



BUAP

Hospital General de la Zona Norte “Bicentenario de la Independencia”

Instituto Mexicano del Seguro Social para el Bienestar (IMSS-BIENESTAR)

Nombre de la Tesis

**“MONITOREO DE LA VENTILACION MECÁNICA EN PACIENTES SOMETIDOS
A CIRUGIA LAPAROSCOPICA MANEJADOS CON ANESTESIA GENERAL EN
EL HOSPITAL GENERAL ZONA NORTE”.**

Tesis para obtener el Diploma de Especialidad:

Anestesiología

Presenta

Dra. Nicolee Andrea Parra Vásquez

Asesor Metodológico

Dra. Luna Ruíz María Elena

Asesor Experto

Dr. Robles Campos Alejandro

H. Puebla de Z. Enero 2025



Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis padres, quienes siempre han estado a mi lado brindándome su amor, apoyo incondicional y sabias orientaciones. Su sacrificio, confianza y dedicación han sido pilares fundamentales en mi vida y en mi formación académica. Sin ellos, este logro no habría sido posible.

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en todo momento. Su luz y protección me han acompañado a lo largo de este proceso, dándome la serenidad y la perseverancia necesarias para superar los desafíos.

Mi sincero agradecimiento al Hospital General de Zona Norte de Puebla por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación, y por el apoyo recibido durante el desarrollo de este trabajo. La experiencia y el conocimiento adquirido han sido invaluable y enriquecedores para mi crecimiento profesional.

Finalmente, agradezco a la Ciudad de Puebla, por ser un lugar que ha acogido mis sueños y que me ha permitido crecer tanto a nivel académico como personal. Su cultura y su gente han sido una fuente constante de inspiración.

A todos ustedes, muchas gracias por ser parte de este importante paso en mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN.....	7
2	INTRODUCCIÓN.....	8
3	ANTECEDENTES	9
3.1	ANTECEDENTES GENERALES	9
3.1.1	Cirugía Laparoscópica.....	9
3.1.2	Acceso quirúrgico.....	9
3.1.3	Cambios fisiológicos en la cirugía laparoscópica.....	10
3.1.4	Monitorización en cirugía laparoscópica.....	12
3.1.5	Anestesia general.....	13
3.1.6	Ventilación mecánica.....	15
3.1.7	Monitoreo ventilatorio.....	16
3.1.8	Ventilación protectora en cirugía laparoscópica.....	16
3.1.9	Volumen corriente.....	17
3.1.10	PEEP (Positive End-Expiratory Pressure).....	18
3.1.11	Presión de conducción o <i>Driving Pressure</i>	19
3.1.12	Frecuencia respiratoria.....	20
3.1.13	Fracción inspirada de Oxígeno.....	21
3.1.14	Dióxido de carbono al final de espiración (EtCO ₂).....	22
3.1.15	Presión pico.....	22
3.1.16	Compliance.....	23
3.1.17	Presión meseta.....	24
3.2	ANTECEDENTES ESPECÍFICOS:	24
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
4.1	JUSTIFICACIÓN.....	27
4.2	HIPOTESIS	28
4.2.1	Hipótesis nula.....	28
4.2.2	Hipótesis alternativa.....	28
5	OBJETIVOS	29
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	29

5.2	OBJETIVO ESPECIFICO:	29
6	MATERIAL Y MÉTODOS	30
6.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
6.2	UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL	30
6.3	ESTRATEGIA DE TRABAJO	30
6.3.1	Criterios de inclusión.....	30
6.3.2	Criterios de exclusión.....	31
6.4	DISEÑO Y TIPO DE MUESTREO	31
6.4.1	Definición y operacionalización de variables.....	31
6.4.2	Análisis estadístico.	33
6.5	CRONOGRAMA	34
7	RESULTADOS	35
8	DISCUSIÓN	56
8.1	CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS Y CAMBIOS VENTILATORIOS ¡Error! Marcador no definido.	
8.2	DIFERENCIAS DE SEXO EN LOS PARÁMETROS VENTILATORIOS ¡Error! Marcador no definido.	
8.3	INFLUENCIA DE LA EDAD EN LOS PARÁMETROS VENTILATORIOS ¡Error! Marcador no definido.	
9	CONCLUSIÓN	59
10	BIBLIOGRAFÍA	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definición y operacionalización de variables	31
Tabla 2. Cronograma de Actividades	34
Tabla 3. Resumen de Variables por Edad.....	35
Tabla 4. Frecuencias y porcentajes de las variables de género.....	35
Tabla 5. Descripción del EtCo ₂ antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general	36
Tabla 6. Descripción de la Presión Meseta antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general	36
Tabla 7. Descripción de la Presión Pico antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general	37
Tabla 8. Descripción de la Compliance antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general	38
Tabla 9. Descripción de Driving Pressure antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general	38
Tabla 10. Análisis de resultado de la EtCO ₂ discriminada por Sexo.....	39
Tabla 11. Análisis de resultado de la Presión Meseta ₂ discriminada por Sexo.....	41
Tabla 12. Análisis de resultado de la Driving Pressure discriminada por Sexo.....	42
Tabla 13. Análisis de resultado de la Presión Pico discriminada por Sexo.	43
Tabla 14. Análisis de resultado de la Compliance discriminada por Sexo.	44
Tabla 15. Frecuencia de edad agrupado por decenios	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de los cambios de Etco ₂ antes del neumoperitoneo.	46
Gráfico 2. Comparación de los cambios de Etco ₂ durante el neumoperitoneo.	46

Gráfico 3. Comparación de los cambios de E _t CO ₂ posterior al neumoperitoneo. ...	47
Gráfico 4. Comparación de los cambios de presión meseta antes del neumoperitoneo.	48
Gráfico 5. Comparación de los cambios de presión meseta durante el neumoperitoneo.	48
Gráfico 6. Comparación de los cambios de presión meseta después del neumoperitoneo.	49
Gráfico 7. Comparación de los cambios de Driving Pressure antes del neumoperitoneo.	50
Gráfico 8. Comparación de los cambios de Driving Pressure durante el neumoperitoneo.	50
Gráfico 9. Comparación de los cambios de Driving Pressure después del neumoperitoneo.	51
Gráfico 10. Comparación de los cambios de la presión pico antes del neumoperitoneo.	52
Gráfico 11. Comparación de los cambios de la presión pico durante el neumoperitoneo.	52
Gráfico 12. Comparación de los cambios de la presión pico después del neumoperitoneo.	53
Gráfico 13. Comparación de los cambios de la Compliance antes del neumoperitoneo.	54
Gráfico 14. Comparación de los cambios de la Compliance durante el neumoperitoneo.	54
Gráfico 15. Comparación de los cambios de la Compliance después del neumoperitoneo.	55

1 RESUMEN

Introducción: La cirugía laparoscópica se ha convertido en un estándar para muchos procedimientos abdominales debido a su naturaleza mínimamente invasiva. Sin embargo, el uso del neumoperitoneo con dióxido de carbono (CO₂) puede provocar alteraciones cardiorrespiratorias que representan un desafío para el anestesiólogo. Este estudio se centró en analizar los cambios ventilatorios antes, durante y después del neumoperitoneo, monitorizando parámetros claves como la presión meseta, presión pico, driving pressure, compliance y EtCO₂.

Métodos: Se realizó un estudio descriptivo y longitudinal en 78 pacientes sometidos a cirugía laparoscópica programada. Se registraron los cambios en los parámetros ventilatorios (presión meseta, presión pico, EtCO₂, compliance, y driving pressure) antes, durante y después del neumoperitoneo. Los datos fueron analizados utilizando pruebas estadísticas para determinar la significancia de los cambios observados.

Resultados: El EtCO₂ mostró un aumento significativo durante el neumoperitoneo, con una media de 36.28 mmHg comparado con los 32.31 mmHg previos al procedimiento. La compliance pulmonar disminuyó durante el neumoperitoneo (media 36.85 cmH₂O) y se recuperó parcialmente tras el procedimiento (media 47.68 cmH₂O). La driving pressure también mostró variaciones significativas con una elevación durante el neumoperitoneo (media 12.71 cmH₂O).

Conclusiones: La monitorización detallada de los parámetros ventilatorios durante la cirugía laparoscópica bajo anestesia general es esencial para garantizar un manejo seguro del paciente. Este estudio proporciona evidencia de la necesidad de ajustar la ventilación mecánica de forma dinámica durante el neumoperitoneo.

Palabras Claves: Neumoperitoneo, Cirugía Laparoscópica, Presión Meseta, Presión Pico, *Driving Pressure*, *Compliance* y EtCO₂.

2 INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en medicina han introducido la cirugía laparoscópica, la cual se ha convertido en una técnica quirúrgica estándar para numerosos procedimientos abdominales. Esta modalidad es elogiada por su mínima invasión, lo que se traduce en una disminución significativa de la morbimortalidad de los pacientes. A pesar de los beneficios evidentes en los resultados, es importante señalar que la cirugía laparoscópica presenta desafíos técnicos notables tanto para el cirujano como para el anestesiólogo (4,5).

Una de las desventajas más destacadas, tanto para el personal médico como para el paciente, especialmente para el anestesiólogo, es el uso del neumoperitoneo. Este procedimiento, que implica la aplicación de presión intrabdominal y el uso de dióxido de carbono (CO₂), puede ocasionar alteraciones fisiológicas significativas a nivel cardiorrespiratorio (3,4).

En cuanto a las repercusiones respiratorias, se observan diversos cambios, desde el desplazamiento de las estructuras torácicas hasta la alteración en la mecánica ventilatoria. Estos cambios afectan los volúmenes pulmonares, la distensibilidad y la resistencia, obstaculizando el intercambio gaseoso debido a desigualdades en la ventilación perfusión. Todo esto representa un desafío sustancial para el anestesiólogo, quien debe poseer un profundo conocimiento de los cambios fisiológicos que se presentarán y actuar de manera adecuada en respuesta a ellos (3,5).

3 ANTECEDENTES

3.1 ANTECEDENTES GENERALES

3.1.1 Cirugía Laparoscópica.

La cirugía laparoscópica se ha consolidado como el procedimiento quirúrgico predominante para abordar la patología abdominal en la actualidad. Este enfoque se distingue por ser seguro, con un bajo riesgo de complicaciones, y proporciona notables ventajas en comparación con la cirugía abierta. Entre los beneficios destacados se encuentran la minimización del tamaño de la incisión, la reducción del trauma y las molestias postoperatorias, así como tasas de recuperación más rápidas y una menor incidencia de infecciones de heridas postoperatorias (4,12). Sin embargo, es esencial señalar que el uso del neumoperitoneo, necesario para lograr una visualización quirúrgica adecuada y facilitar la manipulación quirúrgica, puede generar cambios fisiológicos significativos, incluyendo modificaciones a nivel cardiorrespiratorio. (4,5,9,12)

3.1.2 Acceso quirúrgico.

La cirugía laparoscópica, una técnica mínimamente invasiva, implica la realización de pequeñas incisiones para introducir un laparoscopio (una pequeña cámara que transmite imágenes detalladas del estado de los órganos), facilitando así su manipulación. A través de tres o cuatro incisiones de 0,5 a 1 cm, se introducen instrumentos llamados trocares, a diferencia de las incisiones más grandes de 15 a 20 cm utilizadas en la cirugía convencional. (9,11,12)

Para exponer el espacio intraperitoneal, se utiliza el neumoperitoneo, que se inicia mediante un insuflador. Aunque comúnmente se utiliza la vía umbilical, también se puede realizar en otros sitios como el hipocondrio izquierdo, las fosas iliacas o por vía transvaginal, según la comodidad del cirujano. Se administra CO₂, considerado el gas ideal por su falta de olor, color, inercia fisiológica, no inflamabilidad y alta solubilidad en el plasma, además de su rápida eliminación por la ventilación

pulmonar, que limita el riesgo de hipercapnia severa. (9, 11,13)

La insuflación intraperitoneal se logra mediante una pequeña incisión subumbilical, a través de la cual se introduce una Aguja de Veress de acero inoxidable conectada a un insuflador autorregulable y automatizado. La presión intraabdominal (PIA) se controla para evitar que exceda los 15 mmHg, reduciendo así las complicaciones asociadas con el CO₂ y la inestabilidad cardiopulmonar intensa. (11,13)

La Aguja de Veress se reemplaza posteriormente por un trocar para la introducción del laparoscopio (9, 11). En situaciones que requieran la manipulación manual de tejidos o la extracción de piezas grandes, se puede emplear un abordaje manual asistido por el laparoscopio, con una única incisión de 5 a 7,5 cm en la pared abdominal. Para visualizar las estructuras de la mitad inferior del abdomen, se modifica la posición del paciente a Anti-Trendelenburg o Posición de Trendelenburg extrema. (9, 11,12,13)

3.1.3 Cambios fisiológicos en la cirugía laparoscópica.

La cirugía laparoscópica, considerada como un procedimiento mínimamente invasivo, ha demostrado mejorar costos y morbimortalidad en comparación con la cirugía abierta. Sin embargo, no está exenta de riesgos específicos para la salud de los pacientes sometidos a estos procedimientos. Este enfoque induce cambios fisiológicos que afectan a múltiples sistemas, influenciados por factores quirúrgicos, anestésicos y las propias características del paciente. (2,4,6)

La sobrecarga mecánica directa impuesta al paciente durante el procedimiento, la estimulación neuroendocrina y la creación de neumoperitoneo son los principales elementos que contribuyen a las perturbaciones funcionales observadas (5,6,7). Aunque los pacientes sanos suelen tolerar estos cambios fisiológicos sin alteraciones significativas en sus signos vitales o ventilatorios, es esencial comprender detalladamente la fisiología normal y los cambios resultantes del aumento de la presión intraabdominal para reducir complicaciones y optimizar los resultados de la cirugía. (2,4,14)

El método implica la insuflación abdominal con CO₂ para crear un campo quirúrgico adecuado, generando una presión intraabdominal (PIA) que debe mantenerse en el rango de 12-15 mmHg, ya que un aumento de estas presiones puede aumentar los cambios fisiológicos y las complicaciones cardiorrespiratorias postoperatorias (4,5,6,7). El neumoperitoneo es el principal factor de los cambios hemodinámicos observados en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica, principalmente como consecuencia del aumento de la PIA y la absorción de CO₂, que provoca respuestas neuro humorales. (4,5,6,7)

La PIA elevada genera compresión de la vena cava inferior, compresión aórtica, disminución del flujo sanguíneo esplácnico, disminución del flujo sanguíneo renal y desplazamiento diafragmático. Esto conlleva a cambios en el retorno venoso y un aumento de la resistencia vascular periférica, resultando en elevaciones significativas de catecolaminas, cortisol, vasopresina, péptido natriurético auricular y aldosterona. (2,3,4, 6 y 17)

Entre los efectos cardiovasculares secundarios al neumoperitoneo, podemos evidenciar disminución del gasto cardiaco, aumento de la presión arterial y aumento de las resistencias vasculares pulmonar y sistémica. El inicio del neumoperitoneo puede generar bradicardia sinusal, lo cual se puede revertir con la liberación de la presión, y asegurando que la presión intraabdominal (PIA) no supere los 15 mmHg. Además, hay que tener en cuenta los cambios de posición que se utilizan en la cirugía laparoscópica, dependiendo del procedimiento a realizar (4,6). En la posición de Trendelenburg, tendremos cambios hemodinámicos asociados, como aumento del retorno venoso, aumento del gasto cardiaco, disminución de la capacidad residual funcional y aumento de la relación ventilación/perfusión (V/Q). A diferencia de la posición de Anti-Trendelenburg, que generará disminución del retorno venoso, disminución del gasto cardiaco, aumento de la capacidad residual funcional y disminución en la relación V/Q. Por lo tanto, también es importante evaluar y monitorizar a los pacientes al momento de realizar las diferentes posiciones. (3, 4 y 6)

A nivel pulmonar, la insuflación pulmonar va a generar cambios significativos en su función, como la elevación diafragmática debido al aumento de la PIA, lo que generará disminución de la compliancia pulmonar en un 30-50%, aumento en las presiones de la vía aérea, aumento de la presión meseta con aumento de la distensibilidad pulmonar en un 50%, y disminución en la capacidad residual funcional. La presión parcial de CO₂ se incrementa por la absorción sanguínea de dicho gas desde la cavidad peritoneal y se puede evidenciar a los cinco minutos posteriores al inicio de la insuflación abdominal (3, 6 y 13). Estos cambios también pueden causar hipoxemia o aumentar el gradiente de tensión de oxígeno alveolo arterial (AaDO₂). El CO₂ en el neumoperitoneo se asocia con un aumento de precarga y poscarga en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica, también disminución del rendimiento cardíaco (acortamiento fraccional), pero no afecta el gasto cardíaco. Los cambios de posición del paciente modifican todavía más los efectos de la presión intraabdominal. (3, 4, 6, 13 y 17)

Durante el neumoperitoneo se disminuye la función renal. La presión intracraneal y perfusión cerebral aumentan durante la posición de Trendelenburg y el neumoperitoneo. En pacientes sanos, tales cambios fisiológicos cerebrales son tolerados de forma adecuada, pero la posición extrema de Trendelenburg conservada por mucho tiempo y el neumoperitoneo, se han vinculado con edema cerebral agudo en el postoperatorio.

