



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ

EFECTO DE LA PRESIÓN POSITIVA AL FINAL DE
LA ESPIRACIÓN EJERCIDA POR PUNTAS
NASALES DE ALTO FLUJO CALCULADA
MEDIANTE ECUACIÓN DE BERNOULLI EN
PACIENTES PEDIÁTRICOS CON DIFICULTAD
RESPIRATORIA

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN:

PEDIATRÍA

P R E S E N T A:

Dr. Uriel Santander Amador

TUTORES:

Dr. Alberto Jarillo Quijada

Dra. Almudena Laris González

Dr. Horacio Márquez-González



CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE FIRMAS

Dr. Sarbelio Moreno Espinosa
Director de Enseñanza y Desarrollo Académico.

TUTOR MÉDICO.



Dr. Alberto Jarillo Quijada.
Jefe del Servicio de Terapia Respiratoria.

TUTOR METODOLÓGICO



Dra. Almudena Laris González.
Médico Adscrito al Departamento de Infectología.



Dr. Horacio Márquez González.
Departamento de Investigación Clínica.

DEDICATORIAS.

A Aurora

A mis padres: Teresa e Ibar, porque nunca algún sueño o aspiración mía fue demasiado grande como para que me negaran su apoyo, porque no hubo adversidad en la que ustedes no estuvieran ahí para reconfortarme y animarme a seguir; porque habiendo pasado una juventud llena de carencias y sufrimiento no escatimaron esfuerzos para hacer de sus hijos unos hombres de bien. Como agradecimiento por todo su amor.

A mi hermano Elmer, compañero de juegos y futuro colega.

A Ericka, Marcelo y Ana, gracias, por tanto.

A todos mis maestros por su admirable paciencia y porque sus enseñanzas, su guía y sus consejos han sido las piedras con las que se ha construido este logro académico.

A Marlen por su valiosa colaboración en los trabajos de organización de la información y la elaboración de gráficas.

ÍNDICE.

1.	Portada	1
2.	Hoja de firmas	2
3.	Dedicatorias	3
4.	Índice.....	4
5.	Antecedentes	5
6.	Marco teórico	6
7.	Planteamiento del problema.....	12
8.	Pregunta de investigación	12
9.	Justificación	12
10.	Hipótesis	13
11.	Objetivos	14
12.	Métodos.....	14
13.	Plan de análisis estadístico	19
14.	Descripción de variables	19
15.	Resultados del estudio	20
16.	Discusión	22
17.	Conclusión.....	23
18.	Cronograma de actividades.....	24
19.	Referencias bibliográficas	24
20.	Limitación del estudio	28
21.	Anexos	28

ANTECEDENTES.

Estudios como el de Franklin y colaboradores¹ han documentado la reducción en el riesgo de requerir ventilación mecánica no invasiva e ingreso a la unidad de cuidados intensivos que se obtiene mediante el uso de cánulas nasales de alto flujo (CNAF) en comparación con la administración de oxígeno con puntas nasales convencionales. Existen múltiples investigaciones sobre la importancia de la presión positiva en la vía aérea aportada por los dispositivos de alto flujo, Kubicka et. al.² en 2008 realizaron mediciones directas de las presiones en la cavidad oral de 27 neonatos tratados con puntas nasales de alto flujo obteniendo resultados sumamente variables según la apertura de la boca y el peso de los bebés, concluyendo que la CNAF no debía ser empleada con el fin de proporcionar presión positiva a la vía aérea; en 2013 Pham³ y colaboradores emplearon la medición de la actividad eléctrica del diafragma para evaluar el trabajo respiratorio en pacientes con bronquiolitis y demostraron que este disminuye mediante el uso de CNAF, demostrando en forma indirecta que dicho dispositivo aporta presión que evita el colapso de la vía respiratoria inferior durante la espiración, disminuyendo así el esfuerzo requerido para la inspiración siguiente. Durante la fase inspiratoria el aire humidificado y calentado entregado como un flujo unidireccional hacia el pulmón descarga el diafragma, durante la fase de espiratoria sin embargo, los pacientes tienen que espirar contra el flujo alto unidireccional que presenta resistencia a la salida del aire y por lo tanto presión positiva al final de la espiración. Ya desde entonces se lograba establecer que la presión está determinada no solo por el flujo, sino también por la relación entre la interfaz y la fosa nasal, así como la apertura de la boca, con variaciones individuales bastante amplias. En el estudio realizado por Milesi y colaboradores⁴ quienes realizaron la medición de las presiones faríngeas en pacientes tratados con puntas nasales de alto flujo, se registraron ondas sinusoidales de presión que variaban ampliamente siendo negativas durante la inspiración y positivas durante la espiración, esto con un flujo de 1 L/min. Sin embargo, ambos componentes de la presión (inspiratorio y espiratorio) se volvieron positivos después de 7 L/min, generando CPAP real. Observaron que la presión promedio con un flujo de 2 L/kg/min fue aproximadamente de 4 cm H₂O, aportando evidencia a la relación entre flujo y presión.

MARCO TEÓRICO

La terapia con cánulas nasales de alto flujo implica el suministro de una mezcla ajustable de aire y oxígeno calentado y humidificado a velocidades que exceden el flujo inspiratorio espontáneo. No existe una definición única de lo que constituye un flujo alto, ya que los flujos variarán según la edad y el peso del paciente, con un rango de 2 a 60 L/min. El uso de la cánula de alto flujo (HFNC por sus siglas en inglés) se ha incrementado con el tiempo a medida que el equipo se ha vuelto más disponible y las indicaciones de uso han aumentado⁵⁻⁸. Además, se trata de un dispositivo fácil de aplicar y bien tolerado por la mayoría de los pacientes.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y USO.

Los componentes de un sistema varían según el fabricante, pero en general se distinguen los siguientes elementos: generador de flujo, mezclador de aire y oxígeno, cámara para humidificar y calentar el aire, circuito para llegar al paciente, interfaz del paciente (p. Ej., cánula nasal) y algunos equipos integran una válvula de alivio de presión como un mecanismo de seguridad opcional para detener el flujo cuando se alcanza una presión predeterminada.

Las cánulas nasales de alto flujo son relativamente sencillas de iniciar. Después de seleccionar una cánula nasal y un circuito de tamaño adecuado para el paciente, se pueden determinar los ajustes de administración, incluida la temperatura del aire, la velocidad de flujo y la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2). La humidificación varía con la temperatura del aire elegida. La velocidad de flujo inicial y la fracción inspirada de oxígeno variarán según la edad, el peso del paciente, así como la indicación y la condición clínica, realizando modificaciones según la evolución. Las cánulas que se utilizan para administrar un flujo alto no requieren un sello para funcionar y, por lo tanto, tienen puntas con un diámetro y una longitud menores que las interfaces diseñadas para presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP). Se recomienda que la cánula ocupe aproximadamente el 50% del diámetro interno de las fosas nasales para permitir alguna fuga y evitar una presión excesiva en la vía

respiratoria⁹⁻¹⁰. La distancia entre las puntas debe ser lo suficientemente amplia para evitar comprimir y lesionar el tabique nasal. La temperatura generalmente se establece en 37 ° C para maximizar la humidificación, aunque esto puede ajustarse según el contexto clínico. Los índices de flujo iniciales deben basarse en la edad o el tamaño del paciente y progresarse según sea necesario. El flujo puede iniciarse en 1 a 2 L/kg por minuto; un estudio niños menores de tres años mostró que el trabajo respiratorio mejoró al aumentar las tasas de flujo con una mejora máxima a 2 L/kg por minuto, pero una mejora similar a 1,5 L/kg por minuto. La FiO₂ se puede establecer entre 21 y 100% según las circunstancias clínicas. La práctica general es un objetivo de saturación de oxígeno entre el 93 y el 98% en lugar del 100% para evitar la toxicidad del oxígeno.

MECANISMOS DE ACCION

Hay una serie de mecanismos propuestos para la terapia con puntas nasales de alto flujo:

- Lavado del espacio muerto nasofaríngeo: el suministro de alto flujo elimina el gas espiratorio final dentro de la orofaringe y la nasofaringe. La vía aérea superior sirve entonces como un reservorio anatómico con aire ricamente oxigenado del cual el paciente toma cada respiración, minimizando el arrastre de aire ambiental ¹¹⁻¹³.
- Reducción de la resistencia de las vías respiratorias superiores: al proporcionar flujos de gas que igualan o superan las tasas de flujo inspiratorio espontáneo, se minimiza la resistencia inspiratoria a través de la nasofaringe. La reducción resultante del trabajo respiratorio se ha demostrado en estudios en recién nacidos y lactantes midiendo la actividad eléctrica del diafragma ^{12,14-16}.
- Acondicionamiento óptimo del gas: la entrega de gases que se han calentado y humidificado previamente reduce el gasto de energía que se requiere para el acondicionamiento. Esto es de gran beneficio los niños con enfermedades respiratorias que pueden cursar con taquipnea y cambiar rápidamente su volumen corriente porque el acondicionamiento óptimo contribuye a la reducción de la demanda de oxígeno¹². También disminuye el riesgo de

broncoespasmo y resistencia de las vías respiratorias en comparación con el suministro de aire frío y seco¹⁷.

