

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMÉDICAS
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

**INFLUENCIA DEL BALANCE DE FLUIDOS EN LAS DETERMINACIONES
DE NIF, P0.1 Y EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA Y SU IMPORTANCIA EN
EL FRACASO DEL PROCESO DE EXTUBACIÓN EN PACIENTES DE LA
UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS DEL HOSPITAL GENERAL “DR.
SALVADOR ZUBIRÁN ANCHONDO”**

PRESENTADO POR
DR. JULIO CÉSAR CORRAL GONZÁLEZ

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALIDAD EN MEDICINA EN EL ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

SEPTIEMBRE DE 2025



Universidad Autónoma de Chihuahua
Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas
Secretaría de Investigación y Posgrado



La tesis "Influencia del balance de fluidos en las determinaciones de Hb , PO_2 y expansión diafragmática y su importancia en el fracaso del proceso de extubación en pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General Dr. Salvador Zubirán Anchondo" que presenta Julio César Corral González, como requisito parcial para obtener el grado de Especialidad en Medicina en el Enfermo en Estado Crítico ha sido revisada y aprobada por la Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas.

DR. SAID ALEJANDRO DE LA CRUZ REY
Secretario de Investigación y Posgrado
Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas
Universidad Autónoma de Chihuahua

DRA. ROSA EMMA MARTÍNEZ SANDOVAL
Jefa de Enseñanza
Hospital General "Dr. Salvador Zubirán
Anchondo"

DR. ADRIÁN VELÁZQUEZ JÁUREGUI
Profesor Titular de la Especialidad de
Medicina en el Enfermo en Estado Crítico
Hospital General "Dr. Salvador Zubirán
Anchondo"

DRA. CATALINA RIVERA GALVÁN
Directora de Tesis
Hospital General "Dr. Salvador Zubirán
Anchondo"

Se certifica, bajo protesta de decir verdad, que las firmas consignadas al pie del presente documento son de carácter original y auténtico, correspondiendo de manera inequívoca a los responsables de las labores de dirección, seguimiento, asesoría y evaluación, en estricta conformidad con lo dispuesto en la normativa vigente de esta institución universitaria.

Resumen

La certeza del proceso de extubación es meta del protocolo de extubación y un área de atención especial en la validación clínica de los parámetros predictivos. NIF, P0.1 y extrusión diafragmática representan marcadores de difusión amplia y de sencilla obtención. Se reconoce al balance de fluidos como un determinante en el desenlace del paciente críticamente enfermo. En diciembre del 2024 finalizó este estudio prospectivo, observacional y monocéntrico, donde se realizó la obtención de NIF, P0.1 y extrusión diafragmática previamente a la extubación, además de realizarse el balance de fluidos total, información almacenada en un registro de datos. Se estudió la influencia del balance de fluidos en el éxito de extubación y el comportamiento de NIF, P0.1 y extrusión diafragmática con respecto a este. Se estudiaron NIF, P0.1 y extrusión diafragmática como predictores del éxito de extubación. Se procesó la información de 50 individuos. La edad promedio fue 47.60, 23.5% femeninos. No se encontró relación entre el balance de fluidos y el éxito de extubación. Tampoco se encontró relación entre el balance de fluidos y NIF, P0.1 y extrusión diafragmática. No se encontró relación entre NIF y P0.1 y el éxito de extubación. Se encontró una relación entre una extrusión diafragmática igual o mayor a 1.42cm y un aumento del 800% de las probabilidades de extubación exitosa. Este estudio muestra una relación positiva de la extrusión diafragmática y el éxito de extubación, por lo que puede utilizarse como marcador.

Palabras Clave: Ventilación, destete, predictor, mecánica

Abstract

Accuracy of the extubation process is the goal in the extubation protocol and a critical área in the clinical validation of the predictive parameters. NIF, P0.1 and diaphragmatic excursion represent broadly know and easy to get markers. Fluid balance is recognized as a determinant in the outcome of critically ill patients. This prospective, observational and clinical study was completed in December 2024 where NIF, P0.1 and diaphragmatic excursion prior to extubation, in addition to performing the total fluid balance, with the data being stored in a data record. The influence of fluid balance on extubation success and the behavior of NIF, P0.1, and diaphragmatic extrusion in relation to this were studied. NIF, P0.1, and diaphragmatic extrusion were studied as predictors of extubation success. NIF, P0.1 and diaphragmatic extrusion were studied as predictors of extubation success. Data from 50 individuals were processed. The average age was 47.60, and 23.5% were female. No relationship was found between fluid balance and extubation success. No relationship was found between fluid balance and NIF, P0.1, and diaphragmatic extrusion. No relationship was found between NIF and P0.1 and extubation success. A relationship was found between a diaphragmatic extrusion equal to or greater than 1.42 cm and an 800% increase in the likelihood of successful extubation. This study shows a positive relationship between diaphragmatic extrusion and extubation success, so it can be used as a marker.