La presión intraocular (TIO) aumenta en el sujeto en posición extrema de Trendelenburg. (3, 4)

3.1.4 Monitorización en cirugía laparoscópica.

La monitorización adecuada en el manejo de la cirugía laparoscópica es fundamental para detectar oportunamente y reducir el índice de complicaciones durante el transoperatorio, asegurando así un manejo anestésico óptimo y manteniendo una adecuada mecánica ventilatoria durante el procedimiento. (1)

Esta monitorización debe incluir aspectos no invasivos que abarquen la toma de

presión arterial no invasiva, electrocardiograma, oximetría de pulso, presión de la vía aérea, dióxido de carbono al final de la expiración (ETCO₂) y la estimulación nerviosa periférica; además, se debe contemplar el control de la temperatura corporal. En casos de gravedad o en presencia de compromiso de la función cardiopulmonar, se recomienda la monitorización hemodinámica invasiva; es esencial contar con un ventilador adecuado que permita la modificación de variables dinámicas y la utilización de diferentes modos ventilatorios. (1, 16)

La anestesia general se ha consolidado como el método de elección en estos pacientes, ya que posibilita la adecuada monitorización y control de las posibles complicaciones asociadas a los cambios fisiopatológicos que se presentan durante la cirugía laparoscópica. (1)

Las complicaciones más relevantes en el ámbito de la anestesiología están relacionadas con los efectos cardiopulmonares del neumoperitoneo, así como la absorción sistémica de CO₂, la insuflación extraperitoneal del gas y la embolia venosa gaseosa. El grado de los cambios cardiovasculares vinculados a la presión del neumoperitoneo depende de la interacción de factores que incluyen desde la inducción anestésica, la posición del paciente (ya sea en Fowler o Trendelenburg) hasta las presiones intraabdominales obtenidas durante la insuflación de CO₂ (1, 16, 18 y 22)

3.1.5 Anestesia general.

La anestesia general es un estado reversible de pérdida de conciencia inducido de manera controlada para permitir la realización de procedimientos médicos o quirúrgicos sin dolor ni conciencia. Durante la anestesia general, el paciente se encuentra en un estado de inconsciencia profunda y no es capaz de sentir dolor ni de recordar lo que ocurre durante el procedimiento. (18)

La administración de anestesia general implica la combinación de medicamentos anestésicos para lograr varios efectos, como la pérdida de conciencia, la relajación muscular, la analgesia (ausencia de dolor) y, en algunos casos, la amnesia (pérdida

de memoria). Este proceso se realiza bajo la supervisión de un anestesiólogo (médico especializado en el manejo de la anestesia y el cuidado del paciente durante el procedimiento). Algunos de los medicamentos utilizados en la anestesia general incluyen:

- Anestésicos Inhalatorios: Gases o vapores inhalados que inducen y mantienen la anestesia.
- Anestésicos Intravenosos: Medicamentos administrados a través de una vena para inducir y mantener la anestesia.
- Relajantes Musculares: Sustancias que relajan los músculos y facilitan la intubación y la realización de procedimientos quirúrgicos, Analgésicos: Medicamentos que proporcionan alivio del dolor durante y después del procedimiento.

Además, durante la anestesia general, se realiza un monitoreo continuo de las funciones vitales del paciente, como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, la saturación de oxígeno y la concentración de gases espirados. (18, 22)

La anestesia general es utilizada en una variedad de procedimientos quirúrgicos, su objetivo principal es garantizar la seguridad y el confort del paciente durante el procedimiento, permitiendo que los profesionales médicos realicen el trabajo necesario sin que el paciente sienta dolor o esté consciente. La administración y el monitoreo cuidadoso de la anestesia son esenciales para minimizar los riesgos y garantizar una recuperación segura. (18, 22)

La cirugía laparoscópica es un procedimiento que, debido a sus múltiples cambios fisiológicos, requiere una monitorización óptima y completa, no solo hemodinámica, sino también ventilatoria. Por esta razón, la anestesia general y la ventilación mecánica invasiva se consideran los pilares para la realización de este procedimiento. Se debe tener en cuenta los cambios en el CO₂ debido a su absorción, la cual se obtiene con una PIA (presión intraabdominal) de 10 mmHg. El CO₂ absorbido se excreta únicamente a través de los pulmones y, por lo tanto, su

eliminación continúa en el postoperatorio. Por esto, es importante el manejo de este tipo de paciente con anestesia general y bajo ventilación mecánica invasiva y tener la capacidad de modificar la eliminación de este. (1, 2 y 5)

3.1.6 Ventilación mecánica.

La ventilación mecánica es una herramienta crucial en el ámbito médico, especialmente durante procedimientos quirúrgicos y en el manejo de pacientes críticos. Se define como una ayuda artificial externa a la respiración que utiliza un sistema mecánico para introducir gas en la vía aérea del paciente. Esta técnica se ajusta según las necesidades específicas del paciente y ha evolucionado a lo largo del tiempo para ofrecer una mayor personalización y optimización. (1,18)

Los modos ventilatorios como controlados por volumen, controlados por presión, SIMV, PSV y CPAP, ofrecen diferentes enfoques para la administración de la ventilación mecánica. Cada modo tiene sus propias características y aplicaciones específicas, permitiendo a los profesionales de la salud adaptarse a las condiciones clínicas de cada paciente. (23)

La consideración de parámetros protectores de la vía aérea es esencial para evitar complicaciones pulmonares, como el volutrauma, ateletrauma, barotrauma y biotrauma. La personalización de la ventilación según las necesidades individuales del paciente contribuye a una atención más segura y efectiva. (1, 5)

En el ámbito anestésico, las máquinas de anestesia suelen proporcionar modos ventilatorios controlados por volumen y por presión. La selección del modo y la adaptación de los parámetros ventilatorios son críticas para mantener una ventilación adecuada durante la anestesia y la cirugía, minimizando los riesgos asociados. (18)

En general, la evolución continua en la tecnología y la comprensión de los principios de la ventilación mecánica ha mejorado significativamente la seguridad y la eficacia de este proceso, permitiendo a los profesionales de la salud brindar una atención más personalizada y minimizar las complicaciones respiratorias en los pacientes.

El seguimiento de los parámetros ventilatorios permite evitar complicaciones durante y después del procedimiento quirúrgico. La monitorización de variables ventilatorias, como EtCO₂, presión pico, distensibilidad, *compliance* y presión meseta nos proporciona una idea de la dinámica ventilatoria actual del paciente., esto permite mantener una ventilación lo más fisiológica y adecuada posible para el paciente. (1, 5)

3.1.7 Monitoreo ventilatorio.

El manejo del paciente programado para cirugía laparoscópica bajo anestesia general requiere una monitorización adecuada de la ventilación mecánica, convirtiéndose en la base de la monitorización de esta técnica anestésica. (1,5)

La ventilación mecánica intraoperatoria es necesaria para proporcionar un adecuado intercambio gaseoso durante la anestesia general; sin embargo, no está exenta de efectos nocivos. Una estrategia de ventilación protectora incluye una combinación de un volumen corriente adecuado, niveles adecuados de presión positiva al final de la espiración (PEEP) y el manejo adecuado de las presiones pulmonares para evitar complicaciones pulmonares posteriores como el volutrauma y el ateletrauma; por lo tanto, es importante la monitorización de la respuesta fisiológica a los diferentes cambios que se presentan, especialmente durante la cirugía laparoscópica. (1)

Se ha dedicado esfuerzo a individualizar la ventilación mecánica y desarrollar estrategias de ventilación protectora para prevenir lesiones ventilatorias inducidas. Es crucial conocer los parámetros estáticos y dinámicos de la ventilación mecánica, así como los valores de protección pulmonar, para evaluar los diferentes cambios fisiológicos durante la cirugía laparoscópica. Esto contribuye a optimizar la atención del paciente y reducir la incidencia de complicaciones respiratorias asociadas al procedimiento. (1, 5)

3.1.8 Ventilación protectora en cirugía laparoscópica.

La ventilación mecánica protectora, implementada en modo controlado por

volumen, permite la programación de parámetros cruciales, tales como el volumen tidal (que debe calcularse considerando el peso ideal en pacientes sanos y el peso predicho en aquellos con Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo -SDRA-), la frecuencia respiratoria, *Positive End-Expiratory Pressure* (PEEP), tiempo inspiratorio y presión límite. Estos ajustes son fundamentales para mantener niveles adecuados de presiones en la vía aérea, incluyendo la presión de conducción, presión meseta y presión pico, así como para supervisar el volumen minuto, *compliance* y EtCO₂. (1)

La preservación de la mecánica ventilatoria y la prevención de la aparición de lesiones pulmonares inducidas por la ventilación (BILIS) durante el transoperatorio son objetivos esenciales. La vigilancia detallada de parámetros, como la presión de la vía aérea, contribuye significativamente a evitar complicaciones y garantizar una ventilación segura. (1,5)

3.1.9 Volumen corriente.

El Volumen Tidal o Corriente (*Tidal Volumen*, VT) se refiere al volumen de aire programado que circula entre una inspiración y una espiración. En un adulto promedio, los valores normales aproximados son de 500 ml, manejando de 5-7 ml/kg en cada inspiración. (1)

Se ha observado que un volumen corriente intraoperatorio bajo, situado entre 6-8 ml/kg de peso corporal ideal, debe ser aplicado en todos los pacientes sometidos a anestesia general, según múltiples estudios. Este enfoque ayuda a disminuir el riesgo de volutrauma, el cual se caracteriza por la sobredistensión pulmonar, activación de la cadena inflamatoria y aumento del riesgo de biotrauma. Este último está relacionado con el ateletrauma, que se ve forzado por el uso de volúmenes corrientes muy bajos, especialmente en pacientes con volúmenes bajos y bajos niveles de PEEP. (1)

Por lo tanto, se recomienda aplicar adecuados niveles de PEEP y gestionar volúmenes corrientes bajos. Estas prácticas pueden reducir la morbimortalidad, y

se sugiere mantener valores de volumen Tidal entre 6-8 ml/kg ajustado al peso ideal en pacientes sanos y al peso predicho en pacientes con Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA). Este enfoque contribuye a optimizar la ventilación durante la anestesia general, minimizando riesgos asociados a la mecánica ventilatoria. (1)

3.1.10 PEEP (Positive End-Expiratory Pressure).

Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) se define como la presión en los pulmones (presión alveolar) al final de la espiración, en comparación con la presión atmosférica. La determinación del nivel adecuado de PEEP ha sido objeto de debate, ya que niveles elevados se han asociado con deterioro hemodinámico sin un claro beneficio clínico en comparación con PEEP fisiológicas. En este sentido, el uso del *driving pressure* o presión de conducción se considera un sustituto disponible para evaluar la tensión pulmonar global, y valores inferiores a 12.5 cmH₂O se asocian con menores complicaciones pulmonares transoperatorias. (1, 2)

Factores como el neumoperitoneo, la hipertensión intraabdominal, la obesidad y la posición de Trendelenburg pueden influir en la relación entre la *driving pressure* y la presión transpulmonar. Establecer un PEEP adecuado dependerá de múltiples factores y de la monitorización ventilatoria actual del paciente, incluyendo valores de presión meseta y *driving pressure*, con el objetivo de evitar complicaciones ventilatorias. Aunque muchas fuentes sugieren un PEEP fisiológico entre 5-6 cmH₂O, se recomienda la monitorización adecuada y ajustes según los parámetros protectores pulmonares previamente mencionados. (1)

Varios estudios han indicado que un nivel de PEEP de al menos 10 cmH₂O, especialmente cuando está precedido por una maniobra de reclutamiento, es necesario para mantener los pulmones abiertos durante la ventilación mecánica. Se ha demostrado que este nivel de PEEP ayuda a reducir la incidencia de atelectasias intraoperatorias. La individualización de la terapia y la adaptación a las condiciones específicas del paciente son esenciales para optimizar el manejo ventilatorio. (1, 5)

En el contexto de la cirugía laparoscópica, se ha observado que el neumoperitoneo provoca un aumento en la Presión Intraabdominal (PIA), lo cual tiene un impacto significativo en la mecánica respiratoria. En pacientes bajo anestesia general, esto resulta en un desplazamiento cefálico del diafragma, reduciendo su capacidad residual funcional, como se mencionó anteriormente. Esta disminución de la presión transpulmonar puede conducir al colapso pulmonar, empeorando la mecánica pulmonar y el intercambio gaseoso, y predisponiendo a complicaciones como la Lesión Pulmonar Inducida por Ventilación (VILI). (1)

En este contexto, la *Positive End-Expiratory Pressure* (PEEP) juega un papel crucial al contrarrestar el aumento de la PIA y restaurar la mejora de la mecánica pulmonar. Algunos estudios recomiendan un nivel de PEEP de al menos 10 cmH₂O para lograr resultados óptimos en comparación con una PEEP de 5 cmH₂O en cirugías abiertas. Las maniobras de reclutamiento y la aplicación de PEEP después de la inducción del neumoperitoneo han demostrado mejorar significativamente la elasticidad y la oxigenación del sistema respiratorio. (1, 4).

En resumen, el manejo adecuado de la PEEP, junto con las maniobras de reclutamiento, es esencial para contrarrestar los efectos adversos del neumoperitoneo en la mecánica respiratoria durante la cirugía laparoscópica, contribuyendo así a una mejor función pulmonar y evitando complicaciones relacionadas con la ventilación.

3.1.11 Presión de conducción o *Driving Pressure*.

La presión de conducción (*driving pressure*) se define como la diferencia entre la presión meseta y la PEEP ($P_{plat}-PEEP$). Para medir con precisión la presión meseta, se requiere que el paciente esté bajo un modo controlado por volumen, lo cual permite una retención inspiratoria prolongada. esta retención inspiratoria prolongada no siempre es factible en la mayoría de las máquinas de anestesia en el quirófano. Una aproximación aceptable se puede obtener aumentando la pausa al final de la espiración en un 30-40%. La medición de la presión de conducción es cada vez más importante para una monitorización adecuada y para prevenir

complicaciones ventilatorias durante el transoperatorio. (1, 5)

Una presión de conducción elevada se ha asociado con un mayor riesgo de morbilidad y se ha vinculado con un mayor riesgo de Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA) en el quirófano.