- Presión positiva: las tasas de flujo altas proporcionan presión positiva en la faringe, lo que puede prevenir el colapso y mejorar el trabajo respiratorio. La cantidad de presión varía según la velocidad de flujo, el ajuste de las cánulas nasales y la apertura de la boca¹⁸. En un estudio de lactantes con bronquiolitis, una tasa de flujo de 2 L/kg por minuto resultó en presiones faríngeas medias > 4 cm H₂O y disminuyó el esfuerzo respiratorio¹⁹. En investigaciones en adultos, se observa una relación lineal entre las tasas de flujo y la presión faríngea, que varía de 1 a 4 cm H₂O cuando la boca está cerrada. Los estudios en niños han documentado una diferencia en el aumento de la presión faríngea durante la terapia de alto flujo cuando la boca está cerrada en comparación con cuando está abierta^{17, 19}.

COMPARACIÓN CON OTROS MODOS DE SUMINISTRO DE OXÍGENO

La cánula nasal de alto flujo ofrece distintas ventajas sobre otros modos de suministro de oxígeno y soporte respiratorio, siendo además relativamente fácil de instalar y favoreciendo la comodidad del paciente.

A continuación se describen brevemente los dispositivos y técnicas tradicionales para el suministro de oxígeno suplementario y las posibles ventajas de la terapia de alto flujo.

Cánulas nasales convencionales: las velocidades de flujo a través de la cánula nasal convencional se han limitado tradicionalmente a un flujo bajo (<2 L/min en lactantes y <6 L/min en niños) para evitar la desecación de la mucosa nasal y la incomodidad del paciente. La humidificación y el calentamiento de las mezclas de gases durante la terapia de alto flujo reducen estos inconvenientes y permiten la entrega de mayores tasas de flujo y una mejor entrega de oxígeno. Además, el mezclador de los sistemas de alto flujo permite ajustar la concentración de oxígeno inspirado en lugar de solo ajustar el flujo. Un estudio observacional en 40 niños con bronquiolitis de moderada a grave (en contraste con la bronquiolitis en general) mostró mejoras más rápidas en la

frecuencia respiratoria, el trabajo respiratorio y la capacidad para alimentarse en bebés tratados con puntas nasales de alto flujo en comparación con las puntas nasales convencionales.²⁰

Mascarilla facial: limita la capacidad de hablar o beber y no son bien toleradas por muchos pacientes pediátricos. Además, se ha demostrado que la CNAF proporciona un mejor suministro de oxígeno que las máscaras de oxígeno. La mayoría de los ensayos comparativos se han realizado después de la extubación ^{21,22}; un estudio de pacientes adultos con insuficiencia respiratoria hipoxémica encontró concentraciones de presión parcial de oxígeno más altas cuando se manejó con HFNC en comparación con el suministro de oxígeno con una mascarilla facial²³.

Ventilación no invasiva: la presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) ofrece una presión de dilatación de las vías respiratorias que puede mejorar el trabajo respiratorio. La mayoría de los estudios comparativos entre CPAP y CNAF se han realizado en pacientes con bronquiolitis. La evidencia disponible en pacientes con otras afecciones respiratorias es limitada, pero sugiere algún beneficio con respecto al tiempo de mejora y la reducción de la necesidad de cambios en el manejo respiratorio con CPAP en comparación con CNAF ^{24,25}. Sin embargo el CPAP presenta menos tolerancia por parte de los pacientes y conlleva un mayor riesgo de lesiones a nivel de las narinas¹⁹.

INDICACIONES

Para el uso de la terapia con CNAF es indispensable que el paciente presente un esfuerzo respiratorio adecuado, se encuentre consciente, sea capaz de deglutir, curse con dificultad respiratoria de leve a moderada y no exista sospecha o evidencia de retención de CO₂, su uso puede prevenir la progresión a ventilación mecánica o no invasiva en pacientes seleccionados. La mayor parte de la experiencia clínica para la CNAF fuera de los recién nacidos proviene del manejo de pacientes con bronquiolitis. Aunque la evidencia es limitada, otras afecciones respiratorias en las que la terapia con CNAF puede tener un beneficio potencial incluyen:

Dificultad respiratoria/disnea: la terapia de alto flujo tiene la capacidad de mejorar el trabajo respiratorio; por lo tanto, puede usarse en pacientes con dificultad respiratoria que no responden a otras formas de suministro de oxígeno o terapias específicas de la enfermedad como broncodilatadores para el estado asmático o epinefrina racémica para el crup. Los estudios observacionales retrospectivos sugieren que las CNAF pueden reducir la dificultad respiratoria y mejorar la saturación de oxígeno en lactantes y niños con dificultad respiratoria por diversas causas^{27, 28}. Sin embargo, una proporción significativa de estos pacientes tiene riesgo de fracaso del tratamiento, lo que requiere intubación endotraqueal y ventilación mecánica (el 8% de los pacientes en un estudio)²⁷. Por lo tanto, la vigilancia estrecha y la reevaluación frecuente es un componente esencial de la administración adecuada de HFNC.

Traqueomalacia: la CNAF tiene el potencial de generar presión de distensión de las vías respiratorias, que se ha descrito en informes de casos de pacientes con traqueomalacia.

CONTRAINDICACIONES

La terapia con CNAF no debe retrasar el manejo avanzado de las vías respiratorias en un paciente que se considere que requiere intubación endotraqueal inmediata. Esto incluye pacientes con estado mental gravemente deteriorado, riesgo de aspiración u otra necesidad de protección de las vías respiratorias.

Se debe evitar el uso de terapia con CNAF en pacientes que cuentan con condiciones como: Insuficiencia respiratoria con hipercarbia, anomalías del macizo craneofacial como atresia de coanas o lesiones que impidan un ajuste adecuado de la cánula nasal, abundantes secreciones orales o nasales, vómitos activos, oclusión intestinal, lesiones de la vía respiratoria que condicionen fuga de aire la cual se puede manifestar como neumotórax o neumomediastino, así como agitación o confusión que predice la incapacidad de tolerar la terapia. La selección adecuada de pacientes es esencial para el uso exitoso de la cánula nasal de alto flujo.

Una vez iniciada la terapia con CNAF es necesaria una monitorización estrecha para detectar en forma temprana la necesidad de progresión de la modalidad de apoyo ventilatorio, los lactantes que comienzan con la terapia CNAF a menudo

muestran unamejoría en la frecuencia cardíaca y respiratoria, como signos tempranos de respuesta

27,28.

La actividad eléctrica del diafragma y la disminución de las oscilaciones de la presión esofágica se han usado en investigaciones para documentar la disminución de la dificultad respiratoria, pero no son útiles clínicamente¹⁴. La oxigenación debería mejorar después del inicio de la HFNC. En el estudio de Safiri 2018, una proporción de saturación de oxígeno $SO_2/ FiO_2 > 200$ a los 60 minutos se asoció con una terapia exitosa con CNAF²⁹. El índice ROX que resulta de dividir saturación de oxígeno entre fracción inspirada de oxígeno y este resultado a su vez dividirlo entre la frecuencia respiratoria se ha validado en adultos como predictor de éxito para la terapia con puntas nasales de alto flujo, Roca y colaboradores en 2019⁴² establecieron en pacientes adultos que un índice ROX ≥ 4.88 medido a las dos, seis o doce horas logró identificar a los pacientes que requirieron intubación o ventilación no invasiva; la investigación sobre la validez de este índice en pacientes pediátricos es limitada, el estudio de Yildizdas en 2021⁴³ ajustando el índice a los percentiles de frecuencia respiratoria para la edad demostró en un solo centro capacidad del índice ROX para predecir intubación en los pacientes con cánulas nasales de alto flujo sin embargo la limitación en el número de pacientes no sustenta la aplicabilidad de los resultados a todas las poblaciones pediátricas.

COMPLICACIONES

Las pruebas son limitadas con respecto a la seguridad del tratamiento con CNAF para el apoyo respiratorio en niños ³⁰. Las complicaciones graves notificadas por el tratamiento con CNAF se limitan a informes de casos de fuga de aire y neumocefalia ^{31,33}, las tasas de eventos adversos son menores que con la presión positiva continua en las vías respiratorias (CPAP) y comparables a oxigenoterapia estándar (<1%) ³⁴.

El riesgo de complicaciones secundarias a la alta presión de las vías respiratorias se puede reducir aún más con válvulas de alivio de presión integradas en algunos sistemas. Además, utilizar las tasas de flujo efectivas más bajas y garantizar la

selección adecuada del tamaño de la cánula nasal para permitir una fuga suficiente puede ser protector ³⁵.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El lavado del espacio muerto nasofaríngeo, la reducción de la resistencia de la vía respiratoria, el aumento del volumen pulmonar al final de la inspiración (capacidad residual funcional), la humidificación, mejora y preservación del sistema mucociliar y la mejora de la tolerancia son efectos reconocidos de la terapia con CNAF. Sin embargo, existe controversia sobre la eficacia de este dispositivo para aportar presión positiva al final de la espiración, ya que las investigaciones sobre el tema no han mostrado datos concluyentes. La ecuación de Bernoulli permite calcular el cambio en la presión de un gas a partir de su densidad y velocidad, variables que pueden ser determinadas en un dispositivo de puntas nasales de alto flujo conociendo la proporción de gases en la mezcla suministrada (FiO_2), su temperatura, el flujo en litros por minuto y el tamaño de la cánula empleada, por lo que se trata de un método no invasivo para la determinación de PEEP dinámico y que permite tomar en cuenta las variaciones de presión derivadas de los ajustes en los parámetros de la terapia de alto flujo realizados por el personal médico durante la evolución del paciente.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Existe relación entre la presión generada por la terapia con CNAF, calculada mediante la ecuación de Bernoulli, y el grado de dificultad respiratoria en pacientes pediátricos con síndrome de dificultad respiratoria?