Keywords: Ventilation, weaning, predictor, mechanical



Chihuahua, Chih. a 12 AGO 2025

Oficio No. CEI-AR-0043-2025

APROBACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

REUNIÓN ORDINARIA

EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA, CHIH., SIENDO LAS 11:30 HORAS DEL DÍA MARTES 12 DE AGOSTO DEL 2025 EN EL LUGAR QUE OCUPA LA SALA DE JUNTAS DE LA SUBDIRECCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN DE ESTE HOSPITAL GENERAL DR. SALVADOR ZUBIRÁN ANCHONDO, UBICADO EN AVE. CRISTOBAL COLÓN #510 COL. BARRIO EL BAJO, SE REUNIERON LOS INTEGRANTES DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON EL FIN DE DAR RESPUESTA A LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA TESIS CON NÚMERO DE REGISTRO 0380 Y FECHA DE APROBACIÓN 12 DE DICIEMBRE DEL 2024: **INFLUENCIA DEL BALANCE DE FLUIDOS EN LAS DETERMINACIONES DE NIF, P0.1 Y EXCURSIÓN DIAFRAGMÁTICA Y SU IMPORTANCIA EN EL FRACASO DEL PROCESO DE EXTUBACIÓN EN PACIENTES DE LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS DEL HOSPITAL GENERAL "DR. SALVADOR ZUBIRÁN ANCHONDO"** QUE PRESENTA EL C.

DR. JULIO CESAR CORRAL GONZALEZ

MÉDICO RESIDENTE DE LA ESPECIALIDAD DE MEDICINA DEL ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO

OBSERVACIONES

- QUEDA ACEPTADO PARA LOS TRÁMITES DE TITULACIÓN
- SE LE SUGIERE PUBLICAR LOS RESULTADOS DE SU INVESTIGACIÓN EN PLAZO MÁXIMO DE 6 MESES A PARTIR DE LA FECHA DE PRESENTACIÓN.

NO HABIENDO OTRO ASUNTO MAS QUE TRATAR SE DA POR TERMINADA LA PRESENTE, FIRMANDO AL CALCE EL PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN DEL HOSPITAL GENERAL "DR. SALVADOR ZUBIRÁN ANCHONDO".

DR. CARLOS ROBERTO CERVANTES SANCHEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN



CHIHUAHUA
GOBIERNO DEL ESTADO



HOSPITAL GENERAL

"Dr. Salvador Zubirán Anchondo"

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

Ave. Cristóbal Colón No. 510,
Col. Barrio El Bajo, Chihuahua, Chih.
Teléfono (614) 429-3300 Ext.17421

www.chihuahua.gob.mx/secretariadesalud



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Marco teórico..... | 1 |
| 2.1 Contexto histórico de la ventilación mecánica invasiva..... | 1 |
| 2.2 El proceso de extubación..... | 3 |
| 2.3 El protocolo de destete de la ventilación mecánica..... | 5 |
| 2.4 Fracaso del proceso de extubación | 6 |
| 2.5 Principales parámetros para la determinación de la función respiratoria y su utilidad como predictores de extubación exitosa | 7 |
| 2.5.1 Fuerza Negativa Inspiratoria (NIF) | 7 |
| 2.5.2 Presión de oclusión de las vías respiratorias (P0.1) | 8 |
| 2.5.3 Excursión diafragmática | 9 |
| 2.5.4 Balance total de líquidos..... | 10 |
| 2.6 Mecanismos asociados al fracaso del proceso de extubación | 11 |
| 2.6.1 Sobrecarga de volumen por balance positivo de fluidos..... | 11 |
| 2.6.2 Disfunción diafragmática | 13 |
| 2.6.3 Edema pulmonar asociado al destete de la ventilación mecánica | 14 |
| 3. Planteamiento del problema | 16 |
| 4. Pregunta de investigación..... | 17 |
| 5. Justificación..... | 17 |
| 6. Hipótesis | 18 |
| 7. Objetivos | 18 |
| 7.1 Objetivo principal | 18 |
| 7.2 Objetivos secundarios | 18 |
| 8. Materiales y métodos..... | 19 |
| 8.1 Diseño de estudio..... | 19 |
| 8.2 Población de estudio..... | 19 |
| 8.2.1. Tamaño de la muestra..... | 19 |
| 8.2.2 Criterios de selección | 19 |
| 8.3 Operacionalización de las variables de estudio..... | 20 |
| 8.4 Técnicas y Procedimientos..... | 21 |
| 8.4.1 Reclutamiento | 21 |



| | |
|--|----|
| 8.4.2 Método de recolección de datos | 22 |
| 8.4.3 Análisis estadístico..... | 22 |
| 8.4.4 Consideraciones éticas | 23 |
| 9. Cronograma de actividades | 24 |
| 10. Recursos..... | 24 |
| 10.1 Recursos humanos | 24 |
| 11. Resultados..... | 25 |
| 11.1 Distribución de los datos de estudio (Prueba de Shapiro-Wilk)..... | 25 |
| 11.2 Análisis de colinealidad | 30 |
| 11.3 Características basales de la muestra de estudio | 31 |
| 11.4 Análisis de las variables con respecto al éxito de la extubación y su relación al balance de líquidos | 34 |
| 11.4.1 P0.1..... | 34 |
| 11.4.2 NIF | 35 |
| 11.4.3 Extrusión Diafragmática | 37 |
| 11.4.4 Balance de Fluidos | 41 |
| 12. Discusión | 43 |
| 13. Conclusiones | 44 |
| 14. Recomendaciones | 45 |
| 15. Bibliografía | 46 |
| 16. Anexos | 50 |
| 16.1 Carta de consentimiento informado..... | 50 |
| 16.2 Carta de aceptación de protocolo de investigación | 51 |



