volumen correspondiente por fórmula.

No encontramos asociación entre estas mediciones con la presión venosa central, ni documentamos alguna diferencia asociada a los pacientes que desarrollaron presiones arteriales medias no perfusoras o de hipotensión, por lo que, en los casos de hipotensión, en los pacientes que no fueron respondedores a volumen y se les realizó la prueba de elevación de miembros inferiores, no hubo cambios en su presión venosa central.

El 89.3% de los pacientes resultaron respondedores a volumen, tras la administración guiada por los índices de distensibilidad y colapsabilidad y el 10.6% no, pero de ellos, el 100% respondió a la prueba de elevación de miembros inferiores.

Además, hay una baja o casi nula concordancia en los volúmenes administrados por ultrasonido y correspondientes por fórmula en cada medición durante el periodo transoperatorio, pero hubo una concordancia mayor (moderada) con la suma de los volúmenes totales por cada método, por lo que no es exactamente igual, arrojándonos una P significativamente estadística, lo que nos rechaza la hipótesis nula y nos dirige a apoyar a la hipótesis real y alterna de la presente investigación.

## Referencias bibliográficas

1. Ortega García, J. P. y López Ramírez, A. Y. (2021). Manejo de líquidos en el perioperatorio: principios generales. *Rev. mex. anesthesiol.* Ciudad de México oct./dic. 2019 Epub 23-Ago-2021, Vol. 42(No. 4), Artículo 4.
2. Carrillo Éspér, R., Tapia Velasco, R., Galván, Y. y Garrido, E. (2015). Evaluación de la precarga y respuesta a volumen mediante ultrasonografía de la vena cava. *Revista de la Asociación Mexicana de Medicina Crítica y Terapia Intensiva*, Vol. XXIX(No. 2), 105–112
3. Vélez, J. L., Montalvo, M. y Aguayo, S. (2019). 1. Glicocálix endotelial: relevancia clínica y enfoque traslacional glycocalyx: clinical relevance and translational approach. *Horizonte Médico* (Lima), Vol. 19(No. 4)


4. Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2014). *Clinically Oriented Anatomy (7th ed.)*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
5. Perez, V. y Pasco, J. C. (2018). Descifrando la Vena Cava Inferior. *Horizonte Médico (Lima)*, Vol. 18(No. 1).
6. I. Iturbide\*, M.L. Santiago, F. Henain, K. Golab, M.E. Tentoni y S. Fuentes  
Ultrasound evaluation of the inferior vena cava in haemodynamically unstable patients. (2017). *Revista argentina de radiología*, Vol. 81(No. 3)
7. Pankaj Kundra <sup>1</sup> , Shreya Goswami <sup>2</sup>, Endothelial glycocalyx: Role in body fluid homeostasis and fluid management, (2019). *Indian J Anaesth. 2019 Jan*; 63(1): 6–14. PMID: 30745606 doi: 10.4103/ija.IJA\_751\_18
8. Orso D, Paoli I, Piani T, Cilenti FL, Cristiani L et al. Accuracy of ultrasonographic measurements of inferior vena cava to determine fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Intensive Care Medicine 2018*; 1(885066617752308): 1-10.
9. Blehar DJ, Resop D, Chin B, Dayno M, Gaspari R. Inferior vena cava displacement during respirophasic ultrasound imaging. *Critical Ultrasound Journal 2012*; 4 (1): 2-5
10. Juhl-Olsen P, Frederiksen CA, Sloth E. Ultrasound assessment of inferior vena cava collapsibility is not a valid measure of preload changes during triggered positive pressure ventilation: a controlled cross-over study. *Ultraschall in der Medizin 2012*; 33 (2): 152-9.
11. Achar SK, Sagar MS, Shetty R, Kini G, Samanth J et al. Respiratory variation in aortic flow peak velocity and inferior vena cava distensibility as indices of fluid responsiveness in anaesthetised and mechanically ventilated children. *The Indian Journal of Anaesthesia 2016*; 60 (2): 121-6.