¿Existe relación entre la presión generada por la terapia con CNAF, calculada mediante la ecuación de Bernoulli, y el puntaje del índice de ROX?

JUSTIFICACIÓN.

El empleo de la terapia con CNAF conlleva beneficios notables para los pacientes que cuenta con indicaciones para su uso; uno de los efectos discutidos de dicha terapia es la generación de presión positiva al final de la espiración ya que las investigaciones

realizadas al respecto presentan resultados variables, debido básicamente a que para considerar la posible presión positiva generada los estudios clínicos suelen tomar en cuenta el flujo suministrado al paciente siendo que, como se explica más adelante, la presión positiva generada depende también de la temperatura y la densidad de los gases inspirados (FiO_2) y del diámetro de las puntas presentes en la CNAF. No hemos encontrado hasta el momento un estudio clínico que use la ecuación de Bernoulli para determinar dicha presión tomando en cuenta el diámetro de la cánula, la densidad del gas, la temperatura y la velocidad de flujo en los resultados clínicos, sin embargo dicha ecuación permite determinar el cambio de presión de un fluido que se mueve a través de una línea corriente y solo se registra un reporte de caso en el que se ha utilizado dicha ecuación para explicar la mejoría clínica de una paciente adulta al ser expuesta a un flujo de aire del cual al conocerse los componentes de la ecuación de Bernoulli se llegó a una aproximación teórica de la presión positiva al final de la espiración⁴⁴; de ser demostrada la relación entre la presión positiva al final de la espiración con la evolución de la dificultad respiratoria y el riesgo de requerir ventilación no invasiva y/o ventilación mecánica invasiva, se contaría con una base importante para optimizar el uso de las CNAF al establecer parámetros basados en el cálculo de la presión y no en el flujo administrado como se realiza actualmente, ya que con la aplicación de la ecuación de Bernoulli se establece que la presión generada en un dispositivo de puntas nasales de alto flujo no aumenta en forma lineal con relación al aumento de flujo de gas si no que lo hace en forma exponencial, sufriendo además variaciones con los ajustes en la temperatura, la densidad (FiO_2), el diámetro de las puntas nasales que tienen las CNAF y no tan solo en la velocidad de flujo suministrado.

HIPÓTESIS

H0: La magnitud de la presión ejercida en la vía aérea por la terapia con CNAF no se asocia a disminución en el puntaje de dificultad respiratoria y aumento del puntaje del índice ROX en los pacientes pediátricos del Hospital Infantil de México.

H1: La magnitud de la presión ejercida en la vía aérea por la terapia con CNAF se asocia a disminución en el puntaje de dificultad respiratoria y aumento del puntaje del índice ROX en los pacientes pediátricos del Hospital Infantil de México.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto de la presión generada por la terapia con CNAF calculada mediante ecuación de Bernoulli y la evolución de la dificultad respiratoria y la variación en el índice ROX en los pacientes con dificultad respiratoria en el HIMFG de 01 de abril de 2021 al 31 de marzo de 2022.

Objetivos específicos:

- Calcular la presión positiva generada por las CNAF a diferentes parámetros mediante el uso de la ecuación de Bernoulli.
- Determinar si existe relación entre la presión positiva generada por las CNAF y el aumento del valor del índice ROX.
- Evaluar la evolución de la dificultad respiratoria en relación con la presión positiva al final de la espiración administrada por las CNAF.

MÉTODOS

Se trata de un estudio de cohorte prospectiva en el que se realizará un seguimiento de los pacientes hospitalizados en el HIMFG (<18 años) con dificultad respiratoria de cualquier etiología en los que se indique terapia de alto flujo por el médico tratante durante el periodo del 1 de abril de 2021 al 31 de mayo de 2022, se excluirán aquellos pacientes en los que no sea posible recabar todos los datos necesarios para integrar las variables del presente estudio. Mediante un instrumento de recopilación de datos (Anexo1) se hará el registro de los datos generales del paciente (edad, sexo, diagnósticos de base y de ingreso), se recopilarán las características y parámetros de programación del equipo de terapia de alto flujo, el tipo de CNAF empleadas en cada paciente en particular y el grado de dificultad respiratoria que presenta determinado mediante la escala clínica de dificultad respiratoria, la cual toma en cuenta frecuencia respiratoria, hallazgos a la auscultación, estado mental, uso de musculatura accesoria, saturación de oxígeno y coloración (Anexo 2) del paciente al inicio y después de 30, 60, 120 minutos y 6 horas. De igual manera, se registrará la necesidad de progresión a ventilación no invasiva y/o ventilación mecánica invasiva en caso de presentarse.

Índice ROX.

A partir de los datos recabados realizamos el cálculo de índice ROX al inicio y después de 30, 60, 120 minutos y 6 horas siendo este el resultado de dividir la saturación de oxígeno (SatO₂) entre el valor en decimal de la fracción inspirada de oxígeno (**FiO₂**) y este a su vez entre el número la frecuencia respiratoria por minuto (Fr).

$$\text{ROX} = (\text{SatO}_2 / \text{FiO}_2) / \text{Fr}.$$

ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN DEL DISPOSITIVO DE ALTO FLUJO.

Para calcular la energía cinética o presión positiva (**P**) que el flujo de gas ejerce a la salida de las puntas de las cánulas nasales de alto flujo empleadas, se utilizó la ecuación de Bernoulli³⁷, que establece lo siguiente

$$P \text{ (cmH}_2\text{O)} = [V^2 * (\delta * 0.5)] * 0.01 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Esta ecuación expresa que la presión (**P** = cmH₂O) alcanzada a la salida de las puntas nasales de la cánula de alto flujo empleada, guarda una relación directamente proporcional al producto del cuadrado de la velocidad de la mezcla de gas proporcionado (**V** = metros por segundo), multiplicado por la mitad de la densidad de la mezcla del gas (**δ** = kilos por metro cúbico); el producto de esta primer relación da como resultado el valor de la presión expresada en Julios por metro cuadrado (Julios/m²), al multiplicarlo por **0.01** se obtiene el valor equivalente en centímetros de agua (cmH₂O)³⁸, unidad de interés para el presente trabajo.

El cálculo la velocidad del flujo de gas (**V**) y de la densidad (**δ**) de la mezcla del flujo de gas proporcionado por el dispositivo se realizó de la siguiente manera:

- **Velocidad de flujo: V** (m/s) = **Q/A**³⁹ (Fórmula 2)

Esta fórmula expresa que la velocidad del flujo de gas suministrado por las cánulas nasales es directamente proporcional a la relación que se obtiene de dividir **Q**, que representa gasto o volumen de gas suministrado por el dispositivo de alto flujo por unidad de tiempo expresado en metros cúbicos por segundo (m³/s), entre **A**, que representa el área a través de la cual pasa dicho gasto expresada en metros cuadrados (m²). En este trabajo **Q** se obtiene a partir del flujo programado en el

dispositivo de alto flujo en litros por minuto (L/min), y **A** está representada por el área de corte de las dos puntas nasales de corte circular que cada tipo de cánula nasal tiene (tabla 1) y que fue empleadas de manera particular en cada paciente.

El cálculo del gasto y el área se realizó de la siguiente manera:

- **Gasto:** $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = (\text{Flujo programado} / 1,000) / 60^{40}$ (Fórmula 3)

Esta fórmula expresa que **Q** guarda una relación directamente proporcional al flujo programado de la mezcla de gas suministrado al paciente por unidad de tiempo (m³/s), valor que se programa en el dispositivo en L/min. Dado que un litro de gas es igual a 0.01 metros cúbicos (m³)³⁸, y un minuto es igual a 60 segundos, al dividir el flujo programado en el dispositivo (L/min) entre 1,000 y posteriormente entre 60, se obtiene el valor de **Q** en m³/s.

- **Área:** $A \text{ (m}^2\text{)} = [(\pi * r^2/2)/1,000]*2^{41}$ (Fórmula 4)

Cada tipo de cánula nasal empleada para el suministro de la terapia de alto flujo tiene dos puntas nasales, y cada punta nasal tiene un perfil de corte transversal de forma circular. La tabla 1 muestra los tipos de cánulas nasales empleadas, así como el diámetro y radio correspondientes de las puntas nasales. El área individual de cada punta nasal se calculó empleando la fórmula para el área de un círculo ($\pi * r^2/2$) donde π es igual a 3.1416⁴¹, **r** corresponde al radio en milímetros (mm) de las puntas nasales de la cánula nasal empleada. El resultado del área obtenido en mm se dividió entre 1,000 para obtener el valor en m². Dado que cada cánula nasal tiene dos puntas nasales, el área individual obtenida de cada punta nasal se multiplicó por dos para obtener el área total disponible de las dos puntas nasales en cada cánula nasal.