Aunque la presión de conducción tiene la capacidad de estimar el estrés y la tensión pulmonar, su utilidad puede estar limitada por los cambios en la distensibilidad de la pared torácica; sin embargo, sigue siendo ampliamente utilizada para guiar la ventilación mecánica intraoperatoria debido a su disponibilidad, facilidad de cálculo y relevancia fisiológica. A pesar de sus ventajas, en cirugías laparoscópicas en posición de Trendelenburg, el cambio en la distensibilidad de la pared torácica representa un desafío para el manejo adecuado del volumen minuto de estos pacientes; por lo tanto, se recomienda combinar la monitorización de la presión de conducción con un adecuado PEEP y maniobras de reclutamiento alveolar para disminuir las complicaciones ventilatorias (1).

Fórmula simplificada de la *Driving Pressure* (DP):

$$DP = \text{Presión meseta} - \text{PEEP}$$

PEEP: Presión al final de la espiración

3.1.12 Frecuencia respiratoria.

La frecuencia respiratoria desempeña un papel fundamental y a menudo subestimado en la ventilación mecánica, siendo de vital importancia para reducir el riesgo de Lesión Pulmonar Inducida por la Ventilación (VILI). Además, está relacionada con los niveles de dióxido de carbono al final de la espiración (EtCO₂) más que con las propiedades mecánicas del sistema respiratorio. Se debe tener en cuenta que la frecuencia respiratoria es directamente proporcional a la potencia mecánica, por lo que su gestión adecuada es esencial para la detección oportuna y para reducir el riesgo de la aparición de VILI. (1)

En estudios, se ha demostrado que la reducción de la frecuencia respiratoria mejora

los índices de daño pulmonar, y frecuencias respiratorias superiores a 14 respiraciones por minuto se han asociado con una mayor probabilidad de complicaciones pulmonares intraoperatorias. Además, se ha observado que una hipercapnia permisiva puede tener un efecto protector a nivel pulmonar. Es importante destacar que no se deben realizar ajustes bruscos en la frecuencia respiratoria, y si se realizan cambios, es crucial evaluar detalladamente las curvas, como la de flujo-tiempo, debido al alto riesgo de desarrollo de auto-PEEP. La hiperinsuflación pulmonar dinámica resultante de un mal manejo ventilatorio puede llevar a un deterioro hemodinámico. Por lo tanto, la atención cuidadosa a la frecuencia respiratoria y su ajuste gradual son componentes esenciales de la estrategia de ventilación para prevenir complicaciones pulmonares y mejorar los resultados intraoperatorios. (1, 4 y 5).

3.1.13 Fracción inspirada de Oxígeno.

La Fracción Inspirada de Oxígeno (FiO_2) se refiere a la concentración o proporción de Oxígeno en la mezcla del aire inspirado durante la ventilación mecánica o la administración de Oxígeno suplementario. La FiO_2 se expresa como un porcentaje, representando la fracción del gas inspirado que es Oxígeno (1,7).

En general, se suele recomendar mantener la FiO_2 a niveles moderados, ya que niveles elevados de Oxígeno inspirado pueden tener efectos adversos. La sustitución de Nitrógeno por Oxígeno dentro de los alvéolos puede empeorar la formación de atelectasia a través de un mecanismo de reabsorción. Sin embargo, existe consenso en que, durante la fase de inducción de la anestesia, se pueden obtener beneficios al administrar una FiO_2 alta, incluso del 100%. Este enfoque tiene como ventaja aumentar el tiempo de seguridad para la intubación, brindando más tiempo antes de que los niveles de oxígeno desciendan a niveles críticos. (1, 7)

En resumen, la gestión de la FiO_2 es una consideración importante en el manejo respiratorio durante procedimientos anestésicos y puede variar según la fase del procedimiento y las necesidades específicas del paciente. (1, 4 y 7)

3.1.14 Dióxido de carbono al final de espiración (EtCO₂).

La cirugía laparoscópica ha experimentado un aumento significativo en las últimas dos décadas, gracias a avances tecnológicos como mejoras en las imágenes de video, insufladores automáticos accionados por presión y tecnología de riego por succión de alto flujo. Estos avances facilitan las maniobras intrabdominales y han contribuido a que este tipo de procedimientos sea menos riesgoso. (1, 5 y 16)

Durante la cirugía laparoscópica, se utiliza dióxido de carbono (CO₂) para insuflar la cavidad abdominal. Este CO₂ se absorbe rápidamente desde el peritoneo hacia la circulación sanguínea, siendo la absorción mayor en insuflaciones extraperitoneales en comparación con las intraperitoneales. Se espera que la presión parcial de CO₂ en sangre arterial aumente progresivamente durante el procedimiento, alcanzando una meseta entre los 8-10 minutos después del inicio de la insuflación y evaluándose cambios significativos entre los 15-40 minutos. (16)

A los 5 minutos posteriores a la insuflación, se observa un aumento de la presión parcial de CO₂ en sangre arterial de hasta 10 mmHg en pacientes sanos, con disminución del pH, bicarbonato y exceso de base. Este aumento máximo se evidencia hasta los 60 minutos. Durante la estancia en la unidad postoperatoria, se ha observado que un porcentaje significativo de pacientes experimenta hipercapnia intraoperatoria (27%) y posoperatoria (56%). (16)

Es importante destacar que la absorción de CO₂ no se ve afectada por cambios de posición ni se ha demostrado beneficio al modificar las presiones intrabdominales después de la insuflación. La absorción de CO₂ está influenciada por alteraciones en la eliminación pulmonar, cambios en la mecánica ventilatoria y alteraciones en la ventilación-perfusión de los órganos. En pacientes con sepsis, la absorción puede aumentar y la eliminación puede disminuir; por lo tanto, es esencial tener en cuenta estos factores al manejar la ventilación durante la cirugía laparoscópica. (16)

3.1.15 Presión pico.

La presión pico en ventilación mecánica representa la presión máxima alcanzada al

final de la inspiración durante el ciclo respiratorio. Esta presión es la suma de la resistencia de la vía aérea y la presión necesaria para abrir los alvéolos (distensibilidad). La monitorización de la presión pico es esencial para evaluar y gestionar el riesgo de barotrauma, que se refiere al daño pulmonar causado por la presión excesiva en los alvéolos. (1, 4, 5)

Los valores de presión pico suelen recomendarse por debajo de 35 cmH₂O para garantizar la seguridad pulmonar. Un aumento en la presión pico puede indicar un aumento en la resistencia de la vía aérea o una disminución en la distensibilidad pulmonar. Por lo tanto, la monitorización continua de la presión pico es crucial para detectar cambios en la mecánica respiratoria y tomar medidas correctivas si es necesario. (1)

3.1.16 Compliance

La "*compliance*" (o "compliance" en español) en el contexto de la ventilación mecánica se refiere a la distensibilidad de los pulmones y la pared torácica. Es una medida de la capacidad de los pulmones para expandirse en respuesta a la presión. Cuanto mayor sea la *compliance*, más fácilmente los pulmones pueden expandirse durante la inspiración. La *compliance* pulmonar depende de la elasticidad del tejido pulmonar y de la resistencia de las vías respiratorias. (1)

La fórmula básica de la *compliance* es el cambio de volumen dividido por el cambio de presión. En términos más simples, es la capacidad de los pulmones para aceptar el volumen de aire en relación con la presión aplicada (1, 24 y 25).

La monitorización de la *compliance* es esencial en el manejo de la ventilación mecánica, ya que cambios en esta medida pueden indicar alteraciones en la función pulmonar o en la expansión de los pulmones. Una baja *compliance* puede ser indicativa de problemas como el Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA) o la fibrosis pulmonar, mientras que una alta *compliance* puede asociarse con condiciones como el enfisema. (24, 25)

La adaptación de la ventilación mecánica, incluida el ajuste de la Presión Positiva al

final de la Espiración (PEEP) y el volumen Tidal, se realiza a menudo en función de la *compliance* pulmonar para optimizar la ventilación y prevenir posibles complicaciones asociadas con una *compliance* alterada

3.1.17 Presión meseta.

La presión meseta es un parámetro crucial en la monitorización de la ventilación mecánica. Representa una aproximación de la presión alveolar y se obtiene después de una pausa inspiratoria breve. Este parámetro es esencial para evitar el riesgo de volutrauma, ya que proporciona información más precisa sobre la presión en los alvéolos y ayuda a ajustar la ventilación de manera segura. (1)

Aunque algunas máquinas de anestesia pueden no permitir una pausa inspiratoria formal, muchas de ellas proporcionan un valor ajustado de presión meseta que se puede utilizar para la monitorización. Se sugiere que los valores de presión meseta sean mantenidos por debajo de 30 cmH₂O para garantizar una ventilación adecuada y reducir el riesgo de lesiones pulmonares asociadas a la presión excesiva. (1, 7)

3.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS:

El manejo anestésico de la cirugía laparoscópica ha sido objeto de estudio desde sus inicios debido a los múltiples cambios fisiológicos presentes. Se ha enfatizado la importancia del manejo de la ventilación mecánica y su monitorización durante el transoperatorio. Es crucial ajustar los parámetros ventilatorios según el procedimiento quirúrgico y las características individuales del paciente para evaluar posibles cambios hemodinámicos y de ventilación-perfusión que requieran intervención externa y mantener una ventilación mecánica adecuada. Esto se logra mediante una monitorización detallada y el conocimiento necesario para realizar ajustes dinámicos según sea necesario.

En un artículo de revisión publicado en el 2017 en la revista *Circulation* por Tamara M y Col. (12) sobre las consecuencias cardiovasculares y ventilatorias durante la cirugía laparoscópica, se describen los principales cambios fisiológicos relacionados con la posición y el neumoperitoneo. Estos cambios incluyen

aumentos en la presión intraabdominal (PIA), que generan compresión de la vena cava inferior y la aorta, así como alteraciones en el flujo sanguíneo esplácnico, renal y otros. Además, se destacan cambios en la mecánica respiratoria, como el desplazamiento diafragmático y la disminución de la capacidad residual funcional. La revisión sugiere estrategias para mitigar estos cambios, como la optimización del volumen intravascular, la insuflación lenta del neumoperitoneo y el control de la PIA por debajo de 15 mmHg. (12)

Una revisión narrativa publicada en el 2021 por Alberto Fogagnolo y Col en la revista *Clinical Medicine* (1), enfatizó la importancia de parámetros específicos como el volumen Tidal, el PEEP, la presión de conducción, la frecuencia respiratoria y las maniobras de reclutamiento, durante la ventilación mecánica intraoperatoria. Se resalta que cada procedimiento quirúrgico tiene requisitos diferentes y se enfatiza la necesidad de ajustar múltiples variables para prevenir volutrauma y atelectrauma, especialmente en cirugías laparoscópicas. (1)

En cuanto a los modos ventilatorios, un estudio de la Revista Mexicana de Anestesiología publicado en 2021 por Lizbeth Cañas-Lucero y Col comparó tres modos (VCV, PCV y VCP-GC) en 21 pacientes, 7 por cada grupo sometidos a colecistectomías por laparoscopia, analizando durante el procedimiento frecuencia respiratoria, volumen espiratorio CO₂ al final de la espiración (EtCO₂), presión pico vía aérea, presión media pulmonar, distensibilidad saturación de oxígeno y volumen minuto respiratorio concluyendo que no había diferencias significativas si los parámetros ventilatorios se ajustaban individualmente a cada paciente. (16)

Considerando estos aspectos, la comprensión de los cambios fisiológicos en la cirugía laparoscópica y la identificación de poblaciones vulnerables son fundamentales. Se destaca la importancia de una monitorización adecuada, la optimización de parámetros ventilatorios y la evaluación preoperatoria para un manejo anestésico seguro. (16)

El estudio observacional de cohorte "*Metabolic Effects of Carbon Dioxide Insufflation During Laparoscopic Surgery: Changes in pH, Arterial Partial Pressure*

of Carbon Dioxide (PaCO₂), And End Tidal Carbon Dioxide (ETCO₂)" publicado en la revista *The Central African Journal of Medicine* del año 2022, donde 30 pacientes son sometidos a cirugía laparoscópica bajo anestesia general, con un volumen un VT= 6 ml/kg y un FR= 12 rpm, y se tomaron muestras de gases arteriales antes durante y después del neumoperitoneo, donde se evidenció que un bajo volumen Tidal produce una acidosis mixta, lo cual respalda la necesidad de evaluar los cambios fisiológicos durante la cirugía laparoscópica, destacando el aumento de la PaCO₂ y EtCO₂ con una caída significativa del pH durante el neumoperitoneo. Se subraya la importancia de mantener normocapnia o considerar la hipercapnia permisiva en estos pacientes para garantizar un procedimiento seguro. (15)

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la anestesia general, se han documentado cambios en la capacidad residual funcional, la mecánica respiratoria (*compliance* y resistencia), el intercambio de gases y el trabajo mecánico. La cirugía laparoscópica, al requerir neumoperitoneo, conlleva a compromiso respiratorio y alteración de la mecánica pulmonar intraoperatoria. Esto se debe a la insuflación de la cavidad abdominal con CO₂, que incrementa la presión sobre el diafragma y la difusión del CO₂, generando cambios significativos en la mecánica ventilatoria, así como en las funciones hemodinámicas y respiratorias.

La mortalidad asociada a complicaciones ventilatorias se estima en un rango entre el 8% y el 24%, variando según el tipo de cirugía, con cifras más elevadas en cirugía cardíaca (40%), seguida de cirugía torácica (30%), abdominal (7%) y vascular (6%). Basándonos en esta información, el presente estudio tiene como objetivo analizar las variaciones en la mecánica ventilatoria antes, durante y después del neumoperitoneo. Se medirán parámetros como la PEEP, *compliance*, resistencia, presión pico y presión meseta en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica. La pregunta de investigación planteada es la siguiente:

¿Cuáles son las variaciones en la dinámica ventilatoria que se presentan durante el preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica en el Hospital General de Zona Norte entre noviembre 2023 y junio 2024?

4.1 JUSTIFICACIÓN.

En México, la colecistitis litiasica es una enfermedad frecuente, con una relación de tres mujeres por cada hombre y una edad promedio de 37 años. Se estima que al menos el 25% de las mujeres y el 20% de los hombres desarrollarán cálculos biliares en algún momento de su vida (18); por ello, la realización de colecistectomías laparoscópicas es muy común en el país, dada su mínima invasión y la reducción de las complicaciones postoperatorias.

El monitoreo de los parámetros ventilatorios durante la anestesia general permite obtener información valiosa que contribuirá a una gestión más efectiva y segura de la ventilación durante la cirugía laparoscópica, especialmente en pacientes con factores de riesgo pulmonar.

El objetivo principal de este estudio es describir los cambios a nivel ventilatorio antes, durante y después del inicio del neumoperitoneo en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica. La obtención de datos detallados sobre los parámetros ventilatorios permitirá una mejor comprensión de los eventos respiratorios, todo esto encaminado a mejorar la toma de decisiones, optimizar la atención de los pacientes y prevenir futuras complicaciones asociadas a dicho procedimiento. Así mismo, este enfoque contribuirá significativamente a describir objetivamente la ausencia de necesidad de uso de recursos adicionales en la atención de los pacientes sometidos a cirugía por laparoscopia, ya que el monitoreo de los parámetros ventilatorios durante la anestesia general puede realizarse a través de los elementos disponibles en la institución, sin incurrir en costos adicionales realizando así una gestión más efectiva y segura.