12. Long E, Oakley E, Duke T, Babl FE; Pediatric Research in Emergency Departments International Collaborative. Does respiratory variation in inferior vena cava diameter predict fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Shock*. 2017;47(5): 550-559.
13. Dipti A, Soucy Z, Surana A, Chandra S. Role of the inferior vena cava diameter in assessment of volume status: a meta-analysis. *Am J Emerg Med*. 2012;30(8):1414-1419.
14. Rubinson RM, Vasko JS, Doppman JL, Morrow AG. Inferior vena cava obstruction from increased intra-abdominal pressure. Experimental hemodynamic and angiographic observations. *Arch Surg*. 1967;94(6):766-770.
15. Markou N, Grigorakos L, Myrianthefs P, et al. Venous pressure measurement in the superior and inferior vena cava: the influence of intraabdominal pressure. *Hepatogastroenterology*. 2004;51(55):51-55.
16. Via G, Tavazzi G, Price S. Ten situations where inferior vena cava ultrasound may fail to accurately predict fluid responsiveness: a physiologically based point of view. *Intensive Care Med*. 2016; 42(7):1164-1147.
17. Zhang Z, Xu X, Ye S, Xu L. Ultrasonographic measurement of the respiratory variation in the inferior vena cava diameter is predictive of fluid responsiveness in critically ill patients: systematic review and meta-analysis. *Ultrasound Med Biol*. 2014; 40(5):845-853.
18. Ansari BM, Zochios V, Falter F, Klein AA. Physiological controversies and methods used to determine fluid responsiveness: a qualitative systematic review. *Anaesthesia*. 2016;71(1):94-105.

19. Barbier C, Loubières Y, Schmit C, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients. *Intensive Care Med* 2004;30(9):1740–6.
20. Feissel M, Michard F, Faller JP, Teboul JL. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy. *Intensive Care Med* 2004;30(9):1834–7
21. Muller L, Bobbia X, Toumi M, et al. Respiratory variations of inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with acute circulatory failure: need for a cautious use. *Crit Care* 2012;16(5):R188.
22. Lanspa MJ, Grissom CK, Hirshberg EL, Jones JP, Brown SM. Applying dynamic parameters to predict hemodynamic response to volume expansion in spontaneously breathing patients with septic shock. *Shock* 2013;39(2):155–60.
23. Weekes AJ, Tassone HM, Babcock A, et al. Comparison of serial qualitative and quantitative assessments of caval index and left ventricular systolic function during early fluid resuscitation of hypotensive emergency department patients. *Acad Emerg Med* 2011;18(9):912–21.

## Anexos

### Anexo A.

	<b>Comité de Ética en Investigación del Hospital General de Mexicali</b>	CEI-HGMXL-ISESALUD
Unidad Administrativa: Departamento de Enseñanza e inv.		Área Responsable: Comité de Enseñanza e Investigación

Asunto: Dictamen de Protocolo  
de Investigación





Mexicali, Baja California, a 2 de octubre de 2023.

**DR. JOSÉ DAVID DURÁN MORALES**  
MÉDICO RESIDENTE  
PRESENTE.-

Por medio de la presente, nos complace informar que el protocolo "Comparación entre la reposición hídrica transanestésica con fórmula de Holliday Segar y la reposición guiada por ultrasonografía de la vena cava inferior en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024", presentado ante el Comité de Ética en Investigación del Hospital General de Mexicali fue

APROBADO

Anexo B.

	<b>FORMATO MÍNIMO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO</b> Comité de Ética en Investigación del Hospital General de Mexicali	
	<b>FORMATO MÍNIMO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO</b> Comité de Ética en Investigación del Hospital General de Mexicali	

\_\_\_\_\_

**Nombre del testigo 2**                      **Firma**                      **Fecha y Hora**

**Relación con el participante:** \_\_\_\_\_

**Dirección:**  
\_\_\_\_\_

## Anexo C.

### INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN

*Ecografía de la vena cava inferior en la reposición hídrica transanestésica en pacientes sometidos a cirugía de traumatología y ortopedia de miembro inferior del Hospital General de Mexicali de septiembre de 2023 a enero de 2024.*