Tabla 1: Tipos de cánulas con diámetros y radios correspondientes de cada punta nasal

Tipo de cánula (Color de Testigo)	Clave en las hojas de registro	Diámetro (mm)	Radio (mm)
Neonatal (Azul)	II	2	1
Pediátrica (Naranja)	III	2.3 mm	1.15

Pediátrica-adulto pequeña (Rojo)	IV	2.7 mm	1.35
Adulto (Negro)	V	3 mm	1.5

Densidad: La densidad de la mezcla de gases (δ) expresada en unidades de masa por volumen (gramos por litro o su equivalente kilogramos por metro cúbico), suministrada a cada paciente en particular y en cada momento de evaluación, se calculó con la siguiente fórmula:

$$\delta \text{ (g/L)} = (\delta\text{O}_2 * \text{FiO}_2 \text{ programada}) + (\delta\text{N}_2 *(1 - \text{FiO}_2 \text{ programada}) \text{ }^{42} \text{ (Fórmula 5)}$$

En donde:

- δO_2 y δN_2 corresponden a la **densidad (δ)** individual de los dos gases presentes en la mezcla de gas suministrada en la terapia de alto flujo; oxígeno molecular (O_2) y nitrógeno molecular (N_2). El valor δ para cada gas en particular se calculó de la siguiente manera:

$$\delta \text{ (g/L)} = (\text{Pmol} * 0.763) / [0.08209 * ^\circ\text{C programada} + 273] \text{ }^{42} \text{ (Fórmula 6)}$$

En donde:

- **Pmol:** corresponde al peso molecular del gas en cuestión, 32 para el O_2 obtenida de multiplicar el peso atómico del oxígeno de 16 por dos, y de 28 para el N_2 obtenida de multiplicar el peso atómico del nitrógeno 14 por dos⁴².

- **0.763:** representa la presión atmosférica a la altura del medio ambiente de trabajo, en este caso a la altura de la Ciudad de México expresada en atmósferas. Dado que a nivel del mar una atmósfera es igual a 760 mmHg, el valor promedio de la presión atmosférica de 580 mmHg para la CDMX⁴³ corresponde a un valor de **0.763 atmósferas**.

- **0.08209:** representa la constante universal de los gases ideales ($\text{L} * \text{atm} / (\text{K} * \text{mol})$), a una presión de una atmósfera y a 273 grados Kelvin³⁷.

- **$^{\circ}\text{C programada} + 273$** : representa la temperatura de trabajo del medio ambiente, en el presente ejercicio representa la temperatura a la que se entrega la mezcla de gases suministrada a los pacientes. La temperatura de trabajo debe expresarse en escala Kelvin, pero los dispositivos de alto flujo la temperatura se programa en escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$), valor al que se le suma la constante de 273 para obtener el equivalente en escala Kelvin.

$$K = ^{\circ}\text{C programada} + 273 \quad 38 \quad (\text{Fórmula 7})$$

δ (g/L) = ($\delta\text{O}_2 * \text{FiO}_2 \text{ programada}$) + ($\delta\text{N}_2 *(1 - \text{FiO}_2 \text{ programada})$): expresa a δ como el producto de la suma del valor de la densidad particular de cada gas presente en la mezcla de gases suministrados, δO_2 y δN_2 , multiplicado por la proporción que ocupa cada gas en dicha mezcla. En los dispositivos de alto flujo, la proporción de cada uno de estos dos gases, esencialmente la del O_2 , se modifica de acuerdo con las necesidades clínicas del paciente. La proporción de O_2 suministrado al paciente se ajusta programando en el dispositivo el valor de la fracción inspirada de O_2 (FiO_2 programada) en valor porcentual (%), pero que es necesario expresar en fracción decimal en el presente trabajo (p. ejem: FiO_2 programada de 50% = 0.5). En el mismo sentido **$1 - \text{FiO}_2 \text{ programada}$** corresponde a la proporción de N_2 expresada en fracción decimal, valor que resulta de la diferencia de uno menos la proporción decimal de O_2 obtenida previamente.

Finalmente, el valor de δ expresado en g/L, tiene un valor equivalente exacto al expresarse en Kg/m^3 , unidades que serán empleadas en el presente trabajo.

Para llevar a cabo los cálculos referidos anteriormente, se programó una hoja de cálculo en la paquetería Microsoft Office Excel 2013 para obtener la energía cinética o presión suministrada a la salida de las puntas nasales de acuerdo con la ecuación de Bernoulli. En dicha hoja de cálculo se expresaron las fórmulas anteriormente descritas (1-7), empleando los valores de las constantes necesarias para cada una de ellas, e ingresando los valores de las variables de flujo (L/min), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y

FiO₂ (en decimales) programados en el dispositivo de alto flujo, así como el radio (mm) de las puntas nasales de acuerdo a la cánula nasal de alto flujo empleada (Tabla 1).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Las variables cualitativas fueron descritas mediante porcentajes, y las variables cuantitativas empleando medidas de tendencia central y dispersión (mediana y rango intercuartílico).

Se utilizó el índice ROX = (SaO₂/FiO₂)/Fr y mediante prueba de correlación de Pearson se estimó su relación con el valor de la presión de la vía aérea, mediante el cálculo del valor de R considerando como una correlación positiva un valor cercano a 1. De igual manera mediante el uso de correlación de Pearson se estimó la relación del puntaje de dificultad respiratoria con la presión de la vía aérea en donde se consideró positiva una correlación inversa con un valor cercano a -1.

Adicionalmente se dicotomizó el valor de la dificultad respiratoria en pacientes con presión positiva a la vía aérea mayor a 4 cmH₂O y aquellos en los que el valor de dicha medida era menor a 4, así mismo se crearon 2 grupos de pacientes según el puntaje de dificultad respiratoria diferenciando entre aquellos con algún grado de dificultad respiratoria y los que se encontraron sin dificultad; lo anterior con el fin de realizar el cálculo de prueba exacta de Fisher.

DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo	Valor	Instrumento de medición
Frecuencia respiratoria	Número de respiraciones en el lapso de un minuto	Número de respiraciones por minuto contabilizadas en forma directa por el investigador.	Cuantitativa discreta	Variable	Conteo directo
Frecuencia cardíaca	Número de latidos en el lapso de un minuto	Número de complejos QRS por minuto registrados por el monitor.	Cuantitativa discreta	Variable	Monitor
Saturación de oxígeno	Porcentaje de hemoglobina unida a oxígeno	Porcentaje de hemoglobina unida a oxígeno determinado por oximetría de pulso.	Cuantitativa discreta	Variable	Monitor
Flujo de gas	Volumen en litros de gas que otorga el	Litros de gas por minuto	Cuantitativa continua	Variable	Dispositivo de alto flujo

	dispositivo en el lapso de un minuto.	programados en el sistema de alto flujo.			
Temperatura	Grados centígrados a los que se encuentra el gas otorgado por la cánula.	Grados centígrados programados en el sistema de alto flujo.	Cuantitativa continua	Variable	Dispositivo de alto flujo
Fracción inspirada de oxígeno	Porcentaje de oxígeno en el aire que otorga la cánula.	Porcentaje de oxígeno programado en el dispositivo de alto flujo.	Cuantitativa discreta	21 – 100%	Dispositivo de alto flujo
Presión generada por el dispositivo de puntas nasales de alto flujo.	Fuerza ejercida por el gas administrado a la vía aérea.	Fuerza aplicada a la vía aérea calculada en función de la densidad del gas y su velocidad.	Cuantitativa continua	Variable	Ecuación de Bernoulli
Grado de dificultad respiratoria.	Aumento del trabajo respiratorio	Sumatoria de los valores asignados a FR, auscultación, uso de músculos accesorios, estado mental, S _O 2 y coloración previo a la colocación del dispositivo de puntas nasales de alto flujo y después de 30, 60, 120 minutos y a las 6 horas.	Cuantitativa discreta	1-3= Leve 4-7= Moderada 8-14= Grave	Escala clínica de dificultad respiratoria
Riesgo de uso de ventilación no invasiva y/o invasiva	Soporte respiratorio mediante el uso de un ventilador mecánico.	Uso de ventilación mecánica dentro de las primeras 6 horas posteriores al inicio de la terapia con puntas nasales de alto flujo.	Cualitativa binaria	Variable	Hoja de registro
Valor de índice ROX	Efecto de la terapia en la saturación de oxígeno y la frecuencia respiratoria.	Valor obtenido de (S _O 2/FiO ₂)/Fr al previo a la colocación del dispositivo de puntas nasales de alto flujo y después de 30, 60, 120 minutos y a las 6 horas	Cuantitativa continua	1= Sí 2= No	Índice ROX
Evolución final	Progresión a ventilación mecánica invasiva o ventilación no invasiva dentro de las 6 horas posteriores al inicio de la terapia con CNAF.	Progresión a ventilación mecánica invasiva o ventilación no invasiva dentro de las 6 horas posteriores al inicio de la terapia con CNAF.	Cuantitativa binaria	1= Mejoría 2= Ventilación no invasiva o ventilación mecánica invasiva	Hoja de registro

RESULTADOS.

Se estudiaron un total de 63 pacientes de los cuales solo 27 contaban con las mediciones completas para su inclusión en el presente estudio; de estos 14 (52%) fueron de sexo masculino y 13 (48%) de sexo femenino por lo tanto se realizaron un total de 135 mediciones, 5 por paciente en los horarios previamente establecidos. Las edades de los pacientes fueron de los 4 meses a los 14 años con un promedio de

edad de 4.8 años (Anexo 3). En cuanto a los diagnósticos de base 5 de ellos (19%) eran previamente sanos, 3 contaban con diagnóstico de cardiopatía congénita (11%) y 3 con fibrosis quística (11%) (Anexo 4). En cuanto al diagnóstico de ingreso 15 pacientes (56%) contaron con diagnóstico de neumonía mientras que 6 (22%) se encontraban en recuperación postquirúrgica relacionada con la patología de base, 2 pacientes presentaron exacerbación fibrosis quística y 2 fueron diagnosticados con bronquiolitis, un caso de COVID 19 y 1 paciente trasplantada de hígado posterior al retiro de ventilación mecánica invasiva en el periodo postquirúrgico (Anexo 5).