4.2 HIPOTESIS

4.2.1 Hipótesis nula.

No hay cambios ventilatorios significativos durante el periodo preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio en pacientes sometidos a colecistectomía laparoscópica.

4.2.2 Hipótesis alternativa.

Existen cambios ventilatorios significativos durante el periodo preoperatorio, intraoperatorio y postoperatorio en pacientes sometidos a colecistectomía laparoscópica.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Describir de manera detallada las variaciones en los parámetros ventilatorios a nivel respiratorio en pacientes sometidos a cirugía laparoscópica bajo anestesia general en el Hospital General de la Zona Norte de Puebla desde noviembre de 2023 hasta junio de 2024.

5.2 OBJETIVO ESPECIFICO:

- Analizar los cambios en la monitorización ventilatoria durante el periodo transanestésico mediante la medición de la *compliance*, presión pico, presión meseta, PEEP y *driving pressure*.
- Describir los cambios en la dinámica ventilatoria antes, durante y posterior al inicio del neumoperitoneo, centrándose en parámetros específicos relacionados con la ventilación mecánica.

6 MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

- Por objetivo: Descriptivo.
- Por la direccionalidad: Longitudinal.
- Por recolección de datos: Observacional.
- Por la intervención del investigador: Analítico.

6.2 UBICACIÓN ESPACIOTEMPORAL

El proyecto se realizó en el Hospital General Zona Norte de Puebla, entre el mes de noviembre de 2023 y el mes de junio de 2024.

6.3 ESTRATEGIA DE TRABAJO

A los pacientes que cumplieron los criterios de inclusión se les dio manejo con anestesia general, posteriormente se inició la ventilación mecánica en modo control volumen, se realizó medición del CO₂, PEEP (Presión al final de la expiración), Presión Pico, Presión Meseta, *Compliance* estática, *Driving pressure*, y se midieron los valores antes, durante y posterior a la insuflación del neumoperitoneo observándose los cambios en los valores de las variables referidas y cambios ventilatorios.

6.3.1 Criterios de inclusión.

1. Pacientes mayores de 18 años y menores de 70 años.
2. Programados para cirugía laparoscópica en el Hospital General zona norte de Puebla.
3. Hombres y mujeres
4. Cirugía realizada con anestesia general.
5. Ventilación mecánica invasiva.
6. Clasificación ASA 1 y 2.
7. Pacientes manejados en modo ventilatorio volumen control.

6.3.2 Criterios de exclusión.

1. Pacientes con patología pulmonar previa como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, neumopatías obstructivas o restrictivas previas.
2. Pacientes con patología cardiovascular.
3. Pacientes con obesidad.
4. Pacientes con inestabilidad hemodinámica.
5. Pacientes con cirugía de urgencia.

6.4 DISEÑO Y TIPO DE MUESTREO

- **Diseño:** Descriptivo longitudinal observacional analítico
- **Muestreo:** Pacientes entre los 18 y 70 años de ambos sexos sometidos a cirugía laparoscópica programados, manejados bajo anestesia general en el Hospital General Zona Norte de Puebla entre noviembre 2023 hasta junio 2024

6.4.1 Definición y operacionalización de variables.

En la Tabla 1, se describen detalladamente cada una de las variables evaluadas en este estudio.

Tabla 1. Definición y operacionalización de variables

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	INDICADORES
Edad	Ser mayor de edad al momento de recolección de la información del estudio.	Edad en años al momento del estudio	Cuantitativa	Discreta	Edad

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	INDICADORES
Sexo	Cualquiera de las dos formas principales de individuos que se encuentran en muchas especies y que se distinguen respectivamente como mujeres u hombres, especialmente en función de sus órganos y estructuras reproductivas	Estado biológico al momento del estudio	Cualitativa	Dicotómica	Hombre Mujer
EtCO₂	La concentración máxima de dióxido de carbono espirado durante un ciclo respiratorio.	CO ₂ espirado antes durante y después del neumoperitoneo	Cuantitativa	Discreta	mmHg
Driving Pressure (dp)	Diferencia entre la presión meseta y la PEEP (P _{plat} -PEEP)	<i>Driving pressure</i> antes durante y después del neumoperitoneo	Cuantitativa	Discreta	cmH ₂ O
Presión meseta (pm)	Representa una aproximación de la presión alveolar y se obtiene después de una pausa inspiratoria breve	Presión meseta antes durante y después del neumoperitoneo	Cuantitativa	Discreta	cmH ₂ O
Presión pico (pp)	Representa la presión máxima alcanzada al final de la inspiración durante el ciclo respiratorio	Presión pico antes durante y después del neumoperitoneo	Cuantitativa	Discreta	cmH ₂ O

NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	INDICADORES
Compliance (cp)	Es una medida de la capacidad de los pulmones para expandirse en respuesta a la presión	<i>Compliance</i> antes durante y después del neumoperitoneo	Cuantitativa	Discreta	cmH ₂ O
PEEP (peep)	la presión en los pulmones (presión alveolar) al final de la espiración, en comparación con la presión atmosférica.	PEEP programada durante el procedimiento	Cuantitativa	Discreta	cmH ₂ O

6.4.2 Análisis estadístico.

Se realizó un análisis descriptivo utilizando frecuencia y porcentajes para las variables cualitativas ordinales y nominales. Para las variables cuantitativas, se calcularon la media, la desviación estándar y el rango. Con los datos obtenidos, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando el software SPSS, evaluando y comparando las variables entre los parámetros ventilatorios, la edad y el sexo, tanto antes como durante y después del inicio del neumoperitoneo. Se consideró significativa una diferencia con un valor $p < 0.05$.

6.5 CRONOGRAMA

Tabla 2. Cronograma de Actividades

Actividades	2023												2024											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Realización de Protocolo de Investigación																								
Sometimiento del protocolo al comité técnico científico y de ética																								
Recolección de información																								
Tabulación de los datos																								
Análisis de los datos																								
Redacción de informe final																								
Entrega de primer borrador de artículo																								
Entrega Artículo final																								

7 RESULTADOS

En total, se realizaron 190 procedimientos laparoscópicos en el Hospital General Zona Norte de Puebla entre el mes de noviembre de 2023 y el mes de junio de 2024. Se excluyeron aquellos pacientes que no cumplían con los criterios de inclusión del estudio. Finalmente, se midieron 78 pacientes que cumplían con los criterios de inclusión, con edades comprendidas entre 18 y 70 años. Para la muestra analizada se evaluó el promedio de edad con una media de 41 años y una desviación estándar de 12.1 donde la edad máxima fue de 67 años y la mínima de 19 años. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Variables por Edad

DESCRIPTIVAS	EDAD
N	78
Perdidos	0
Media	41
Mediana	43.5
Desviación Estándar	12.1
Mínimo	19
Máximo	67

Se evidenció que la mayoría de los pacientes fueron mujeres con una frecuencia de 83.3% y hombres en menor medida con una frecuencia de 16.3%. (Ver Tabla 4)

Tabla 4. Frecuencias y porcentajes de las variables de género

SEXO	FRECUENCIAS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
F	65	83.3%	83.3%

SEXO	FRECUENCIAS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
M	13	16.7%	100%

Se evaluaron los cambios ventilatorios en toda la población, considerando variables como EtCO₂, presión meseta (presión de plato), *compliance*, presión pico y *driving pressure*, antes, durante y después del neumoperitoneo. El EtCO₂ mostró un incremento durante el neumoperitoneo, con una media de 36.28 mmHg. En este período, los valores de EtCO₂ fluctuaron entre 30 y 42 mmHg, reflejando un aumento respecto a los valores previos al neumoperitoneo (media de 32.31 mmHg). Estos cambios sugieren una respuesta ventilatoria al neumoperitoneo que podría ser clínicamente relevante (ver Tabla 5)

Tabla 5. Descripción del EtCo2 antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general

	etco2-A	etco2-D	etco2-DE
TOTAL	78	78	78
MEDIA	32.31	36.28	33.41
DESVIACION ESTANDAR	2.99	2.855	2.398
MINIMO	25	30	30
MAXIMO	38	42	39

En cuanto a la presión meseta (presión de plato), se observaron cambios significativos antes, durante y después del neumoperitoneo. La media de la presión meseta osciló entre 15.44 y 17.71 cmH₂O, con una desviación estándar que varió de 2.483 a 3.588 cmH₂O, y se encontró una diferencia estadísticamente significativa con un P < 0.003 (ver Tabla 6).

Tabla 6. Descripción de la Presión Meseta antes, durante y después del neumoperitoneo en la población

general

	pm-A	pm-D	pm-DE
TOTAL	78	78	78
MEDIA	16.36	17.71	15.44
DESVIACION ESTANDAR	2.483	3.528	3.588
MINIMO	8	9	7
MAXIMO	25	30	24

La presión pico, por otro lado, no presentó cambios significativos a lo largo del estudio. La media de la presión pico se mantuvo entre 18.23 y 19.54 cmH₂O, mostrando un aumento posterior al inicio del neumoperitoneo, pero permaneciendo dentro de los rangos de ventilación protectora en los tres momentos del estudio. La desviación estándar para la presión pico osciló entre 3.75 y 3.88 cmH₂O. (Ver Tabla 7)

Tabla 7. Descripción de la Presión Pico antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general

	pp-A	pp-D	pp-DE
TOTAL	78	78	78
MEDIA	18.69	19.54	18.23
DESVIACION ESTANDAR	3.882	3.910	3.755
MINIMO	11	11	11
MAXIMO	30	32	27

La *Compliance* medida en los tres momentos del estudio mostró cambios significativos durante el neumoperitoneo, similar a los cambios observados en el EtCO₂. El análisis reveló diferencias significativas en la *Compliance*, con un estadístico F de aproximadamente 46.87 (P < 0.05). Los valores promedio de compliance fueron: antes del neumoperitoneo con una media de 55.71 cmH₂O,

durante el neumoperitoneo con una media de 36.85 cmH₂O, y después del neumoperitoneo con una media de 47.68 cmH₂O. La desviación estándar varió de 11.78 cmH₂O antes del neumoperitoneo a 13.59 cmH₂O durante el neumoperitoneo y 11.30 cmH₂O después del neumoperitoneo. Estos resultados indican un descenso significativo en la *Compliance* durante el neumoperitoneo, seguido de una recuperación parcial después del procedimiento. (Ver Tabla 8)

Tabla 8. Descripción de la Compliance antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general

	cp-A	cp-D	cp-DE
TOTAL	78	78	78
MEDIA	55.71	36.85	47.68
DESVIACION ESTANDAR	11.78	13.59	11.30
MINIMO	30	14	21
MAXIMO	80	67	77

La *driving pressure*, que se calculó a partir de las demás variables, revelando diferencias significativas, con un estadístico F de aproximadamente 8.05 (P < 0.05). Los valores promedio de la *driving pressure* fueron: antes del neumoperitoneo con una media de 11.36 cmH₂O, durante el neumoperitoneo con una media de 12.71 cmH₂O y después del neumoperitoneo con una media de 10.40 cmH₂O. La desviación estándar osciló entre 3.483 y 3.588 cmH₂O a lo largo del estudio. Estos resultados sugieren que, a pesar de los cambios dinámicos asociados al neumoperitoneo, la ventilación mecánica se mantuvo en rangos de protección pulmonar (ver Tabla 9).

Tabla 9. Descripción de Driving Pressure antes, durante y después del neumoperitoneo en la población general

	dp-A	dp-D	Dp-DE
TOTAL	78	78	78

	dp-A	dp-D	Dp-DE
MEDIA	11.36	12.71	10.40
DESVIACION ESTANDAR	3.483	3.528	3.588
MINIMO	3	4	2
MAXIMO	20	25	19

Se realizó un segundo análisis para determinar que sexo presenta la mayor variación de los parámetros ventilatorios con respecto al EtCO₂ muestra los valores de EtCO₂ en tres fases (Antes, Durante y DEspués) desglosados por sexo. En la fase EtCO₂-A, las mujeres (65 observaciones) presentan una media de 32.3 mmHg con una desviación estándar de 2.95 mmHg; mientras que, para los hombres (13 observaciones) se obtuvo una media de 32.5 mmHg y una desviación estándar de 3.86 mmHg. En la fase EtCO₂-D, las mujeres muestran una media de 36.3 mmHg y una desviación estándar de 2.69 mmHg, mientras que los hombres tienen una media casi idéntica de 36.2 mmHg, pero con una mayor variabilidad, reflejada en una desviación estándar de 3.72 mmHg. En la fase EtCO₂-DE, la media en mujeres es de 33.5 mmHg, con una desviación estándar de 2.42 mmHg, mientras que en los hombres la media es ligeramente inferior (32.9 mmHg) con una desviación estándar de 2.33 mmHg. En términos de rangos, los valores mínimos y máximos son similares en ambos sexos a lo largo de todas las fases. Las mujeres tienden a mostrar menor variabilidad en los valores de EtCO₂ en comparación con los hombres, que presentan desviaciones estándar más altas en todas las fases. (Tabla 10)

Tabla 10. Análisis de resultado de la EtCO₂ discriminada por Sexo.

	SEXO	EtCo2 A	EtCo2 D	EtCo2 DE
N	F	65	65	65
	M	13	13	13

	SEXO	EtCo2 A	EtCo2 D	EtCo2 DE
MEDIA	F	32.3	36.3	33.5
	M	32.5	36.2	32.9
MEDIANA	F	33	36	34
	M	32	35	33
DESVIACION ESTANDAR	F	2.95	2.69	2.42
	M	3.36	3.72	2.33
MINIMO	F	25	30	30
	M	28	30	30
MAXIMO	F	37	42	39
	M	38	42	37

A pesar de estas diferencias en las medias y la variabilidad, el análisis de la presión meseta por sexo revela que en las mujeres (F), la media de la presión meseta es de 16.2 cmH₂O en la fase A, 17.4 cmH₂O en la fase D y 15.2 cmH₂O en la fase DE. Las medianas son similares a las medias, con resultados de: 16 cmH₂O, 17 cmH₂O y 15 cmH₂O en las fases A, D y DE, respectivamente. La desviación estándar en las mujeres varía de 3.64 cmH₂O en la fase A a 3.68 cmH₂O en la fase DE, lo que sugiere cierta variabilidad, especialmente en la última fase. Por otro lado, en los hombres (M), los valores medios son consistentemente más altos que en las mujeres, con una media de 17.4 cmH₂O en la fase A, 19.2 cmH₂O en la fase D y 16.8 cmH₂O en la fase DE. Las medianas también siguen esta tendencia, siendo mayores que en las mujeres. La desviación estándar en los hombres es menor, lo que indica menos variabilidad en sus valores de presión meseta. Los valores mínimos en los hombres oscilan entre 10 y 15 cmH₂O, mientras que los máximos van de 22 a 26 cmH₂O. En general, los hombres tienden a mostrar mayores valores de presión meseta en comparación con las mujeres, con menor variabilidad en sus medidas. (Ver Tabla 11)

Tabla 11. Análisis de resultado de la Presión Meseta₂ discriminada por Sexo

	SEXO	pm A	pm D	pm DE
N	F	65	65	65
	M	13	13	13
MEDIA	F	16.2	17.4	15.2
	M	17.4	19.2	16.8
MEDIANA	F	16	17	15
	M	18	19	17
DESVIACION ESTANDAR	F	3.64	3.58	3.68
	M	2.43	2.92	2.82
MINIMO	F	8	9	7
	M	14	15	10
MAXIMO	F	25	30	24
	M	22	26	22

La diferencia en la *Driving Pressure* (dp) entre los sexos y en distintos momentos del neumoperitoneo, indicaron que las medias de la presión de conducción varían entre los diferentes momentos (antes, durante y después del neumoperitoneo) y entre los sexos. En general, las diferencias en las medias de la presión de conducción entre los sexos no son tan marcadas, aunque los hombres tienden a tener valores ligeramente superiores en comparación con las mujeres. La variabilidad dentro de cada grupo también muestra diferencias significativas, con las mujeres exhibiendo una mayor dispersión en sus medidas, particularmente durante el neumoperitoneo, donde el rango de valores es más amplio. (Ver Tabla 12)

Tabla 12. Análisis de resultado de la Driving Pressure discriminada por Sexo.