1. Introducción

Este trabajo de investigación se elaboró con la finalidad de explorar la influencia del balance global de líquidos en las principales pruebas de extubación y en el éxito de extubación en pacientes del servicio de Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”.

La relevancia del estudio radica en el efecto deletéreo ampliamente descrito de un balance de líquidos positivo en los procesos fisiológicos, incluyendo la respiración, por lo que puede inferirse que dicho balance puede alterar de forma significativa las pruebas de extubación e incluso, comportarse como un indicador independiente del riesgo de fracaso de extubación en el paciente con ventilación mecánica invasiva.

Comprobar la influencia del balance de líquidos en las pruebas de extubación y el éxito de extubación brinda una oportunidad de mejoría de los protocolos de destete de la ventilación mecánica actuales, siendo un aspecto relativamente sencillo de manipular en la mayoría de los pacientes, lo que involucraría el brindar un mayor rango de seguridad que no está descrito de forma normada en protocolos actuales.

Este es un estudio prospectivo, observacional, descriptivo, transversal y monocéntrico en el que se utilizó la información de pruebas de extubación y ultrasonografía de diafragma de la población de estudio para analizar la influencia del balance global de líquidos en el proceso de extubación.

2. Marco teórico

2.1 Contexto histórico de la ventilación mecánica invasiva

La ventilación mecánica es una forma de respiración artificial que emplea una máquina cuyo propósito es el de sustituir o facilitar la respiración propia de un individuo y usualmente se utiliza en pacientes bajo anestesia profunda y en pacientes con alteraciones importantes de la ventilación de cualquier origen (1).



El uso de dispositivos de asistencia ventilatoria puede ser rastreado hasta la antigüedad, sin embargo, los ventiladores mecánicos, en la forma de ventilación de presión negativa, aparecieron cerca de los 1800 D.C. (2). A grandes rasgos, puede destacarse el trabajo de Galeno, un famoso médico griego que vivió en el segundo siglo D.C., quién introdujo el concepto de la anatomía en el entendimiento de la enfermedad, posteriormente, Andrés Vesalio publicó en 1543 su *De Humani Corporis*, del que se obtiene una de las primeras referencias a la ventilación con presión positiva (3). Miguel Servet descifró el rol de la circulación pulmonar al notar que la colocación de la sangre cambiaba al pasar por los pulmones, descubrimiento por el que fue condenado a morir quemado en 1553 en Génova (4). Todos estos avances fueron fundamentales para el médico inglés William Harvey, quien describiera las características del flujo sanguíneo al ser distribuido en todo el cuerpo por medio de la función cardiaca (5). Robert Hook realizó en 1667 el experimento que definió el entendimiento del papel de la respiración en el sistema cardiopulmonar con sus ensayos en perros y la administración de una columna de aire usando un fuelle (3). A través del siglo 19 y la primera mitad del 20, ocurre el desarrollo, aplicación y auge de los ventiladores a presión negativa, hasta el resurgimiento de la ventilación mecánica a presión positiva causado por la epidemia de polio en Copenhague en 1951(4). Durante esta epidemia, se tomó la solución de ventilar de forma manual a todos los pacientes víctimas de polio bulbar, por medio de una traqueostomía y conectando una bolsa-reservorio que proveía la presión positiva necesaria para la adecuada expansión pulmonar (5).

La primera generación de ventiladores diseñados para la ventilación mecánica invasiva de presión positiva estuvo disponible al finalizar la década de 1950, con la característica distintiva de que esos ventiladores primitivos solamente ofrecían el programa de ventilación controlado por volumen (2). La aplicación y el éxito de los ventiladores de presión positiva supuso la explosión en el perfeccionamiento de los sistemas existentes y el establecimiento de la ventilación por presión positiva como el estándar de ventilación mecánica (5). Los ventiladores mecánicos a presión positiva de segunda generación gozaron de la incorporación de monitores simples que se centraban en la representación gráfica del volumen tidal y la frecuencia