Los dispositivos indicados previos al inicio de la terapia con puntas nasales de alto flujo fueron: mascarilla con reservorio en 11 casos (41%), puntas nasales convencionales en 6 pacientes (22%) y ventilación mecánica invasiva en 6 pacientes (22%) (Anexo 6).

En 26 de los 27 pacientes el dispositivo de alto flujo fue del fabricante Vapotherm®, en el caso restante se usó la torre de alto flujo con un sistema del fabricante Fisher & Paykel®. El tipo de cánula nasal más usado fue la pediátrica pequeña con diámetro de 2.3 mm que fue indicada en 14 pacientes (52%), 6 (22%) fueron manejados con cánula pediátrica de 2.7 mm, 5 (19%) con cánula de adulto de 3 mm y solo uno con cánula de lactante de 2 mm (Anexo 8). Al momento del inicio de la terapia de alto flujo 14 (52%) pacientes presentaban dificultad respiratoria moderada y 13 (48%) cursaban con un cuadro leve de acuerdo con la escala de dificultad respiratoria descrita con anterioridad. Tres de los 27 pacientes estudiados no respondieron en forma satisfactoria al manejo con puntas nasales de alto flujo por lo que fue necesaria la progresión a ventilación mecánica invasiva en uno caso y no invasiva en dos casos.

Los resultados de la correlación de Pearson para determinar la relación entre la presión del dispositivo de alto flujo y el valor del índice ROX en cada una de las 5 determinaciones descritas con anterioridad tuvieron los siguientes valores: 1ª medición $R=0.36$, 2ª medición $R= 0.32$, 3ª medición $R= 0.12$, 4ª medición $R=-0.17$, 5ª medición $R= 0.47$. La correlación de Pearson entre la presión calculada del dispositivo y el puntaje de dificultad respiratoria reportó los siguientes valores: 1ª medición $R= -$

0.06, 2ª medición R= -0.24, 3ª medición R= -0.009, 4ª medición R= 0.34, 5ª medición R=0.23.

En cuanto a la asociación entre la presión calculada de la vía aérea y la dificultad respiratoria en 76% de las mediciones los pacientes presentaban algún grado de dificultad respiratoria de estos a su vez en el 60% de los casos la estimación de presión de los dispositivos de alto flujo fue menor a 4 cmH₂O mientras que el restante 40% la presión fue mayor a 4 cmH₂O, las mediciones en las que no se encontró dificultad respiratoria correspondieron al 24% de las cuales el 64% contaba con presión en el dispositivo de alto flujo mayor a 4 mmHg y el restante 36% presentaba una estimación menor de acuerdo a la ecuación de Bernoulli. Con los datos descritos se obtuvo un valor de p= 0.023 mediante prueba exacta de Fisher, la tabla cruzada para dicho cálculo se detalla en el anexo 11.

DISCUSIÓN.

La distribución de los pacientes en cuanto a edad y sexo fue amplia sin embargo la proporción de pacientes con datos incompletos limitó en forma importante el desarrollo del estudio. Si bien se recabaron datos de los pacientes de un centro de tercer nivel de atención, casi una quinta parte de los pacientes eran previamente sanos; en cuanto al padecimiento agudo predominaron las causas de origen infeccioso. Los datos recabados respecto a las especificaciones de los dispositivos de alto flujo así como el tamaño de las cánulas permite tener presente las variaciones que pueden existir entre fabricantes y diámetros de cánula los cuales en pocas ocasiones son referidas en la literatura. En la prueba de correlación de Pearson no se logró establecer que los valores de presión positiva al final de la espiración calculados mediante ecuación de Bernoulli expliquen en forma significativa la disminución del puntaje de dificultad respiratoria o el aumento del valor del índice ROX, sin embargo la prueba exacta de Fisher estableció que valores de PEEP calculada mayores a 4 se relacionaron con menor grado de dificultad respiratoria; si bien las variaciones individuales en la respuesta a la terapia con puntas nasales de alto flujo han sido descritas aún en estudios más amplios⁴ por factores como el ajuste de la cánula nasal, la apertura bucal¹⁰ y factores relacionados al diagnóstico del paciente²⁷ la implementación de una

ecuación de mecánica de fluidos aplicada a un aspecto tan elemental de apoyo ventilatorio como lo es la presión positiva a la vía aérea abre una ventana de oportunidad para futuros estudios. Investigaciones previas¹³ han implementado tecnologías de medición de actividad eléctrica del diafragma y medición directa de presiones faríngeas para tratar de establecer los efectos de la presión otorgada por los dispositivos de alto flujo sin embargo métodos que resultan poco prácticos para emplearse en forma generalizada.

Ya que el flujo y el diámetro de la cánula constituyen los principales determinantes de la presión en la ecuación de Bernoulli, damos a conocer las medidas que obtuvimos al proyectar la presión que se obtendría con flujos de aire progresivos en los diferentes tamaños de cánula (Anexo 12), dichas presiones fueron estimadas en su totalidad con una temperatura de gas de 38 grados centígrados y fracción inspirada de oxígeno de 30% con lo cual se obtuvo un incremento exponencial de la presión estimada a medida que se incrementaba el flujo de gas. Con esto esperamos sentar una base para que la experiencia clínica y futuras investigaciones establezcan la relevancia de que el clínico incluya la estimación de la presión al programar los parámetros de los dispositivos de puntas nasales de alto flujo.

CONCLUSIONES.

La presión de los dispositivos de alto flujo calculada mediante ecuación de Bernoulli no explica en forma significativa la mejoría en la dificultad respiratoria ni los puntajes de índice ROX, sin embargo, valores de presión >4 cmh₂O se relacionan con menor grado de dificultad respiratoria; se requerirán futuras investigaciones para establecer la importancia de este método para estimar la presión de las puntas nasales de alto flujo en la práctica clínica sin embargo el hecho de no requerir procedimientos invasivos ni equipo especializado representa un área de oportunidad para su estudio.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	S e p 2 0	O c t 2 0	N o v 2 0	D i c 2 0	E n e 2 1	F e b 2 1	M a r 2 1	A b r 2 1	M a y 2 1	J u n 2 1	J u l 2 1	A g o 2 1	S e p 2 1	O c t 2 1	N o v 2 1	D i c 2 1	E n e 2 2	F e b 2 2	M a r 2 2	A b r 2 2	M a y 2 2	
Elección del tema.																						
Pregunta de investigación																						
Planteamiento del problema																						
Hipótesis																						
Objetivos																						
Justificación																						
Métodos																						
Antecedentes																						
Presentación del proyecto																						
Marco teórico																						
Recolección de datos																						
Entrega de avance																						
Análisis estadístico																						
Discusión																						
Conclusiones																						
Entrega de proyecto final																						

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Franklin D, Franz EB, A Randomized Trial of High-Flow Oxygen Therapy in Infants with Bronchiolitis, N Engl J Med 2018;378:1121-31.
- 2.- Kubicka ZJ, Limauro J, Darnall RA. Heated, humidified high-flow nasal cannula therapy: yet another way to deliver continuous positive airway pressure? Pediatrics. 2008;121(1):82–88
- 3.- Pham TM, O'Malley L, Mayfield S, Martin S, Schibler A: The effect of high flow nasal cannula therapy on the work of breathing in infants with bronchiolitis. Pediatr Pulmonol 2014, doi:10.1002/ppul.23060.
- 4.- Milési C, Baleine J, Matecki S, et al. Is treatment with a high flow nasal cannula effective in acute viral bronchiolitis? A physiologic study. Intensive Care Med 2013; 39:1088
- 5.- Miller AG, Gentle MA, Tyler LM, Napolitano N. High-Flow Nasal Cannula in Pediatric Patients: A Survey of Clinical Practice. Respir Care 2018; 63:894.

- 6.- Wraight TI, Ganu SS. High-flow nasal cannula use in a paediatric intensive care unit over 3 years. *Crit Care Resusc* 2015; 17:197.
- 7.- Hutchings FA, Hilliard TN, Davis PJ. Heated humidified high-flow nasal cannula therapy in children. *Arch Dis Child* 2015; 100:571.
- 8.- Lee JH, Rehder KJ, Williford L, et al. Use of high flow nasal cannula in critically ill infants, children, and adults: a critical review of the literature. *Intensive Care Med* 2013; 39:247.
- 9.- Möller W, Celik G, Feng S, et al. Nasal high flow clears anatomical dead space in upper airway models. *J Appl Physiol (1985)* 2015; 118:1525.
- 10.- Nieves A, Cozzo A, Kosoff Z, et al. 3D airway model to assess airway dead space. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2019; 104:F321.
- 11.- Dysart K, Miller TL, Wolfson MR, Shaffer TH. Research in high flow therapy: mechanisms of action. *Respir Med* 2009; 103:1400.
- 12.-Frizzola M, Miller TL, Rodriguez ME, et al. High-flow nasal cannula: impact on oxygenation and ventilation in an acute lung injury model. *Pediatr Pulmonol* 2011; 46:67.
- 13.-Pham TM, O'Malley L, Mayfield S, et al. The effect of high flow nasal cannula therapy on the work of breathing in infants with bronchiolitis. *Pediatr Pulmonol* 2015; 50:713.
- 14.- de Jongh BE, Locke R, Mackley A, et al. Work of breathing indices in infants with respiratory insufficiency receiving high-flow nasal cannula and nasal continuous positive airway pressure. *J Perinatol* 2014; 34:27.
- 15.-Saslow JG, Aghai ZH, Nakhla TA, et al. Work of breathing using high-flow nasal cannula in preterm infants. *J Perinatol* 2006; 26:476.
- 16.- Fontanari P, Burnet H, Zattara-Hartmann MC, Jammes Y. Changes in airway resistance induced by nasal inhalation of cold dry, dry, or moist air in normal individuals. *J Appl Physiol (1985)* 1996; 81:1739.
- 17.- Dani C, Pratesi S, Migliori C, Bertini G. High flow nasal cannula therapy as respiratory support in the preterm infant. *Pediatr Pulmonol* 2009; 44:629.
- 18.- Kubicka ZJ, Limauro J, Darnall RA. Heated, humidified high-flow nasal cannula therapy: yet another way to deliver continuous positive airway pressure? *Pediatrics* 2008; 121:82