	SEXO	dp A	dp D	dp DE
N	F	65	65	65
	M	13	13	13
MEDIA	F	11.2	12.4	10.2
	M	12.4	14.2	11.8
MEDIANA	F	11	12	10
	M	13	14	12
DESVIACION ESTANDAR	F	3.64	3.58	3.68
	M	2.43	2.92	2.82
MINIMO	F	3	4	2
	M	9	10	5
MAXIMO	F	20	25	19
	M	17	21	17

El análisis estadístico de la presión pico en los tres momentos del neumoperitoneo (antes, durante y después) revela algunas diferencias clave entre sexos. La media de presión pico es consistentemente más alta en los hombres en comparación con las mujeres, especialmente antes y durante el neumoperitoneo, con valores de 19.2 cmH₂O para los hombres frente a 18.6 cmH₂O para las mujeres antes del neumoperitoneo y 20.2 cmH₂O frente a 19.4 cmH₂O durante el neumoperitoneo. Las mujeres presentan una mayor desviación estándar, indicando una mayor variabilidad en sus medidas (3.95 cmH₂O antes del neumoperitoneo y 4.03 cmH₂O durante, frente a 3.63 cmH₂O y 3.32 cmH₂O en los hombres, respectivamente). Los rangos de valores también muestran que las mujeres tienen un rango más amplio, con valores mínimos y máximos más variados.

Tabla 13. Análisis de resultado de la Presión Pico discriminada por Sexo.

	SEXO	pp A	pp D	pp DE
N	F	65	65	65
	M	13	13	13
MEDIA	F	18.6	19.4	18.1
	M	19.2	20.2	18.8
MEDIANA	F	18	19	18
	M	20	20	19
DESVIACION ESTANDAR	F	3.95	4.03	3.80
	M	3.63	3.32	3.60
MINIMO	F	11	11	11
	M	14	17	11
MAXIMO	F	30	32	27
	M	25	30	25

La *Compliance* en los tres momentos del neumoperitoneo muestra diferencias notables entre ambos sexos. Las medias de *Compliance* son consistentemente más altas en las mujeres en comparación con los hombres: 56.3 cmH₂O frente a 52.8 cmH₂O antes del neumoperitoneo, 37.3 cmH₂O frente a 34.5 cmH₂O durante, y 48.5 cmH₂O frente a 45.0 cmH₂O después del neumoperitoneo. La mediana sigue una tendencia similar, con valores más altos en mujeres en todos los momentos. Las desviaciones estándar también son mayores en las mujeres (11.6 cmH₂O, 12.8 cmH₂O, 13.1 cmH₂O), en comparación con los hombres (12.9 cmH₂O, 12.8 cmH₂O, 10.9 cmH₂O); lo que indica una mayor variabilidad en las mediciones femeninas. Los rangos de los valores también muestran una mayor amplitud en las mujeres, con valores mínimos y máximos más amplios. Este patrón sugiere que, aunque las mujeres tienden a tener una mayor media de *Compliance*, la variabilidad es también más alta en ellas. Estos resultados indican que podría haber diferencias significativas en la respuesta a las condiciones del neumoperitoneo entre sexos, lo

cual puede ser relevante para la interpretación clínica y la adaptación de los tratamientos. (Ver Tabla 14)

Tabla 14. Análisis de resultado de la Compliance discriminada por Sexo.

	SEXO	cp A	cp D	cp DE
N	F	65	65	65
	M	13	13	13
MEDIA	F	56.3	37.3	48.5
	M	52.8	34.5	45.0
MEDIANA	F	55	35	47
	M	55	35	51
DESVIACION ESTANDAR	F	11.6	12.8	10.9
	M	12.9	12.8	13.1
MINIMO	F	30	15	27
	M	33	14	21
MAXIMO	F	80	67	77
	M	75	52	60

Se realizó un tercer análisis para determinar cuál es la edad que presenta la mayor variación de los parámetros ventilatorios, para este análisis se dividieron los 78 pacientes en grupos de edades de 10 en 10, a partir de 18 años donde se observó mayor prevalencia de cirugía laparoscópica entre los 41-50 años y se evaluó cada variable en este grupo de edad. (Ver Tabla 15).

Tabla 15. Frecuencia de edad agrupado por decenios

EDAD AGRUPADA	FRECUENCIAS	% DEL TOTAL	% ACUMULADO
11 - 20	2	2.6%	2.6%
21 - 30	18	23.1%	25.6%

31 – 40	15	19.2%	44.8%
41 – 50	23	29.5%	74.4%
51 – 60	17	21.8%	96.2%
61 - 70	3	3.8%	100.00%

Al valorar el EtCO₂, se evidenció un aumento significativo posterior al inicio del neumoperitoneo en el grupo de edad de 61 a 70 años, con una media de 38.7 mmHg y una desviación estándar de 3.51 mmHg. Además, se observó un aumento menor pero también significativo en el grupo de edad de 41 a 50 años, con una media de 37.7 mmHg y una desviación estándar que varió entre 2.06 y 2.34 mmHg. Para comparar las medias de los valores de EtCO₂ en tres fases diferentes (etco2-A, etco2-D y etco2-DE) a través de seis grupos de edad (10-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60 y 61-70 años), se utilizó un análisis de varianza (ANOVA). Las medias y desviaciones estándar de cada fase por grupo de edad fueron proporcionadas, y se generaron distribuciones normales para cada grupo en función de estas estadísticas. El ANOVA arrojó un valor de F = 9.54 y un valor de p = 0.00035, lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre las fases de EtCO₂ en los diferentes grupos de edad (p < 0.05), sugiriendo que las medias de EtCO₂ varían significativamente entre las fases A, D y DE. Esto podría implicar que las condiciones de los pacientes o el tratamiento cambian en cada una de estas etapas (Ver Gráficos 1, 2 y 3)

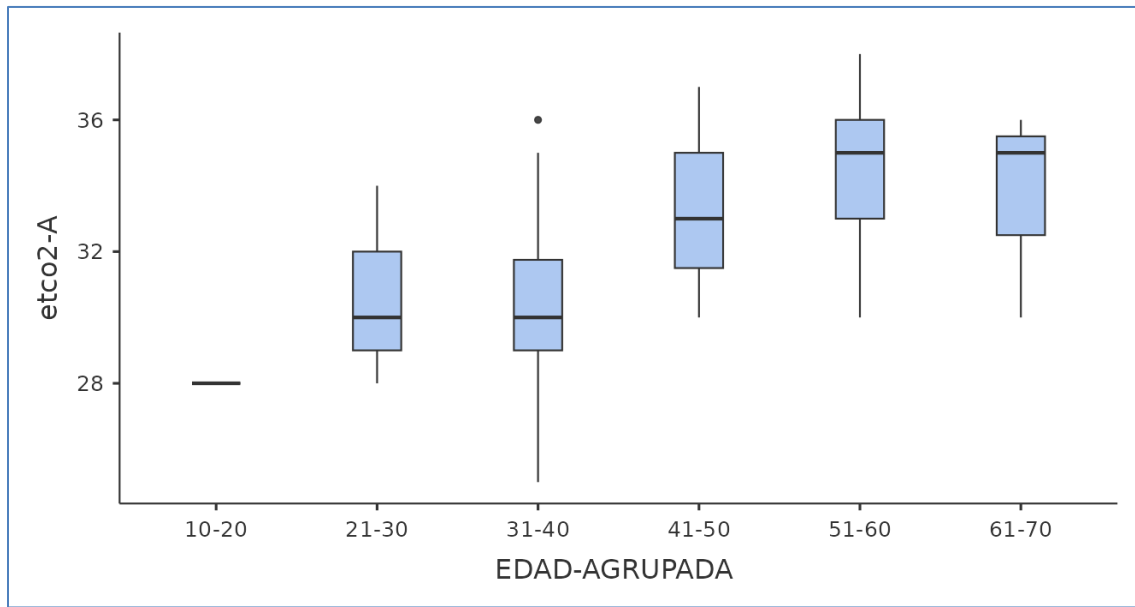


Gráfico 1. Comparación de los cambios de EtcO2 antes del neumoperitoneo.

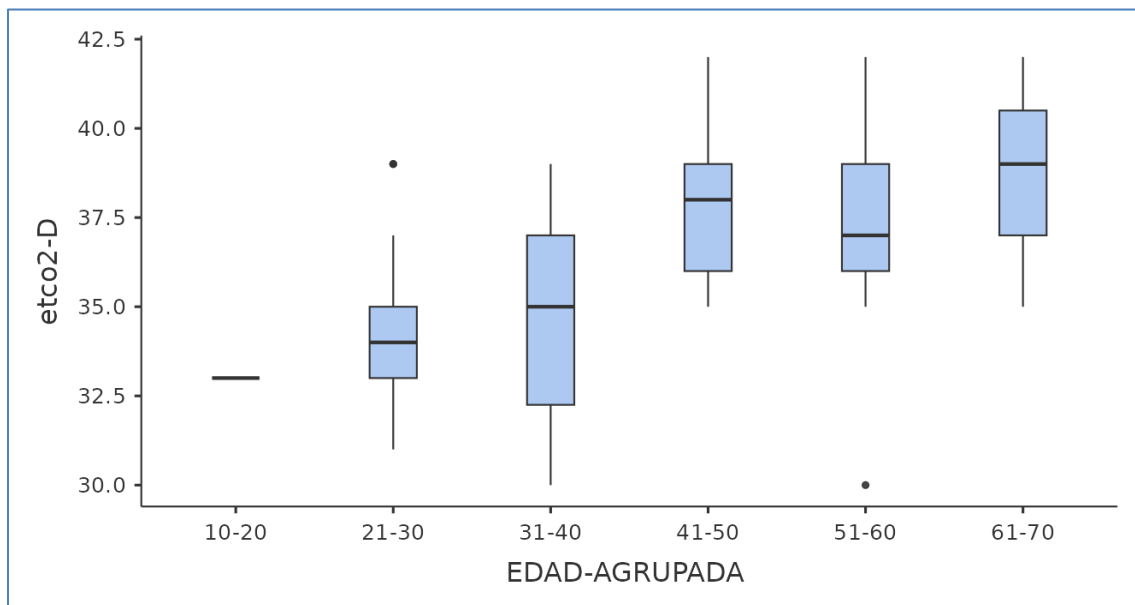


Gráfico 2. Comparación de los cambios de EtcO2 durante el neumoperitoneo.

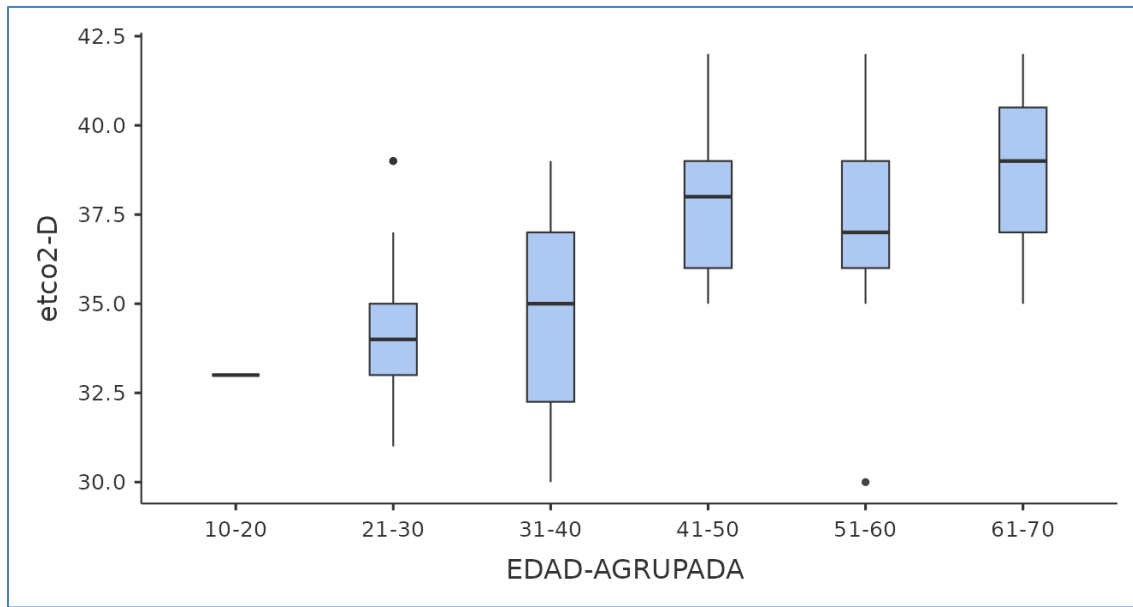


Gráfico 3. Comparación de los cambios de Etco2 posterior al neumoperitoneo.

Al valorar las medidas de presión mesera en sus diferentes fases (pm-A, pm-D y pm-DE), se observó un aumento significativo en el grupo de edad de 61 a 70 años, con una media de 21.0 cmH₂O en todas las fases y una desviación estándar que varió entre 1.00 y 1.73 cmH₂O. Además, se identificó un aumento en el grupo de edad de 41 a 50 años, con medias de 17.1 cmH₂O, 18.9 cmH₂O y 15.9 cmH₂O para pm-A, pm-D y pm-DE, respectivamente, y desviaciones estándar de 2.59 cmH₂O, 3.91 cmH₂O y 3.80 cmH₂O. Para comparar las medias de los valores de pm en las tres fases (pm-A, pm-D y pm-DE) entre los diferentes grupos de edad (10-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70 años), se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Con un valor de F obtenido de 9.54 cmH₂O y un valor de $p = 0.00035$, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las fases de pm en los distintos grupos de edad ($p < 0.05$), lo que sugiere que las medias de pm varían significativamente entre las fases A, D y DE. Esto podría indicar que las condiciones de los pacientes o el tratamiento varían entre estas fases (Gráficos 4, 5 y 6).