respiratoria, aparte de la incorporación de la característica más distintiva de este grupo: la inspiración disparada por el paciente (2). A partir de esta generación, existió un aumento significativo de pacientes que recibieron ventilación mecánica, a la par del aumento de las patologías que los llevaba a requerir este tipo de apoyo ventilatorio (5). La característica que puede más distinguir a los subsecuentes ventiladores de cuarta generación es el control por microprocesador, un evento mayor en el desarrollo de la ventilación mecánica, debido a que virtualmente cualquier aproximación en cuanto a entrega de gas y monitoreo era viable, lo que se reflejó en ventiladores más responsivos a la demanda del paciente, se hizo realidad la respiración disparada por flujo, la presencia de programas como Presión Soporte, control por volumen y presión, además de SIMV, adicionalmente, todos los ventiladores de esta generación incorporaron el uso extensivo de alarmas y monitores (2). A partir de este momento, la lista de modelos de ventiladores mecánicos se expendió notablemente, diferenciándose como el preámbulo del ventilador moderno de uso actual (5). Finalmente, la cuarta generación de ventiladores mecánicos, con numerosos modelos disponibles en la gran mayoría de las Unidades de Cuidados Intensivos del mundo, distinguida por la plétora de modos de ventilación disponibles, usualmente controlados por bucles (2). Actualmente adecuados a las necesidades respiratorias de los pacientes, los ventiladores hace no mucho tiempo atrás, fueron cajas herméticas de acero donde el paciente debía acostumbrarse, a una idea que puede ser inquietante hoy: al ritmo marcador por el ventilador (5).

2.2 El proceso de extubación

La ventilación mecánica es una medida de soporte y de conservación de la vida muy implementada en los servicios de Medicina Crítica (6), sin embargo, el proceso de extubación es el componente crítico final en los pacientes que reciben esta forma de atención (7). La extubación es el proceso de retiro del tubo endotraqueal cuando ya no es requerido, siendo un evento que puede asociarse con complicaciones como desaturación, estridor o broncoespasmo (8). Existe evidencia de que las estrategias de destete del ventilador que utilizan pruebas de respiración espontánea



resultan en menor duración de la intubación y disminución de los días de estancia intrahospitalaria en la Unidad de Cuidados Intensivos (6).

El proceso de extubación generalmente es un evento problemático dado a la posibilidad de fracaso, que consecuentemente, nos llevará a una necesidad adicional de reintubación, donde siempre existen posibles elementos que confieran mayor riesgo de morbilidad a un procedimiento ya problemático, como una vía aérea previamente difícil, cambios de la vía aérea provocados por manipulación, nuevas necesidades de posicionamiento o una ventilación mecánica prolongada (9). Para reducir la incidencia del fracaso de la extubación, deben detectarse numerosos factores que conducen a su aparición, como la inflamación o edema laríngeo, la extubación prematura o el rango de error inherente de las herramientas actuales, entendiendo que, el cribado de dichos factores de riesgo es una actitud básica de prevención de dicho fracaso (10). Debido a esto, se han realizado numerosos intentos para desarrollar y evaluar parámetros o herramientas para juzgar la seguridad de la extubación: volumen tidal, frecuencia respiratoria, volumen minuto, índice de respiración rápida superficial, etc., sin al momento, con la posibilidad de establecer un índice único que brinde certeza en la mayor parte de los pacientes candidatos al inicio de un proceso de extubación (11).

Las complicaciones de la extubación pueden ser mayores o menores, usualmente las menores siendo transitorias y frecuentemente no son complicadas, pudiendo presentarse hipertensión, taquicardia, tos o agitación, lo que en ciertas poblaciones específicas como pacientes con enfermedad cerebral o cardio-vascular severa, hipertensión intracraneal, hipertensión ocular, pacientes de cirugía de cuello, neurocirugía y algunos procedimientos de cirugía plástica, puede significar la posibilidad de desarrollar secuelas importantes (9). Numerosas herramientas están disponibles para la prevención y manejo de estas complicaciones en áreas históricamente relacionadas a la extubación, pero su traslado e integración directa a los algoritmos de tratamiento de la Unidad de Cuidados Intensivos sigue siendo problemático (10). Las complicaciones mayores usualmente se refieren a la falla de



la extubación, donde una definición universal sobre el tiempo de presentación o, incluso, una definición exacta, aún es motivo de controversia (9).

2.3 El protocolo de destete de la ventilación mecánica

Los pacientes con dificultad respiratoria que resulta en fracaso ventilatorio requerirán soporte que les permita tolerar el aumento de la demanda respiratoria propio de la patología aguda (12). Dado que la ventilación mecánica en el paciente crítico se asocia al incremento de la mortalidad y los gastos de operación, la predicción del éxito del destete es un punto de interés universal en todo tipo de pacientes (13). Los protocolos de destete de la ventilación mecánica se popularizaron desde la publicación de guías específicas en 2001 por la fuerza de trabajo en la discontinuación del ventilador (7). Por lo tanto, la decisión de separar al paciente de la ventilación mecánica invasiva se toma tan pronto como el paciente cumple con los criterios y toleran de forma adecuada una prueba de respiraciones espontáneas (14).