- 19.- Milani GP, Plebani AM, Arturi E, et al. Using a high-flow nasal cannula provided superior results to low-flow oxygen delivery in moderate to severe bronchiolitis. *Acta Paediatr* 2016; 105:e368.
- 20.- Zhu Y, Yin H, Zhang R, et al. High-flow nasal cannula oxygen therapy versus conventional oxygen therapy in patients after planned extubation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2019; 23:180.
- 21.- Maggiore SM, Idone FA, Vaschetto R, et al. Nasal high-flow versus Venturi mask oxygen therapy after extubation. Effects on oxygenation, comfort, and clinical outcome. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; 190:282.
- 22.- Schwabbauer N, Berg B, Blumenstock G, et al. Nasal high-flow oxygen therapy in patients with hypoxic respiratory failure: effect on functional and subjective respiratory parameters compared to conventional oxygen therapy and non-invasive ventilation (NIV). *BMC Anesthesiol* 2014; 14:66.
- 23.- Vitaliti G, Vitaliti MC, Finocchiaro MC, et al. Randomized Comparison of Helmet CPAP Versus High-Flow Nasal Cannula Oxygen in Pediatric Respiratory Distress. *Respir Care* 2017; 62:1036.
- 24.- Ramnarayan P, Lister P, Dominguez T, et al. FIRST-line support for Assistance in Breathing in Children (FIRST-ABC): a multicentre pilot randomised controlled trial of high-flow nasal cannula therapy versus continuous positive airway pressure in paediatric critical care. *Crit Care* 2018; 22:144.
- 25.- Kelly GS, Simon HK, Sturm JJ. High-flow nasal cannula use in children with respiratory distress in the emergency department: predicting the need for subsequent intubation. *Pediatr Emerg Care* 2013; 29:888.
- 26.- Spentzas T, Minarik M, Patters AB, et al. Children with respiratory distress treated with high-flow nasal cannula. *J Intensive Care Med* 2009; 24:323.
- 27.- Bressan S, Balzani M, Krauss B, et al. High-flow nasal cannula oxygen for bronchiolitis in a pediatric ward: a pilot study. *Eur J Pediatr* 2013; 172:1649.
- 28.- Mayfield S, Bogossian F, O'Malley L, Schibler A. High-flow nasal cannula oxygen therapy for infants with bronchiolitis: pilot study. *J Paediatr Child Health* 2014; 50:373.
- 29.- Safiri S, Qorbani M. Comments on "Predictive factors for the outcome of high flow nasal cannula therapy in a pediatric intensive care unit: Is the SpO₂/FiO₂ ratio useful?". *J Crit Care* 2018; 44:12.
- 30.- Mayfield S, Jauncey-Cooke J, Hough JL, et al. High-flow nasal cannula therapy for respiratory support in children. *Cochrane Libr* 2014; 3:Cd009850.
- 31.- Hegde S, Prodhan P. Serious air leak syndrome complicating high-flow nasal cannula therapy: a report of 3 cases. *Pediatrics* 2013; 131:e939.

- 32.- Jasin LR, Kern S, Thompson S, et al. Subcutaneous scalp emphysema, pneumo-orbitis and pneumocephalus in a neonate on high humidity high flow nasal cannula. *J Perinatol* 2008; 28:779.
- 33.- Lin J, Zhang Y, Xiong L, et al. High-flow nasal cannula therapy for children with bronchiolitis: a systematic review and meta-analysis. *Arch Dis Child* 2019; 104:564.
- 34.- Cummings JJ, Polin RA, Committee on Fetus and Newborn, American Academy of Pediatrics. Noninvasive Respiratory Support. *Pediatrics* 2016; 137.
- 35.- L. D. Landau, E. M. Lifshitz, V. B. Berestetskii, L. P. Pitaevskii. Física teórica: Mecánica de fluidos. Reverte 2012; Pags 11 -15
- 36.- A. Thompson, B. N. Taylor. Guide for the use of the international system of units (SI). National Institute of Standards and Technology 2008; Pag 47
- 37.- G. Sotelo. Hidráulica General. Editorial LIMUSA 1997. Pag 88 - 89. ISBN 968-18-0503-8
- 38.- White, Frank M. Fluid Mechanics (7th ed.). McGraw-Hill 2011, Pag 230.
- 39.- A. Caballero, L. Martínez Tablas matemáticas Editorial Esfinge 2004 Pag 9
- 40.- David R. W.M. Haynes. Handbook of Chemistry and Physics 9ed (2009). CRC Press Editorial. pp. 804.
- 41.- 1. SEDEMA. Calidad del Aire [Internet]. Gobierno de la Ciudad de México. 2022 [citado 4 abril 2022]. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBhnml=%27&opcion=bq==>
- 42.- Roca O, Caralt B, Messika J, Samper M, Sztrymf B, Hernández G, García-de-Acilu M, Frat JP, Masclans JR, Ricard JD (2019) An index combining respiratory rate and oxygenation to predict outcome of nasal high-flow therapy. *Am J Respir Crit Care Med* 199:1368–1376. <https://doi.org/10.1164/rccm.201803-0589OC>
- 43.- Yildizdas, D., Yontem, A., Iplik, G. et al. Predicting nasal high-flow therapy failure by pediatric respiratory rate-oxygenation index and pediatric respiratory rate-oxygenation index variation in children. *Eur J Pediatr* 180, 1099–1106 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03847-6>
- 44.- MC Kee JD, Simony P. Auto PEEP; *New England Journal Of Medicine*, New York 1990, 329:212-213

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El uso de la ecuación de Bernoulli representa una aproximación a la presión generada por el dispositivo de puntas nasales de alto flujo y no hay estudios que validen su aplicación en la clínica.

El registro se llevó a cabo en un solo centro hospitalario.

El tamaño de muestra fue muy limitado.

ANEXOS

Anexo 1: Instrumento de recolección de datos.

Nombre:	FN:	Reg:
Sexo:	Peso:	Fecha: Hora:
Diagnósticos:	Antecedentes de ventilación:	Dispositivos previos en padecimiento actual:
Tratamiento:		

Variables	Previo (:)	Inicio (:)	30 min (:)	60 min (:)	120 min (:)	6 hrs (:)
Frecuencia Respiratoria						
Frecuencia Cardíaca						
Dificultad respiratoria *						
S02 (oximetría de pulso)						
Flujo (litros/min)						
Temperatura (°C)						
FiO2						
Tamaño de cánula **						
Dispositivo de alto flujo ***						
Desenlace ++						
Índice ROX (SO2/FiO2)/FR						

(*) **Table 1** The Clinical Respiratory Score (CRS) is a rapidly determined, easy to use tool that takes into account the 6 parameters shown in the table

Assess	Score 0	Score 1	Score 2
Respiratory Rate	Age 1-5 years: < 30 Age > 5 years: < 20	Age 1-5 years: 30-40 Age > 5 years: 20-30	Age 1-5 years: > 40 Age > 5 years: > 30
Auscultation	Good air movement, Expiratory scattered wheezing or loose rales/crackles	Depressed air movement, inspiratory and expiratory wheezes or rales/crackles	Diminished or absent breath sounds, severe wheezing or rales/crackles or marked prolonged expiration
Use of Accessory Muscles	Mild to no use of accessory muscles. Mild to no retractions or nasal flaring on inspiration	Moderate intercostal retractions, mild to moderate use of accessory muscles, nasal flaring.	Severe intercostal and substernal retractions, nasal flaring
Mental Status	Normal to Mildly irritable	Irritable, agitated, restless	Lethargic
Room Air SpO ₂	> 95%	90-95%	< 90%
Color	Normal	Pale to normal	Cyanotic, dusky

Based on the total score obtained there can be 3 categories of respiratory distress: Mild (< 3), Moderate (4-7), Severe (8-12). (References [15-17])

Tamaño de cánula (**)	Color	Clave
Prematuro	Azul cielo	I
Neonato	Azul marino	II
Pediátrico S	Naranja	III
Pediátrico intermedio	Rojo	IV
Adulto	Negro	V

(***) Dispositivo de alto flujo: 1: Vapotherm, 2: torre, 3: ventilador.

(++) Desenlace: 1: Puntas nasales convencionales, 2: mascarilla bolsa reservorio, 3: ventilación no invasiva, 4: ventilación mecánica invasiva, 5: otro (especificar).