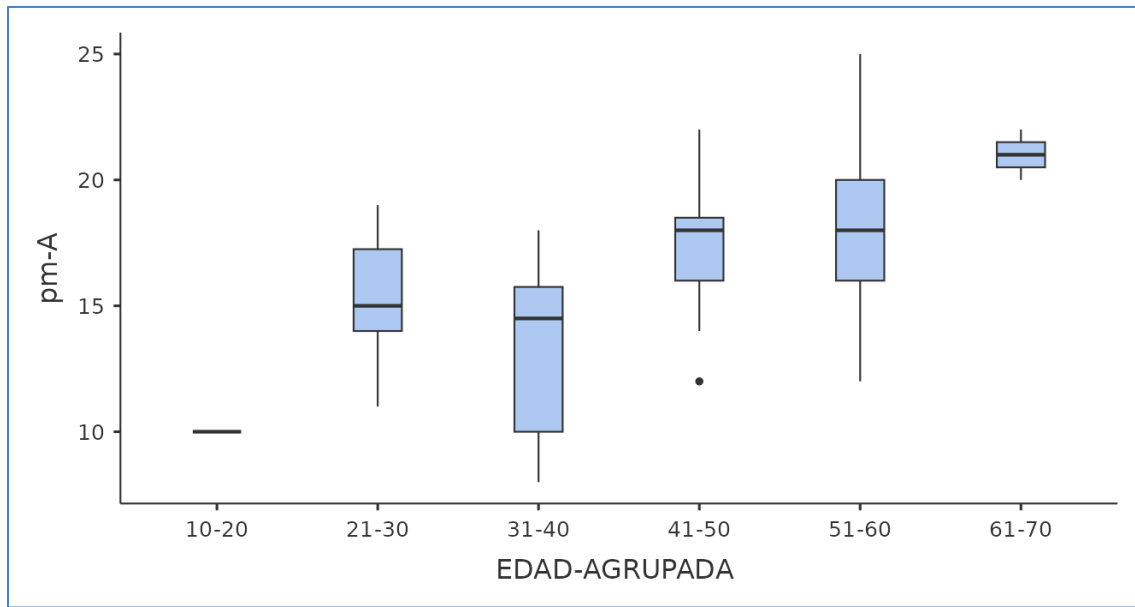


Gráfico 4. Comparación de los cambios de presión meseta antes del neumoperitoneo.

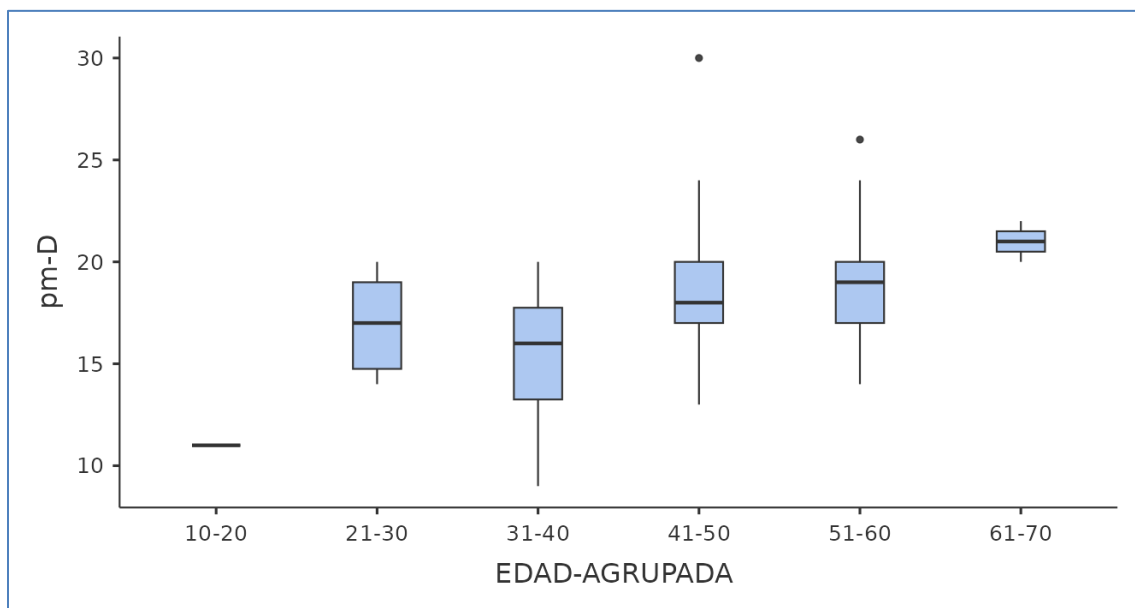


Gráfico 5. Comparación de los cambios de presión meseta durante el neumoperitoneo

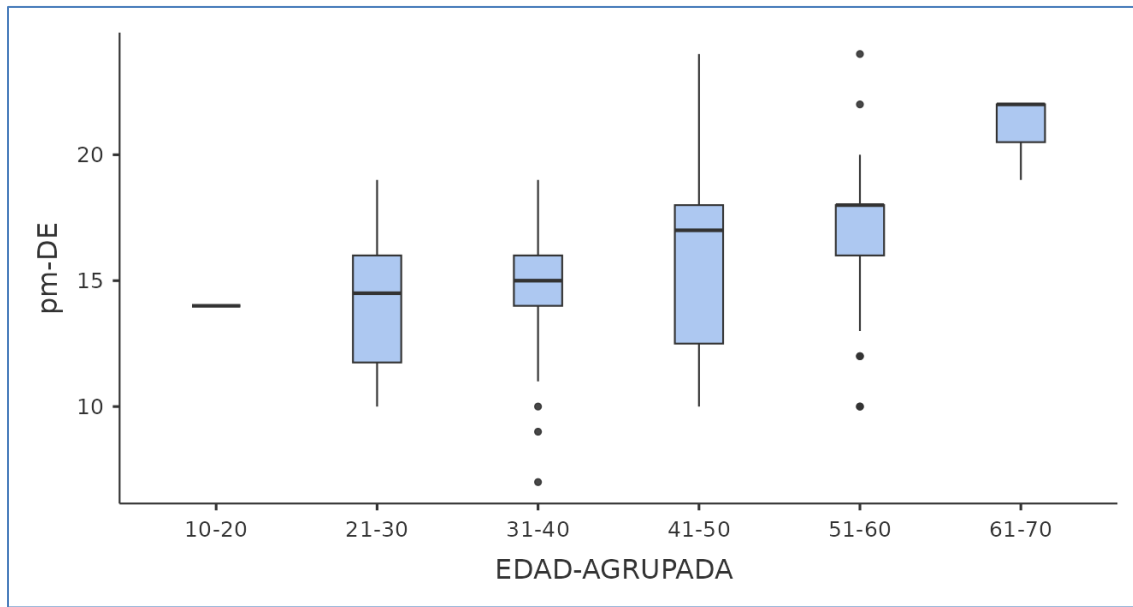


Gráfico 6. Comparación de los cambios de presión meseta después del neumoperitoneo

Al realizar el análisis de la *Driving Pressure* por grupo de edad, se identifica un aumento progresivo en las tres fases (dp-A, dp-D, dp-DE) a medida que aumenta la edad. Especialmente en los grupos de 51-60 y 61-70 años, las medias tienden a ser más altas en comparación con los grupos más jóvenes. En el grupo de 61-70 años, se observa la misma media en las tres fases (16.0), lo que podría indicar una estabilización en los valores de dp en este rango de edad. Sin embargo, en los grupos de 41-50 y 51-60 años, se observa una diferencia más notable entre las fases, lo que sugiere un cambio más pronunciado en las características de dp a lo largo del tiempo. Las desviaciones estándar más altas se encuentran en los grupos intermedios (especialmente 41-50 y 51-60 años), lo que indica una mayor variabilidad en los valores de dp en estos grupos.

El análisis ANOVA realizado sobre las tres fases (dp-A, dp-D y dp-DE) en los diferentes grupos de edad arrojó un valor de $F = 0.97$ y un valor de $p = 0.39$. Esto indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las fases dp-A, dp-D y dp-DE, ya que el valor de p es mayor a 0.05. Esto sugiere que las variaciones observadas en las medias entre las fases no son lo suficientemente grandes como para considerarse significativamente diferentes desde un punto de vista estadístico. (Gráficos 7, 8 y 9)

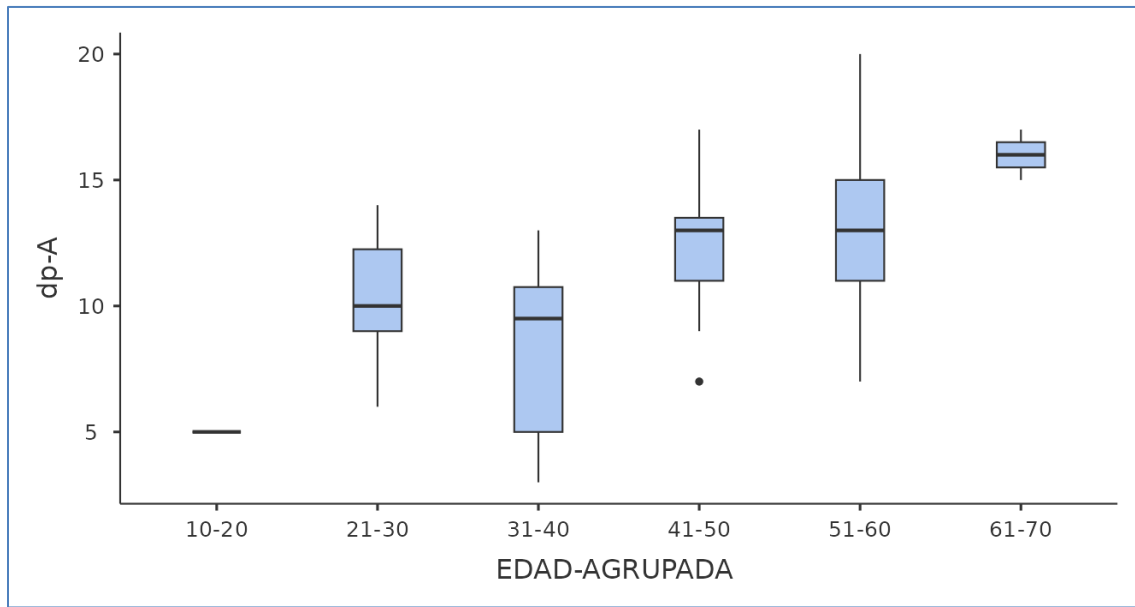


Gráfico 7. Comparación de los cambios de Driving Pressure antes del neumoperitoneo.

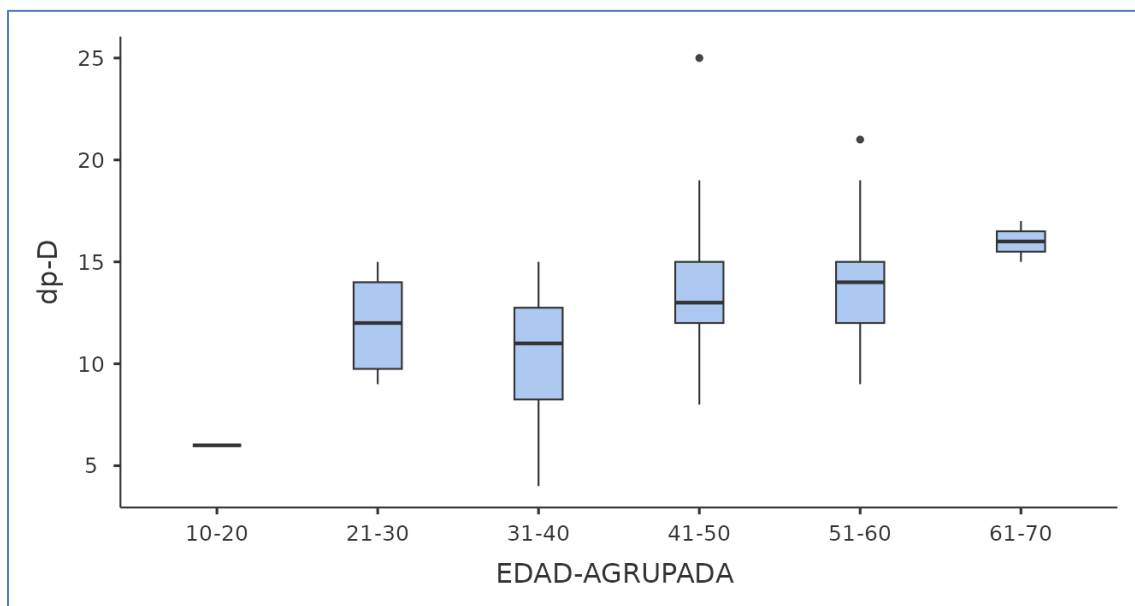


Gráfico 8. Comparación de los cambios de Driving Pressure durante el neumoperitoneo.

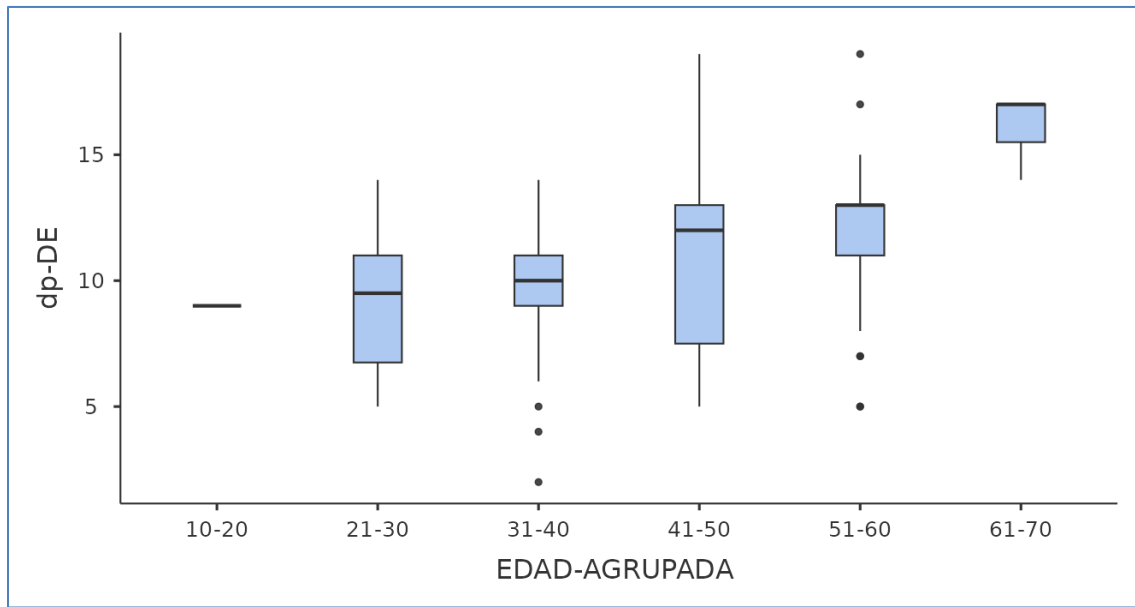


Gráfico 9. Comparación de los cambios de Driving Pressure después del neumoperitoneo.