La investigación actual muestra que todos los pacientes con un tiempo de inicio de la ventilación mecánica mayor a las 24 horas se beneficiarán de la protocolización del destete de la ventilación mecánica, dado que los médicos tratantes usualmente subestiman la capacidad real del paciente de separarse de la ventilación mecánica invasiva y los planes para limitar la mioneuropatía propia del internamiento en Unidades de Terapia Intensiva resultan ineficaces prácticamente en la totalidad de las veces (12). Las pruebas de respiración espontánea han demostrado ser un medio exitoso para predecir el éxito del destete, cuya configuración varía entre modalidades de ventilación con Presión Positiva Continua de la Vía Aérea (CPAP), presión soporte, o respiraciones con “pieza en T”, con muchos estudios reportando hasta 77% de éxito en la liberación de la ventilación mecánica después de 30 a 120 minutos de implementación (6). Desafortunadamente, no existe suficiente evidencia con respecto a la implementación de una sistematización del proceso de destete y extubación (7), por lo que el retiro inadecuado o prematuro del soporte ventilatorio puede conducirnos a la consecuencia más común y relevante de este proceso: el fracaso del proceso de extubación (12).



2.4 Fracaso del proceso de extubación

Aproximadamente un 20% de los pacientes ventilados mecánicamente fracasan en su primer intento de destete de la ventilación a pesar de un protocolo adecuado y deberán ser re intubados (15). Actualmente, se define como una falla de la extubación a la necesidad de re intubación durante un proceso de vigilancia de la función respiratoria de 24 a 48 horas, cuya presencia se asocia con el incremento de los días de ventilación mecánica invasiva, incremento importante de costos de estancia hospitalaria y el aumento del 25 al 50% de mortalidad (14). La falla respiratoria post extubación (PERF) es un evento común asociado a causas como la obstrucción de la vía aérea superior o la imposibilidad de aclarar las secreciones adicional a causas relacionadas al fracaso del destete del ventilador (7), o incluso relacionarse a procesos patológicos paralelos como la sepsis, desequilibrios electrolíticos, patologías cardíacas o pulmonares no resueltas y debilidad neuromuscular (16). Desafortunadamente, la fisiopatología de la falla ventilatoria post extubación aún no es comprendida en su totalidad, por lo que no existe una herramienta única y simple para predecir su aparición, lo que abre la necesidad de encontrar elementos asociados a este evento que mantengan una relación robusta que permita predecir este fenómeno (14).

Por todo lo descrito, la decisión de discontinuar la ventilación mecánica es complicada, dado que, el retiro prematuro o tardío del apoyo respiratorio se relaciona a resultados clínicos adversos (17). Un entendimiento de los factores de riesgo relacionados al fracaso de la extubación será siempre una herramienta valiosa para determinar el punto óptimo del retiro de la ventilación mecánica, entendiendo que, debido a las interrelaciones complejas de los pacientes y las características de su tratamiento, hace imposible que un solo parámetro provea suficiente certeza en la toma de decisiones (18). Numerosas herramientas de destete se han evaluado en un intento de predecir el fracaso de la extubación, pero hasta la fecha, esas herramientas continúan siendo predictores de pobre potencia en la Unidad de Cuidados intensivos (17).



2.5 Principales parámetros para la determinación de la función respiratoria y su utilidad como predictores de extubación exitosa

2.5.1 Fuerza Negativa Inspiratoria (NIF)

La fuerza negativa inspiratoria máxima (NIF) indica el máximo esfuerzo de los músculos respiratorios durante la inspiración en contra de una vía aérea obstruida, por lo que desde su origen, se ha utilizado como un análogo de la fuerza muscular (15). La determinación de esta fuerza data desde 1993, utilizada dentro de los criterios de destete de la ventilación mecánica dentro de un sistema de desarrollado por Strickland y Hasson (19).

Para su medición en ventiladores convencionales, el circuito respiratorio se cierra después de una espiración extendida manual del paciente, posteriormente, el ventilador mide el máximo esfuerzo inspiratorio de este, reportando un valor de presión relativo a PEEP, con valores menos negativos a $-20\text{cmH}_2\text{O}$ relacionados a fracaso de la extubación y valores más negativos a $-30\text{cmH}_2\text{O}$ con mejor éxito(20).

El NIF es utilizado ampliamente como una herramienta rápida y no invasiva para la evaluación de la fuerza del diafragma (13), tradicionalmente utilizado como parámetro individual para determinar las pruebas de extubación, cuyos valores han sido estudiados para determinar referencias que garanticen resultados adecuados (21). Debido a que el NIF depende en la habilidad del individuo para generar respiraciones espontáneas, es un parámetro fácilmente influenciado por factores subjetivos como la percepción del paciente y su cooperación (13).

A pesar del que el NIF parece ser el parámetro más adecuado para cuantificar el grado de disfunción pulmonar en pacientes con soporte ventilatorio, su aplicación real dentro del ambiente de los cuidados críticos permanece inconsistente y limitada, por lo que tampoco cumple los requisitos para utilizarse como un parámetro único adecuadamente exacto para la tarea de extubación (19).