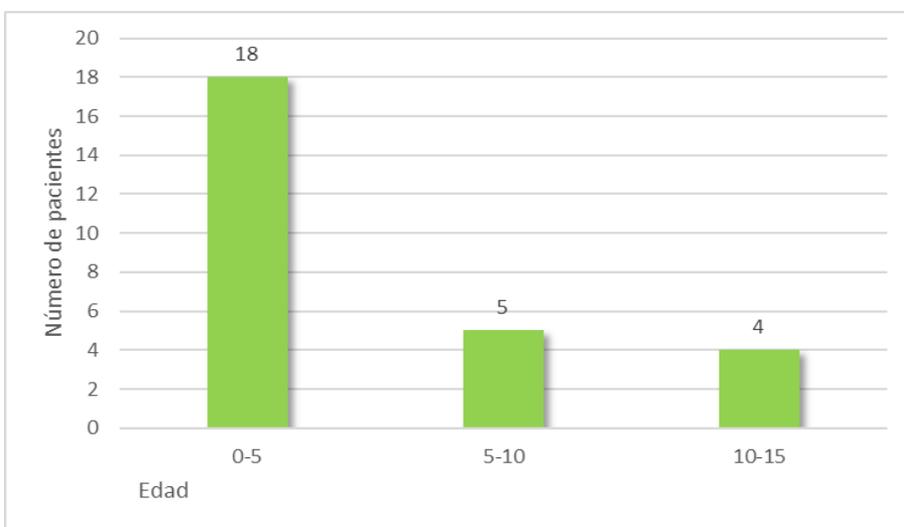
Anexo 2: Escala de dificultad respiratoria

Table 1 The Clinical Respiratory Score (CRS) is a rapidly determined, easy to use tool that takes into account the 6 parameters shown in the table

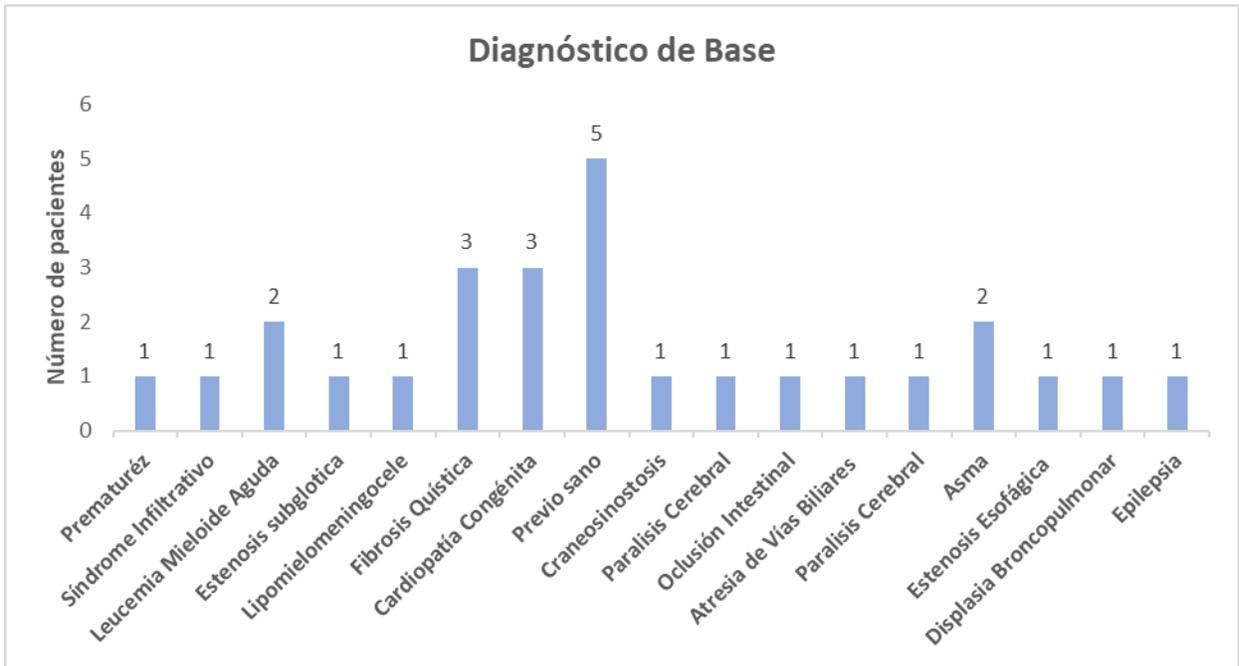
Assess	Score 0	Score 1	Score 2
Respiratory Rate	Age 1–5 years: < 30 Age > 5 years: < 20	Age 1–5 years: 30–40 Age > 5 years: 20–30	Age 1–5 years: > 40 Age > 5 years: > 30
Auscultation	Good air movement, Expiratory scattered wheezing or loose rales/crackles	Depressed air movement, inspiratory and expiratory wheezes or rales/crackles	Diminished or absent breath sounds, severe wheezing or rales/crackles or marked prolonged expiration
Use of Accessory Muscles	Mild to no use of accessory muscles, Mild to no retractions or nasal flaring on inspiration	Moderate intercostal retractions, mild to moderate use of accessory muscles, nasal flaring.	Severe intercostal and substernal retractions, nasal flaring
Mental Status	Normal to Mildly irritable	Irritable, agitated, restless	Lethargic
Room Air SpO ₂	> 95%	90–95%	< 90%
Color	Normal	Pale to normal	Cyanotic, dusky

Based on the total score obtained there can be 3 categories of respiratory distress: Mild (< 3), Moderate (4–7), Severe (8–12). (References [15–17])

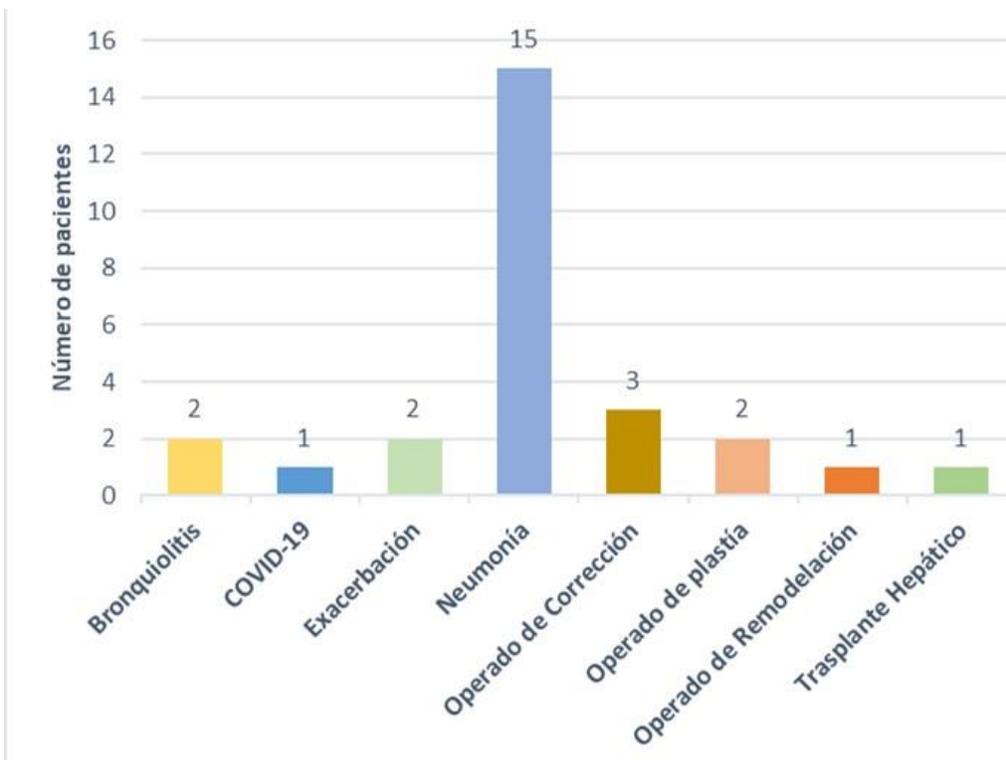
Anexo 3: Pacientes estudiados por edad.



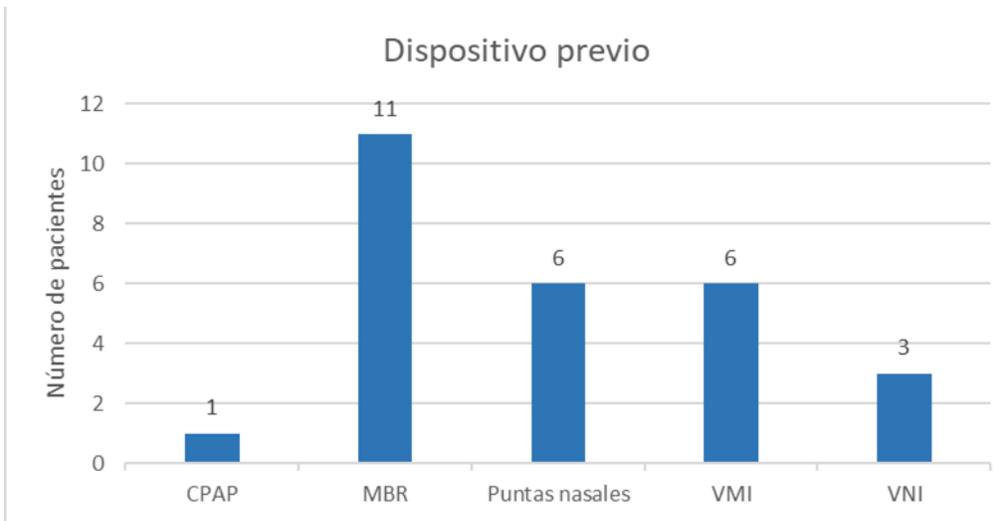
Anexo 4: Diagnósticos de base.