En el análisis de la Presión Pico (pp) según los grupos de edad y las fases (pp-A, pp-D, pp-DE), se observa una tendencia al aumento de las medias a medida que incrementa la edad, especialmente en los grupos de 51-60 y 61-70 años. Por ejemplo, en el grupo de 61-70 años, las medias fueron de 24.7 cmH₂O en la fase pp-A, 24.0 cmH₂O en la fase pp-D y 22.7 cmH₂O en la fase pp-DE, lo que sugiere un mayor nivel de presión pico en este grupo. En contraste, los grupos más jóvenes como el de 10-20 años presentan medias mucho más bajas, con 11.0 cmH₂O en pp-A y pp-D, y 17.0 cmH₂O en pp-DE. En términos de dispersión, la desviación estándar fue más alta en los grupos de edad intermedios, como el grupo de 41-50 años, que mostró una mayor variabilidad en las tres fases (4.39 cmH₂O en pp-A, 4.40 cmH₂O en pp-D y 4.45 cmH₂O en pp-DE). (Gráficos 10, 11 y 12)

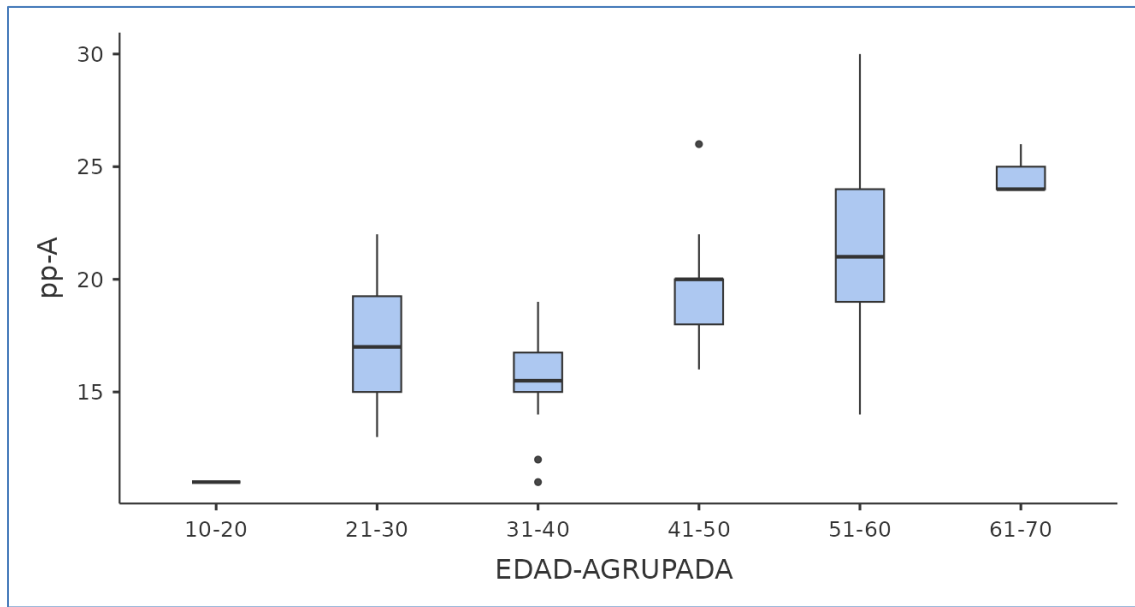


Gráfico 10. Comparación de los cambios de la presión pico antes del neumoperitoneo.

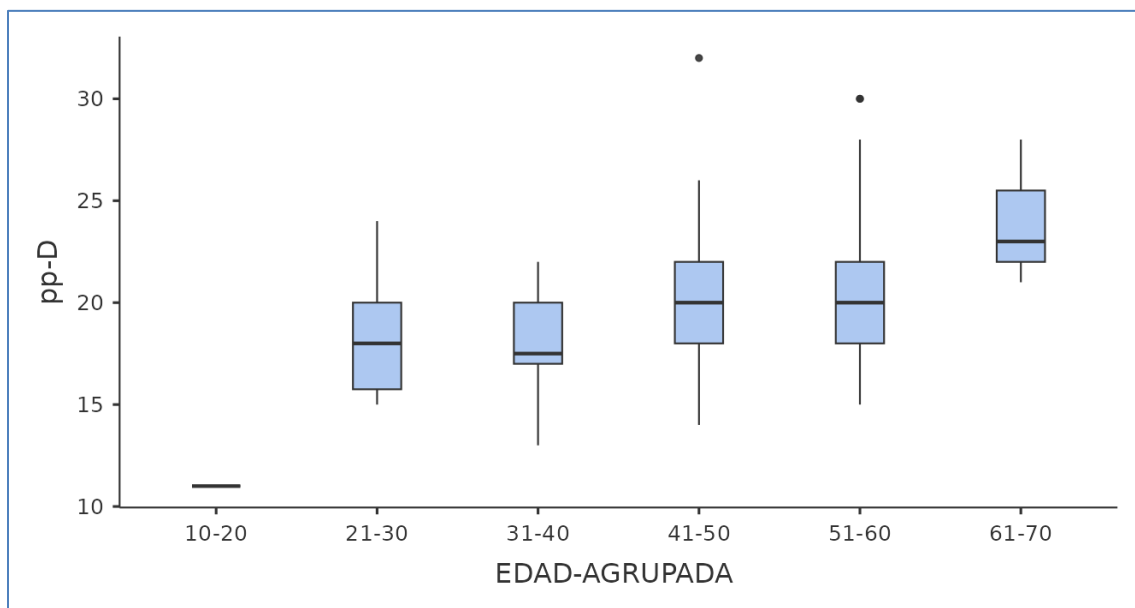


Gráfico 11. Comparación de los cambios de la presión pico durante el neumoperitoneo.

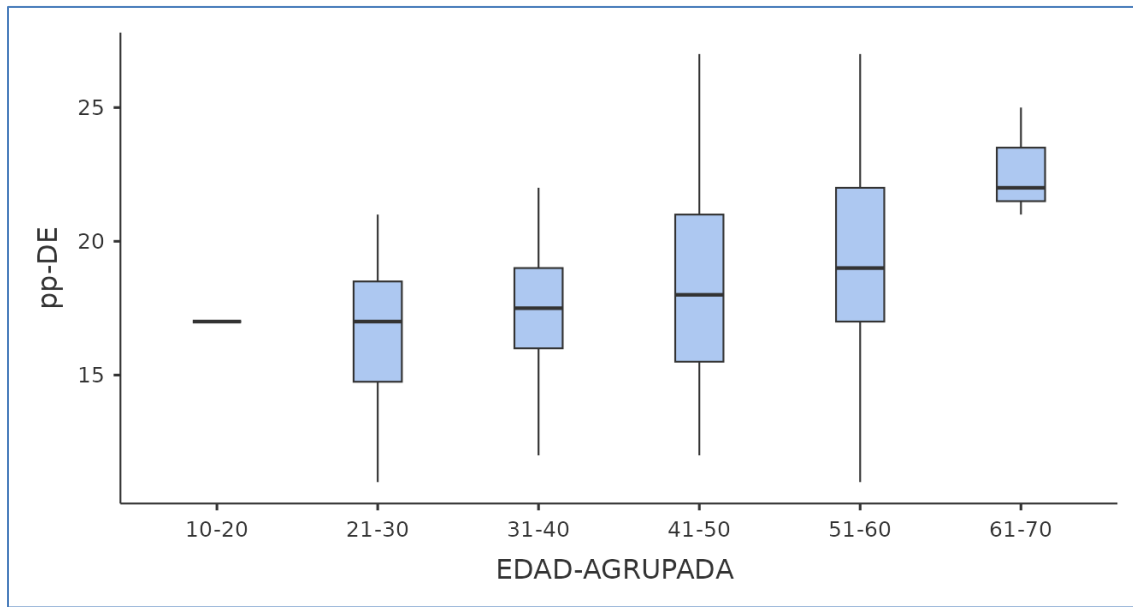


Gráfico 12. Comparación de los cambios de la presión pico después del neumoperitoneo.

En cuanto al análisis de la *Compliance* pulmonar (cp) a lo largo de las fases cp-A, cp-D y cp-DE según los grupos de edad, se observa una tendencia decreciente conforme aumenta la edad. En el grupo de 10-20 años, la *Compliance* es mayor en la fase cp-A, con una media de 79.0 cmH₂O, disminuyendo progresivamente a 64.0 cmH₂O en cp-D y luego aumentando ligeramente a 70.0 cmH₂O en cp-DE. A medida que los grupos de edad aumentan, se observa una reducción más pronunciada en los valores de *Compliance*. Por ejemplo, en el grupo de 61-70 años, las medias son de 36.0 cmH₂O en cp-A, 25.7 cmH₂O en cp-D y 31.3 cmH₂O en cp-DE, reflejando una baja notable en comparación con los grupos más jóvenes. En cuanto a la dispersión, las desviaciones estándar también varían, siendo generalmente más altas en los grupos de edad intermedios. El grupo de 41-50 años presenta la mayor variabilidad, con una desviación estándar de 14.2 cmH₂O en la fase cp-D, mientras que los grupos más jóvenes y mayores muestran una variabilidad menor, como es el caso del grupo de 61-70 años que tiene desviaciones estándar menores (5.29 cmH₂O en cp-A y 5.86 cmH₂O en cp-DE). (Gráficos 13, 14 y 15)

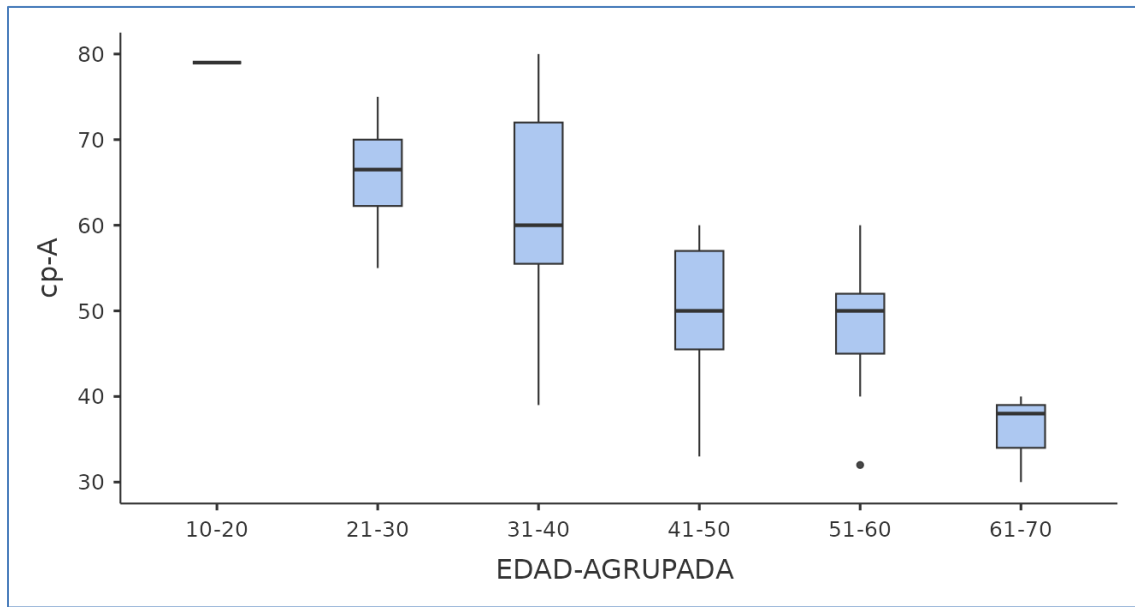


Gráfico 13. Comparación de los cambios de la Compliance antes del nuemoperitoneo.

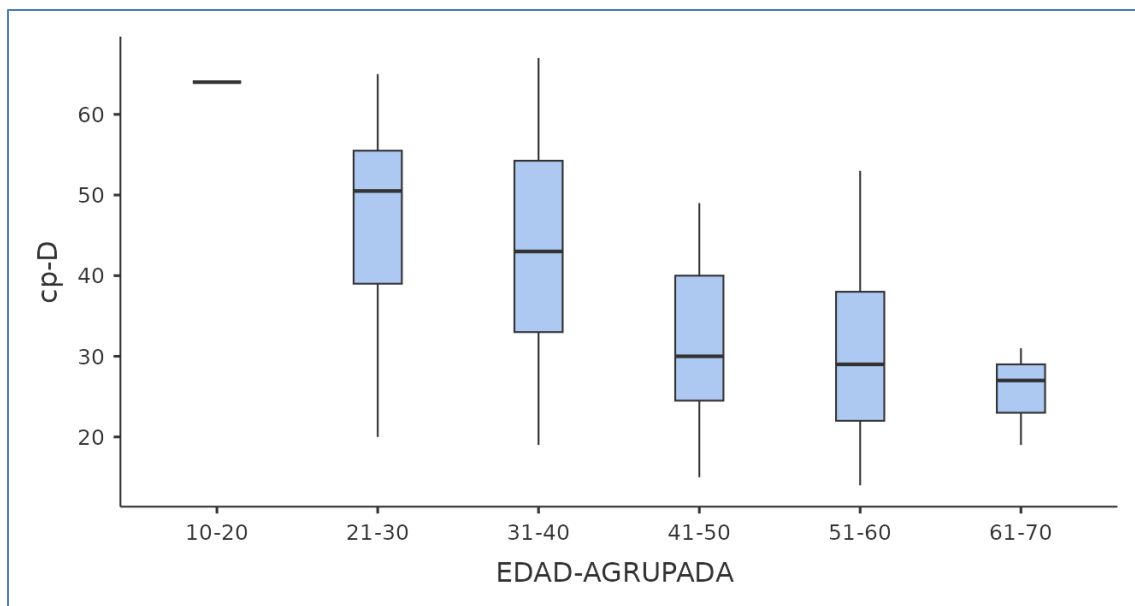


Gráfico 14. Comparación de los cambios de la Compliance durante el nuemoperitoneo.

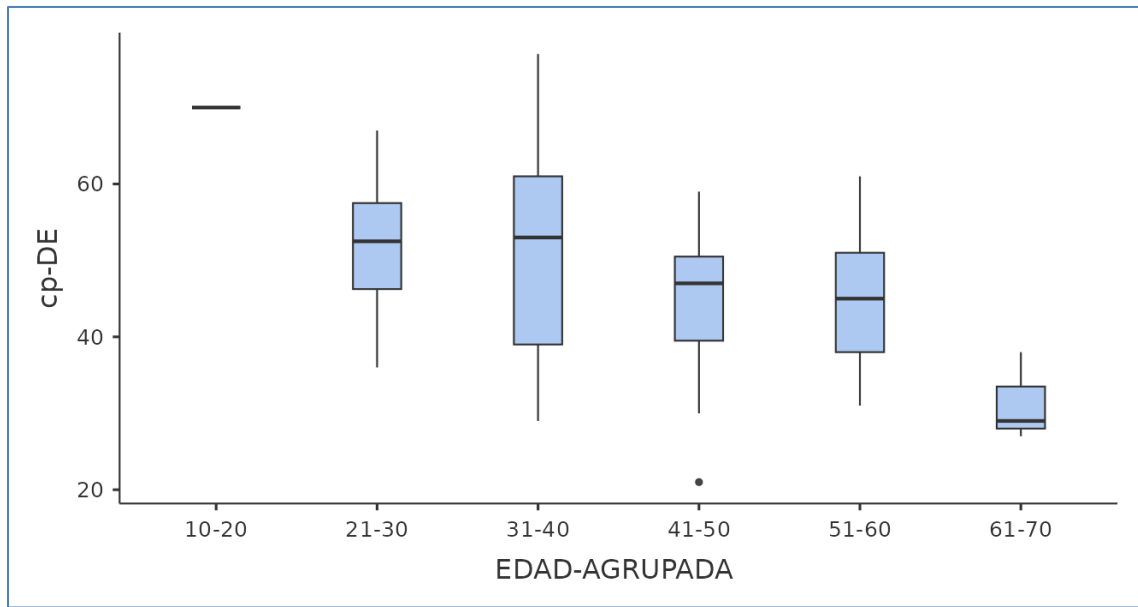


Gráfico 15. Comparación de los cambios de la Compliance después del nuemoperitoneo.

8 DISCUSIÓN

En las cirugías laparoscópicas, la insuflación de dióxido de carbono (CO_2) abdominal provoca cambios significativos en la función pulmonar debido al aumento de la presión intraabdominal (PIA), que desplaza el diafragma hacia arriba. Este desplazamiento es más pronunciado con la posición de Trendelenburg, lo que puede generar complicaciones pulmonares como atelectasias, hipoxemia, reducción de la distensibilidad pulmonar y enfisema subcutáneo. Además, la hipercarbia inducida puede causar vasodilatación sistémica, arritmias y depresión miocárdica, aumentando el riesgo en pacientes con hipertensión pulmonar. Por lo tanto, es crucial una adecuada monitorización y manejo de la ventilación mecánica intraoperatoria durante estos procedimientos.