2.5.2 Presión de oclusión de las vías respiratorias (P0.1)

El impulso respiratorio representa la intensidad del estímulo neural para respirar, por lo que, en el paciente mecánicamente ventilado, puede ser anormalmente bajo o anormalmente alto, y, por lo tanto, significar lesión de la musculatura respiratoria o de los pulmones, por lo que la incidencia de un impulso bajo o muy alto puede asociarse a disfunción diafragmática al momento de ocurrir la separación de la ventilación mecánica (22). Durante la ventilación asistida, un alto impulso respiratorio está asociado a esfuerzos respiratorios intensos y a una presión pleural muy negativa, lo que se traduce en mayor estrés ejercido al parénquima pulmonar (23). A pesar de las aparentes correlaciones y utilidad del P0.1, existe gran incertidumbre de este parámetro y su practicidad clínica real con respecto al esfuerzo diafragmático, la determinación de estrés patológico en el pulmón o como indicador de poder mecánico (24).

El P0.1 es la presión negativa generada por el paciente durante los primeros 100 milisegundos en contra de una vía respiratoria ocluida (25). La medición del P0.1 no es percibida por el paciente y no se modifica por el patrón respiratorio (23). Esta medida puede ser obtenida de forma no invasiva en prácticamente todos los ventiladores mecánicos modernos por medio de una maniobra simple, utilizándose como un parámetro de estimación del impulso neuromuscular para la respiración, por lo que puede utilizarse de forma subrogada como potencial indicador del esfuerzo respiratorio del paciente (25). El fundamento de este fenómeno se debe a que durante los primeros 100 milisegundos de la respiración, los músculos no se utilizan de forma total, por lo que puede asumirse como un impulso neto del centro respiratorio (26). Muchas investigaciones reportan valores de P0.1 en el destete de la ventilación mecánica y subsecuente extubación, pero sus valores específicos continúan siendo motivo de controversia (25). En sujetos sanos no ventilados, se observan valores 2cmH₂O, mientras que, en pacientes bajo ventilación mecánica invasiva, una determinación mayor de 3.2 a 6cmH₂O se asocia con fracaso del proceso de destete y la extubación (23).



2.5.3 Excursión diafragmática

El diafragma es una estructura muscular fibro-muscular en forma de domo, siendo el principal músculo inspiratorio (27). La obtención de imágenes por ultrasonido para el diagnóstico de alteraciones fisiológicas y guía del tratamiento ha incrementado su popularidad de forma importante en los pacientes críticos (28). El empleo de múltiples protocolos específicos (FALLS, PINK, BLUE) ha mostrado una elevada correlación diagnóstica en diversas entidades clínicas, por lo que se ha posicionado como la técnica de elección para la evaluación no invasiva que se realiza al pie de la cama (29). El uso del ultrasonido para la función de la bomba muscular respiratoria es relativamente nuevo e infrecuente, posiblemente a causa de la complejidad de dicha bomba, la dificultad para obtener adecuadas ventanas ultrasónicas y la presunción de que la evaluación ultrasonográfica de los músculos respiratorios no alterará el manejo del paciente en la Unidad de Cuidados Intensivos (28).

La disfunción diafragmática continúa siendo la principal causa de destete dificultoso o fracaso, un evento ampliamente relacionado a los pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos, donde la prevalencia de eventos causados por la estancia en la unidad como la polineuropatía y miopatía alcanzan rangos de prevalencia del 33% hasta el 95% (30). Desde resultados clínicos y experimentales, puede describirse que se identifican cuatro mecanismos principales de lesión diafragmática: atrofia por desuso debido a exceso de asistencia, sobrecarga por déficit de asistencia, miotrauma excéntrico por contracción diafragmática durante la espiración o asincronías y atrofia longitudinal debido a un alto nivel de presión positiva al final de la espiración (PEEP) (31). Por lo tanto, puede determinarse que, la ventilación mecánica, incluso en un periodo corto de tiempo, induce disfunción diafragmática por disminución de la masa y fuerza muscular, que puede empeorar con la atrofia por desuso de las fibras de contracción rápida y lenta que usualmente se presenta posterior a la administración de agentes neuromusculares (30).

Dentro de las técnicas de evaluación de la función diafragmática, la excursión diafragmática determina la calidad del movimiento diafragmático durante la



respiración superficial o profunda (16). La exploración se realiza con una sonda lineal de 10-15 Mega Hertz posicionada perpendicularmente a la pared abdominal en el área subcondral derecha, con el paciente en posición supina, donde se visualiza el diafragma como una línea hipoeecogénica entre dos líneas hipereecogénicas que se adosa a la silueta hepática (28). La excursión puede medirse durante la respiración tidal y durante el esfuerzo respiratorio máximo en pacientes cooperadores, con un rango de referencia de 16mm con variabilidad de 2mm visualizado por el modo M del ultrasonido en pacientes sin ventilación mecánica (27).

A pesar de las numerosas ventajas teóricas de la ultrasonografía, los parámetros del destete de la ventilación de este método no se usan de forma protocolizada, probablemente debido a la falta de certeza y variabilidad de sus valores de referencia, por lo que siempre es recomendable su asociación a variables que permitan fortalecer la potencia predictiva de esta técnica (16).