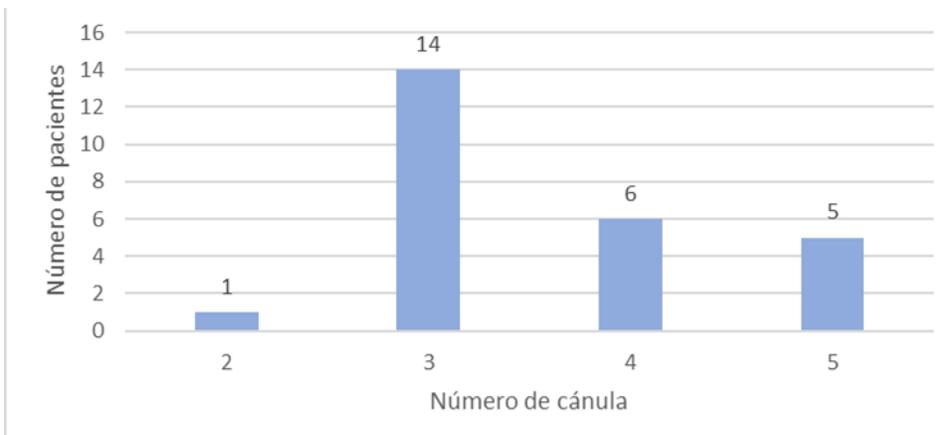
Anexo 5: Diagnósticos de ingreso.



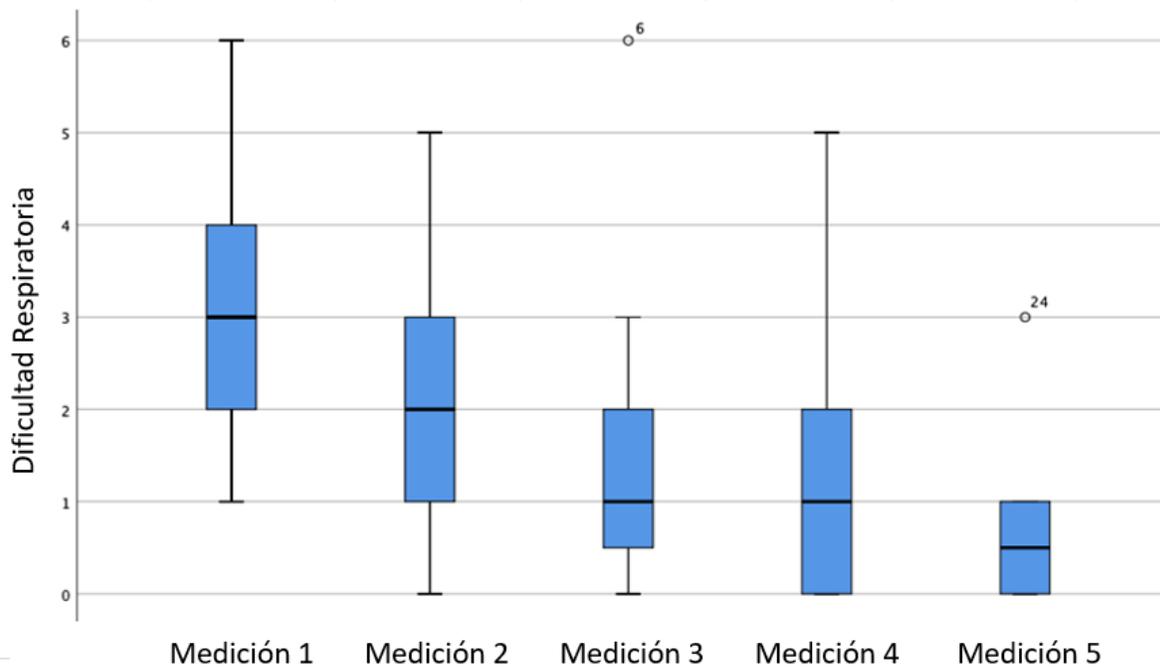
Anexo 6: Dispositivos previos a terapia de alto flujo.



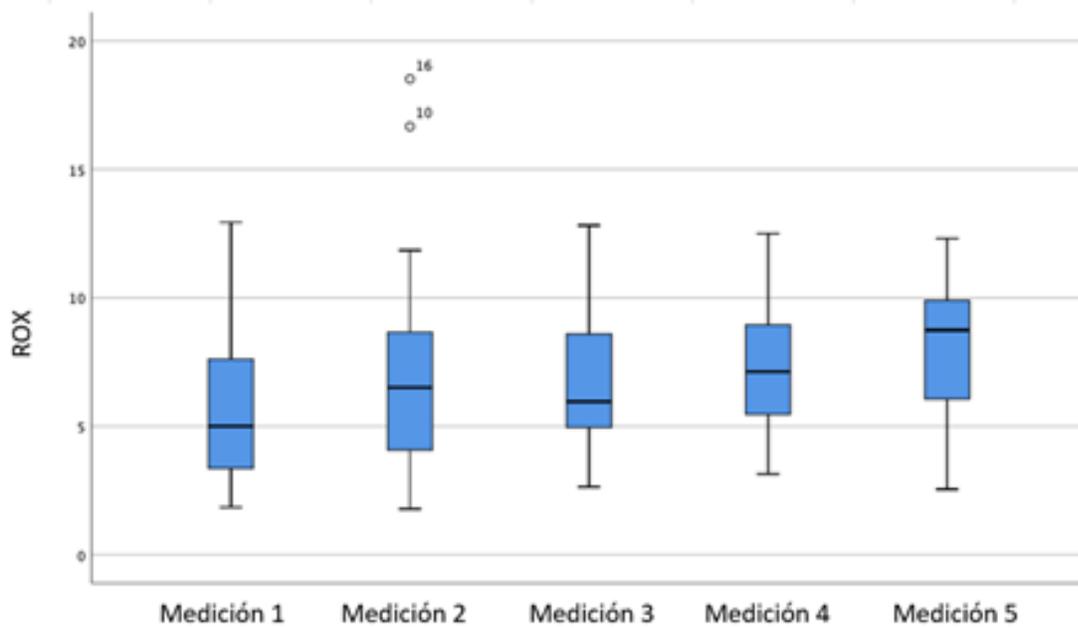
Anexo 7: Número de cánula en pacientes estudiados.



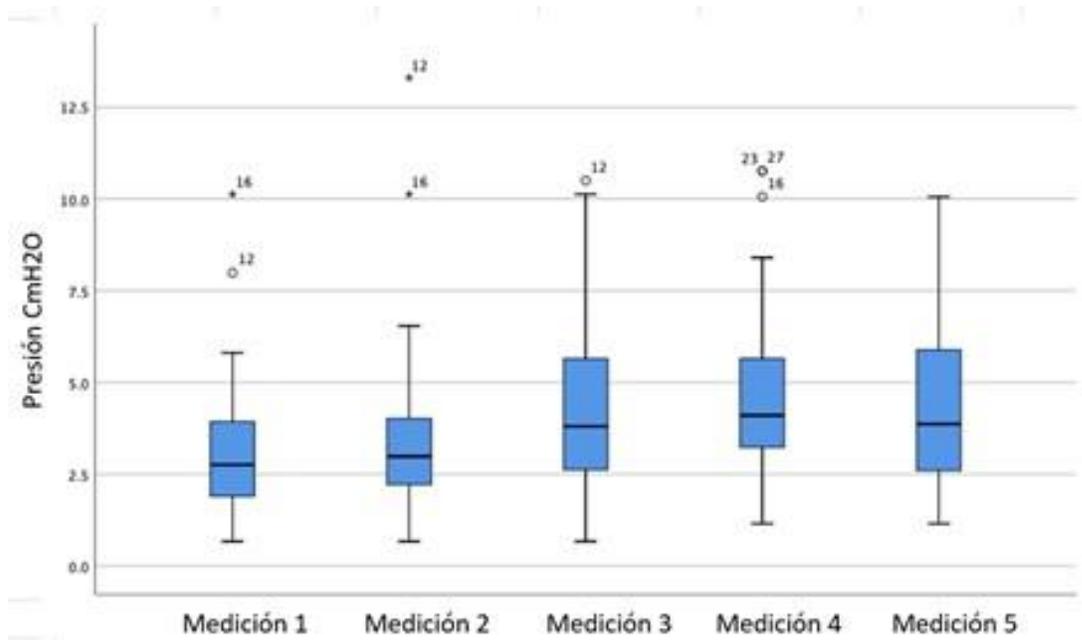
Anexo 8: Medianas de dificultad respiratoria.



Anexo 9: Medianas de índice ROX.



Anexo 10: Medianas de presión del dispositivo de alto flujo.



Anexo 11: Tabla cruzada de presión y dificultad respiratoria para cálculo de prueba exacta de Fisher.

		Dificultad respiratoria		Total
		Con dificultad	Sin dificultad	
Presión de CNAF	>4 cmH ² O	40(30%)	20(15)	60(45%)
	<4 cmH ² O	61(46%)	11(9%)	72(55%)
Total		101(76%)	31(24%)	132(100%)

P= 0.023

Anexo 12: Tablas de Flujo/Presión para diferentes calibres de cánula en terapia con puntas nasales de alto flujo a una temperatura constante de 38°C y FiO2 constante de 30%.