En nuestro estudio, que incluyó 78 pacientes sometidos a cirugía laparoscópica, observamos cambios significativos en los parámetros ventilatorios (EtCO_2 , presión meseta, presión pico, Driving Pressure y Compliance) antes, durante y después del neumoperitoneo. La edad media de los pacientes fue de 41 años (rango: 19-67), con una mayor proporción de mujeres (83.3%) que hombres (16.7%).

El EtCO_2 mostró un incremento durante el neumoperitoneo, con un valor medio de 36.28 mmHg, frente a 32.31 mmHg antes del procedimiento. Este aumento sugiere una respuesta ventilatoria significativa, similar a lo descrito en otros estudios que señalan una mayor absorción de CO_2 durante el neumoperitoneo, que afecta la ventilación-perfusión. Los resultados del **Central African Journal of Medicine (2022)** confirman estos hallazgos, donde también se observó un aumento del EtCO_2 y PaCO_2 durante el neumoperitoneo(15). Coincidimos en la importancia de mantener la normocapnia o considerar la hipercapnia permisiva para evitar complicaciones respiratorias.

En términos de **presión meseta**, observamos variaciones significativas, con medias entre 15.44 y 17.71 cmH_2O , lo que indica una respuesta dinámica al aumento de la

PIA. La **presión pico** se mantuvo estable en los rangos protectores (18.23-19.54 cmH₂O), lo que sugiere que la ventilación se ajustó adecuadamente durante el procedimiento. Este resultado está en línea con el estudio de **Tamara et al. (2017)**, que subraya la importancia de controlar la PIA para minimizar la compresión de la vena cava y la aorta, evitando alteraciones hemodinámicas mayores(12).

Nuestros análisis por **sexo** mostraron que las mujeres presentaron menos variabilidad en el EtCO₂ comparado con los hombres, lo que podría indicar una respuesta más estable al neumoperitoneo. En términos de **presión meseta** y **presión pico**, los hombres mostraron valores ligeramente más altos, lo que podría estar relacionado con diferencias en la anatomía o capacidad pulmonar entre sexos. La **compliance pulmonar** fue consistentemente más alta en las mujeres en todas las fases del neumoperitoneo, lo que sugiere una mayor capacidad de distensión pulmonar en este grupo, aunque con mayor variabilidad.

El **análisis por edad** reveló que los pacientes mayores (61-70 años) experimentaron cambios más marcados en todos los parámetros ventilatorios. Estos pacientes mostraron un incremento significativo en EtCO₂ y presión meseta, lo que podría reflejar una disminución de la función pulmonar con la edad, tal como lo evidenció también el estudio de **Tamara et al. (2017)**. La **compliance** mostró una tendencia decreciente con la edad, lo que es consistente con la reducción de la elasticidad pulmonar en los pacientes mayores (12).

En cuanto a los **parámetros ventilatorios específicos**, **Fognolo et al. (2021)** destacaron la importancia del volumen tidal (VT), PEEP y driving pressure durante la ventilación en cirugías laparoscópicas(1). En nuestro estudio, el VT ajustado (6-8 ml/kg) contribuyó a minimizar el riesgo de volutrauma, manteniendo la driving pressure en rangos protectores (media: 12.71 cmH₂O durante el neumoperitoneo), lo que coincide con los hallazgos de Fognolo(1). Además, el estudio de **Cañas-Lucero et al. (2021)**(16), que comparó diferentes modos ventilatorios, también se reflejó en nuestros resultados, ya que las variaciones en los modos de ventilación

no afectaron significativamente la presión pico ni la compliance siempre que se ajustaron a las necesidades individuales del paciente.

Nuestros resultados son consistentes con la literatura previa, subrayando la importancia de una monitorización continua de los parámetros ventilatorios durante el neumoperitoneo. Las variaciones observadas en la compliance y el EtCO₂ destacan la necesidad de ajustar las estrategias ventilatorias en tiempo real para garantizar la seguridad del paciente y reducir el riesgo de complicaciones respiratorias.

9 CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que tanto el sexo como la edad tienen un impacto significativo en los parámetros ventilatorios durante la anestesia general utilizando la técnica de neumoperitoneo. Las mujeres presentan una menor variabilidad en los valores de EtCO₂ y una mayor *Compliance*, mientras que los hombres tienden a tener mayores medias en presión meseta, presión pico y *Driving Pressure*. Además, los pacientes mayores muestran una respuesta alterada en la mayoría de los parámetros ventilatorios, lo cual puede tener implicaciones para el manejo anestésico y ventilatorio en estas poblaciones. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las características demográficas al ajustar los parámetros ventilatorios en pacientes sometidos a procedimientos laparoscópicos.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Fogagnolo A, Montanaro F, Al-Husinat L, Turrini C, Rauseo M, Mirabella L, Ragazzi R, Ottaviani I, Cinnella G, Volta CA, Spadaro S. (2021). Management of Intraoperative Mechanical Ventilation to Prevent Postoperative Complications after General Anesthesia: A Narrative Review. *J Clin Med.* 2021 jun 16;10(12):2656. doi: 10.3390/jcm10122656. PMID: 34208699; PMCID: PMC8234365.
2. Nguyen NT, Anderson JT, Budd M, Fleming NW, Ho HS, Jahr J, Stevens CM, Wolfe BM. (2004). Effects of pneumoperitoneum on intraoperative pulmonary mechanics and gas exchange during laparoscopic gastric bypass. *Surg Endosc.* 2004 Jan;18(1):64-71. doi: 10
3. Soto Alonso MF, Suárez Salazar JD. (2004) Alteraciones hemodinámicas y ventilatorias en cirugía laparoscópica. Anestesia epidural vs anestesia general, *Revista Cubana de Anestesiología y Reanimación* 2004; 3 (2): 7-15
4. Gerges FJ, Kanazi GE, Jabbour-Khoury SI. (2006). Anesthesia for laparoscopy: a review. *J Clin Anesth.* 2006 feb;18(1):67-78. doi: 10.1016/j.jclinane.2005.01.013. PMID: 16517337.
5. Wittgen CM, Andrus CH, Fitzgerald SD, Baudendistel LJ, Dahms TE, Kaminski DL. (1991). Analysis of the Hemodynamic and Ventilatory Effects of Laparoscopic Cholecystectomy. *Arch Surg.* 1991;126(8):997–1001. doi:10.1001/archsurg.1991.01410320083011
6. Dhoste K, Lacoste L, Karayan J, Lehuede MS, Thomas D, Fusciardi J. (1996). Haemodynamic and ventilatory changes during laparoscopic cholecystectomy in elderly ASA III patients. *Can J Anaesth.* 1996 ago; 43(8):783-8. doi: 10.1007/BF03013029. PMID: 8840056
7. Wahba RW, Tessler MJ, Kleiman SJ. (1996). Acute ventilatory complications during laparoscopic upper abdominal surgery. *Can J Anaesth.* 1996 Jan;43(1):77-83. doi: 10.1007/BF03015963. PMID: 8665641.
8. Royston CM, Lansdown MR, Brough WA. (1994). Teaching laparoscopic surgery: the need for guidelines. *BMJ.* 1994 Apr 16;308(6935):1023-5. doi: 10.1136/bmj.308.6935.1023. PMID: 8167516; PMCID: PMC2539872.
9. Chauvet P, Rabischong B, Curinier S, Gremeau A.-S., Bourdel N, Kaemmerlen A.-G., Houille C., Campagne-Loiseau S., Pouly J.-L., Canis M., Botchorishvili R., (2018). Laparoscopia y cirugía laparoscópica: principios generales e instrumental, *EMC - Ginecología-Obstetricia*, Volumen 54, Issue 2,2018, Pages 1-7, ISSN 1283-081X, [https://doi.org/10.1016/S1283-081X\(18\)89352-3](https://doi.org/10.1016/S1283-081X(18)89352-3).
10. Carazo Carazo JL. (2016) 3 puntos clave de la cirugía laparoscópica 2020 feb, recuperado de <https://www.topdoctors.es/articulos-medicos/3-puntos-clave-de-la-cirugia-laparoscopica#>

11. Cuesta MA. (2000). Cirugía laparoscópica. Recuperado de [Cirugía laparoscópica | Cirugía Española \(elsevier.es\)](http://Cirugía laparoscópica | Cirugía Española (elsevier.es))
12. Atkinson TM, Giraud GD, Togioka BM, Jones DB, Cigarroa JE. (2017). Cardiovascular and Ventilatory Consequences of Laparoscopic Surgery. *Circulation*. 2017 Feb 14;135(7):700-710. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023262. PMID: 28193800.
13. Ortiz Cubero, JA. (2014). Neumoperitoneo: Principios Básicos; *Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica Lxxi* (612) 753 – 758.
14. Gómez-Nieto GM, Nando-Villicaña CC, Achar-Farca T (2021). Cambios fisiológicos provocados por la posición del paciente y el neumoperitoneo en procedimientos laparoscópicos. *Rev Mex Cir Endoscop*. 2021; 22 (2): 77-83. <https://dx.doi.org/10.35366/104405>
15. Mutetwa EN, Shumbairerwa S, Crawford A, Madzimbamuto FD, Chimoga T, Marange-Chikuni D. (2015). Metabolic effects of Carbon Dioxide (CO₂) insufflation during laparoscopic surgery: changes in pH, arterial partial Pressure of Carbon Dioxide (PaCO₂) and End Tidal Carbon Dioxide (EtCO₂). *Cent Afr J Med*. 2015 Sep-Dec;61(9-12):61-5. PMID: 29144063.
16. Cañas-Lucero L, Carrero-Soto H, Lemus-Cázares A, et al. Comparación de 3 modos de ventilación mecánica en colecistectomía laparoscópica. *Rev Mex Anest*. 2021;44(3):178-183. doi:10.35366/99664
17. Nguyen NT, Anderson JT, Budd M, Fleming NW, Ho HS, Jahr J, Stevens CM, Wolfe BM. (2004). Effects of pneumoperitoneum on intraoperative pulmonary mechanics and gas exchange during laparoscopic gastric bypass. *Surg Endosc*. 2004 Jan;18(1):64-71. doi: 10.1007/s00464-002-8786-x. Epub 2003 Nov 21. PMID: 14625752
18. Oti C, Mahendran M, Sabir N. (2016). Anaesthesia for laparoscopic surgery. *Br J Hosp Med (London)*. 2016 Jan;77(1):24-8. doi: 10.12968/hmed.2016.77.1.24. PMID: 26903452.
19. Balonov K. (2022). Intraoperative protective lung ventilation strategies in patients with morbid obesity. *Saudi J Anaesth*. 2022 jul-sep;16(3):327-331. doi: 10.4103/sja.sja_386_22. Epub 2022 Jun 20. PMID: 35898523; PMCID: PMC9311182
20. León Ferrufino F, Varas Cohen J, Buckel Schaffner E, Crovari Eulufi F, Pimentel Müller F, Martínez Castillo J, Jarufe Cassis N, Boza Wilson C. (2015). Simulation in laparoscopic surgery. *Cir Esp*. 2015 Jan;93(1):4-11. English, Spanish. doi: 10.1016/j.ciresp.2014.02.011. Epub 2014 Jul 16. PMID: 25039039.
21. Steffey MA. (2016). Laparoscopic-Assisted Surgical Procedures. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2016 Jan;46(1):45-61. doi: 10.1016/j.cvsm.2015.07.002. Epub 2015 Sep 26. PMID: 26410563.

22. Fogagnolo A, Montanaro F, Al-Husinat L, Turrini C, Rauseo M, Mirabella L, Ragazzi R, Ottaviani I, Cinnella G, Volta CA, Spadaro S. (2021). Management of Intraoperative Mechanical Ventilation to Prevent Postoperative Complications after General Anesthesia: A Narrative Review. *J Clin Med.* 2021 Jun 16;10(12):2656. doi: 10.3390/jcm10122656. PMID: 34208699; PMCID: PMC8234365.
23. Shin HY, Kim SH, Lee YJ, Kim DK. (2002). The effect of mechanical ventilation tidal volume during pneumoperitoneum on shoulder pain after a laparoscopic appendectomy. *Surg Endosc.* 2010 Aug;24(8):2002-7. doi: 10.1007/s00464-010-0895-3. Epub 2010 Feb 5. PMID: 20135168.
24. Nguyen TK, Nguyen VL, Nguyen TG, Mai DH, Nguyen NQ, Vu TA, Le AN, Nguyen QH, Nguyen CT, Nguyen DT. (2021). Lung-protective mechanical ventilation for patients undergoing abdominal laparoscopic surgeries: a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol.* 2021 Mar 30;21(1):95. doi: 10.1186/s12871-021-01318-5. PMID: 33784987; PMCID: PMC8008676.
25. Carrillo-Esper R, de los Monteros-Estrada IE, Montero-Arias MD, et al. Ventilación de protección en el transoperatorio. *Rev Mex Anest.* 2015;38(2):91-97.
26. Jo YY, Kwak HJ. (2017). What is the proper ventilation strategy during laparoscopic surgery? *Korean J Anesthesiol.* 2017 Dec;70(6):596-600. doi: 10.4097/kjae.2017.70.6.596. Epub 2017 Nov 14. PMID: 29225741; PMCID: PMC5716816.

11 ANEXOS



GOBIERNO DE
MÉXICO



COMITÉ DE INVESTIGACIÓN DEL HGZNP "BI" ASUNTO: AUTORIZACION IMPRESIÓN DE TESIS

DRA. LIS ROSALES BÁEZ
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS DE POSGRADO FMBUAP
PRESENTE.

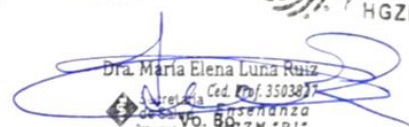
Por Medio del presente, hago de su conocimiento que la C. Nicolee Andrea Parra Vásquez, del tercer año de la Especialidad de Anestesiología, realizó su Tesis con título: "MONITOREO DE LA VENTILACION MECÁNICA EN PACIENTES SOMETIDOS A CIRUGIA LAPAROSCOPICA MANEJADOS CON ANESTESIA GENERAL EN EL HOSPITAL GENERAL ZONA NORTE", realizado en el Hospital General Zona Norte de Puebla, "Bicentenario de la Independencia", bajo la dirección del Dr. Alejandro Robles Campos y Dra. Maria Elena Luna Ruiz, ha sido revisada en su contenido y estructura, por lo que se autoriza para su impresión.

Sin más por el momento y agradeciendo su apoyo, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE
H. PUEBLA DE ZARAGOZA A 07 DE OCTUBRE DE 2024
"SUFRAGIO EFECTIVO, NO REELECCIÓN"




Dra. Mariana L. Miguel Sardaneta
Secretaria de Enseñanza e Investigación
HGZNP "BI"
DRA. MARIANA L. MIGUEL SARDANETA
JEFE DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
HGZNP "BI"


Dra. Maria Elena Luna Ruiz
Ced. Prof. 3503827
Gobierno de Puebla
HGZNP "BI"
DRA. MARIA ELENA LUNA RUIZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE
INVESTIGACIÓN
DEL HGZNP "BI"


Dr. Alejandro Robles Campos
Especialista en Intubación Endotraqueal
Ced. Prof. 4700214
Hospital General Zona Norte
DR. ALEJANDRO ROBLES CAMPOS
ASESOR EXPERTO


Dra. Maria Elena Luna Ruiz
Ced. Prof. 3503827
Gobierno de Puebla
HGZNP "BI"
DRA. MARIA ELENA LUNA RUIZ
ASESOR METODOLÓGICO