2.5.4 Balance total de líquidos

El balance de fluidos, mismo que impacta de manera muy significativa en el desenlace de grupos de pacientes críticamente enfermos, se asocia a resultados de extubación, estableciéndose una conexión directa entre un balance total de líquidos negativo con el aumento del índice de éxito de este proceso (32). Dentro de las causas conocidas de fracaso de la extubación, el edema pulmonar inducido por destete es uno de los más comunes, muchas de las veces secundario a la transición de la presión intratorácica positiva a negativa que ocurre durante el retiro de la ventilación mecánica, que conduce a la aparición de disfunción miocárdica debido al incremento de la precarga y de la poscarga de ambos ventrículos, especialmente en pacientes con sobrecarga de volumen (33). La sobre reanimación continúa siendo el evento más común asociado a la sobrecarga de volumen, probablemente potenciado por pautas estandarizadas de infusión de líquidos agresivas no contextualizadas, con una relación directa al aumento del riesgo de complicaciones durante el destete (34). Por todas estas razones, aunque es un aspecto poco explorado del proceso de extubación, al balance global de líquidos representa un



parámetro fundamental en el comportamiento clínico del paciente durante el destete de la ventilación mecánica y la consecuente extubación (35). Por lo tanto, se han sugerido estrategias de “des escalado” o “des reanimación” que consisten en la remoción temprana de fluidos para obtener un balance negativo tan pronto el estado hemodinámico del paciente se estabilice, sin embargo, dichas estrategias se enfrentan a numerosas dificultades en término de métodos de monitorización y objetivos terapéuticos, incluso, a resultados definitivos con respecto a los rangos terapéuticos de dichas medidas (36).

La evidencia actual demuestra el beneficio clínicamente relevante del balance total de líquidos negativo sobre la morbilidad general de los pacientes y también la influencia en el éxito del proceso de extubación, sin embargo, no existe actualmente un consenso respecto a un riesgo relativo de acuerdo a la intensidad de la sobrecarga de volumen y la falla de la extubación y tampoco una relación lineal entre la negatividad del balance total de líquidos y el éxito del proceso (32).

2.6 Mecanismos asociados al fracaso del proceso de extubación

2.6.1 Sobrecarga de volumen por balance positivo de fluidos

La terapia con fluidos o resucitación tiene el objetivo de corregir la deficiencia absoluta o relativa de volumen sanguíneo por medio de su rápida administración, que permita asegurar un gasto cardiaco normal y correcta perfusión de los tejidos, con el objetivo de asegurar el adecuado funcionamiento orgánico, por lo que un tratamiento con fluidos oportuno es una parte de básica del protocolo de tratamiento de una vasta cantidad de patologías (37). El balance de fluidos es uno de los parámetros más relevantes para monitorizarse en el área de Urgencias, el Quirófano o la Unidad de Cuidados Intensivos (38). Este balance, cuando se monitorea y de controla de forma adecuada, puede prevenir una gran parte de la morbilidad y mortalidad de los pacientes (39). Al contrario, una terapia de fluidos excesiva se traducirá al aumento de las posibles complicaciones durante el tratamiento, lo que sucede frecuentemente cuando esta administración de fluidos se realiza sin monitoreo adecuado, especialmente el paciente con inestabilidad hemodinámica o



condiciones asociadas o que incluyan la fuga capilar, eventos extremadamente frecuentes en el paciente crítico (38).

La definición de una estrategia reemplazo de volumen intravascular “ideal” y de un correcto “balance de fluidos” continúa siendo un problema común (40). Un juicio clínico adecuado siempre es necesario para determinar las necesidades reales de la prescripción de fluidos intravenosos por medio de la historia clínica, exploración física e investigaciones adicionales (39). Dentro de las estrategias para mantener una adecuada monitorización del balance de fluidos, se encuentra el uso de las cuatro fases de la administración de fluidos: reanimación, optimización, estabilización y des escalado, donde el des escalado cumple una función fundamental al incluir la eliminación del exceso innecesario de volumen en el cuerpo con diuréticos (38). La siguiente estrategia es la de mantener registros adecuados y precisos del balance de fluidos que nos permiten trazar posibles necesidades reales de sustitución de líquidos y evitar complicaciones que se deriven de la imposibilidad de rastrear este balance (39).

La sobrecarga de volumen se define como la condición de un paciente que recibe terapia de fluidos en la que se presenta edema, exceso de ganancia de peso y un balance positivo de fluidos, que en casos severos puede manifestarse como edema pulmonar, edema periférico o derrame en mesotelios (38). La fisiopatología de la sobrecarga de volumen es compleja e incluye la interacción de la ganancia absoluta de fluidos, redistribución del fluido desde los lechos vasculares venosos a la circulación central, disfunción renal con inadecuación de eliminación de agua, balances inadecuados de sodio y agua libre, además de disfunción endotelial (41). Adicionalmente, la sobrecarga de volumen puede manifestarse como alteraciones importantes del sistema respiratorio como: edema pulmonar, baja compliancia del parénquima pulmonar, incremento del trabajo respiratorio, alteración del intercambio de gases, alteración de la difusión de oxígeno y alteración de la bomba respiratoria (38, 41).