#### **1. FICHA DE IDENTIFICACION y CARACTERISTICAS CLINICAS**

Nombre:

Edad:

Sexo:

PAM basal:

FC basal:

Diagnostico:

Numero de expediente:

Numero de paciente:

Fecha:

#### **2. ANTECEDENTES PATOLOGICOS.**

- Hipertensión arterial
- Diabetes Mellitus
- Asma grave agudizada
- EPOC
- Cardiopatías
- Dislipidemias
- Insuficiencia renal crónica
- Cáncer (especificar)
- Otros (especificar)
- Antropometría: peso \_\_\_\_\_ Talla \_\_\_\_\_ IMC \_\_\_\_\_ Peso ideal \_\_\_\_\_

#### **3. CLASIFICACIÓN Y TIPO DE FRACTURA**

#### **4. CONDICIÓN HEMODINÁMICA DEL PACIENTE Y MANEJO PREVIO DE LÍQUIDOS Y FÁRMACOS**

Tipo de ventilación al inicio del procedimiento	Mecánica
	Espontánea
Tipo de ventilación al final del procedimiento	Mecánica
	Espontánea
Condición hemodinámica previa	Hipovolémico Normovolémico Hipervolémico
Volumen de carga al inicio del procedimiento	
Volumen total de carga total al final del procedimiento	
Uso de vasopresores durante el procedimiento	Si _____ No _____
Condición al final del procedimiento	Fallecido
	Vivo

**5. ECOGRAFÍA DE LA VENA CAVA INFERIOR:**

**Índice de colapsabilidad de VCI: diámetro máximo – diámetro mínimo / diámetro máximo X 100**

Medición en horas.							
	Inicio	1	2	3	4	5	Observaciones
Presión venosa central estimada (Presión de Aurícula Derecha)							
Parámetros – colapsabilidad con ventilación espontánea							
Estado del volumen basado únicamente en la VCI en la fase respiratoria	Hipovolemia.		Normovolemia.		Hiervolemia		
Diámetro de VCI (cm) máximo (expiración)							
Diámetro de VCI (cm) mínimo (inspiración)							
Índice caval (%) (índice de colapsabilidad)							

MANTENER INDICE DE 40 % o MENOR

**Índice de distensibilidad de VCI: (diámetro máximo – diámetro mínimo) X 100 / diámetro mínimo**

Medición en horas.							
	Inicio	1	2	3	4	5	Observaciones
Parámetros – distensibilidad con ventilación espontánea							
Diámetro interno máximo de la VCI en inspiración (cm)							
Diámetro interno mínimo de la VCI en expiración (cm)							
Índice de distensibilidad							

Mas de 18 %, se considera respondedor de volumen.

Comparación de reposición convencional y reposición guiada por US.

	1ER HORA	2DA HORA	3ER HORA	4TA HORA	5TA HORA	TOTAL INGRESOS POR EGRESOS
<b>REPOSICIÓN CONVENCIONAL</b> 1. Requerimientos basales: 2. Ayuno: 3. Trauma quirúrgico: 4. Sangrado: 5. Uresis:						
<b>REPOSICIÓN GUIADA POR US</b>						TOTAL INGRESO:

**6. PRUEBA DE DE ELEVACIÓN PASIVA DE MIEMBRO INFERIOR.**

**SE REALIZA ELEVACION A 45 GRADOS DE MIEMBROS INFERIORES POR 30 SEGUNDOS DESPUÉS DE LA CARGA PARA MEJORAR GASTO CARDIACO EN PACIENTES QUE APARENTEMENTE NO TUVIERON CAMBIOS EN PAM DESPUES DE REPOSICION HÍDRICA TRAS UN ESTADO HIPOTENSIVO ?  
SI / NO**

**¿HAY CAMBIOS EN LOS ÍNDICES PRE Y POST PRUEBA >15% COMO INDICADOR DE LA PROBABILIDAD DE RESPONDER A VOLÚMENES ADICIONALES?**

**SI / NO**