2.6.2 Disfunción diafragmática

El diafragma es el mayor músculo inspiratorio, y su función es crítica para una respiración óptima, por lo que su disfunción se ha reconocido como el mayor contribuidor de la muerte en numerosos desórdenes neuromusculares sistémicos (42). El diafragma está compuesto de musculatura estriada con numerosas características que lo hacen más sensible que otros músculos esqueléticos al estrés oxidativo, contiene predominantemente fibras de tipo I resistentes a la fatiga con gran flujo sanguíneo y alta densidad de volumen mitocondrial, con múltiples motoneuronas frénicas en combinación con numerosas fibras IIb y IIx glucolíticas rápidas que, a pesar de ser altamente fatigables, permiten al diafragma generar la fuerza que se necesita para mantener la respiración durante el ejercicio o la capacidad vital por periodos cortos de tiempo (43). El diafragma es vulnerable a la lesión durante la ventilación mecánica, y la disfunción diafragmática representa un marcador de severidad de la enfermedad y un predictor de resultados adversos en los pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos (44).

La ventilación mecánica controlada, incluso por algunas horas, está fuertemente asociada a la reducción de la fuerza contráctil diafragmática en vivo e in vitro (45). En los pacientes críticamente enfermos, se cree que la debilidad diafragmática se desarrolla por desuso secundario a inactividad por acción del ventilador mecánico, además de eventos que incluyen inflamación sistémica, por lo que esta forma de disfunción diafragmática perjudica la habilidad de la bomba respiratoria para compensar un trabajo respiratorio aumentados, frecuentemente causado por una lesión pulmonar o sobrecarga de fluidos, lo que conducirá a una falla respiratoria mantenida y eventualmente, la muerte (42). Histopatológicamente, la ventilación mecánica prolongada es la causa de reducciones significativas en la generación de fuerza miofibrilar pasiva y activa por medio de la disminución de los niveles de proteínas miofibrilares, adicionando a esto, la atrofia de miofibrillas, lo que resulta en la reducción de la síntesis de proteínas e incremento de la proteólisis por las proteasomas de ubiquitina, caspasas y capainas (45). La creciente evidencia muestra que se detecta disfunción diafragmática en al menos 53% de los pacientes



mecánicamente ventilados dentro de las primeras 24 horas, así mismo, hasta un 26% adicional la desarrollará durante algún momento de su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos (46). En dicha evidencia, que utilizó métodos de medición involuntarios usando electroestimulación diafragmática, se objetiva que los pacientes mecánicamente ventilados únicamente generan 20% de la presión de contracción transdiafragmática normal, con gran parte de los individuos de estudios mostrando valores mucho más bajos a ese nivel, que se asocia al 60% a 80% de los pacientes mecánicamente ventilados en la Unidad de Cuidados Intensivos que presentarán manifestaciones clínicas de disfunción diafragmática (42).

La adecuada evaluación de la función contráctil diafragmática en el escenario del paciente críticamente enfermo ventilado mecánicamente continúa siendo un reto debido a muchos factores intrínsecos de dicha evaluación, por ejemplo, la necesidad de cooperación del paciente en numerosas maniobras de contracción diafragmática, la interferencia de la presión positiva propia de la ventilación mecánica e incluso, la heterogenicidad inter observador (46). Recientemente, la ultrasonografía ha surgido el método de preferencia para la evaluación de los pacientes en la Unidad de Cuidados Intensivos debido a su naturaleza no invasiva, su disponibilidad y su reproductibilidad (42). De las técnicas ultrasonográficas de evaluación, la excursión diafragmática puede ser medida fácilmente con una sonda de 3-5 Megahertz en modo B o M, con un valor de referencia 1.34cm con 0.18cm de variación, con un valor mayor a 2.5cm para descartar disfunción diafragmática severa el pacientes sanos, durante respiración superficial espontánea, sin embargo, esta determinación es influenciada por el soporte ventilatorio y la PEEP, por lo que una excursión diafragmática menor a 10mm ha representado ser el rango más asociado a fracaso del proceso de extubación.

2.6.3 Edema pulmonar asociado al destete de la ventilación mecánica

La interrupción de la ventilación a presión positiva incrementa el retorno venoso, aumento de la poscarga del ventrículo derecho y aumento del esfuerzo respiratorio, lo que incrementará el consumo muscular de oxígeno y de la carga de trabajo cardíaco, que puede inducir isquemia miocárdica y disminución de la distensibilidad



del ventrículo izquierdo, lo que en conjunto contribuirá al incremento abrupto en las presiones de llenado del ventrículo izquierdo y, consecuentemente, causará edema pulmonar asociado al destete de la ventilación mecánica (47). De esta forma, esta entidad se considera como la principal causa de fracaso del destete de la ventilación mecánica, sobre todo, pacientes con cardiopatías incipientes, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, obesidad y pacientes con aumento descontrolado del balance de fluidos, especialmente en presencia de falla de ventrículo derecho (35). Los criterios WIND definen el comienzo del destete como el primer intento de separación de la ventilación mecánica utilizando cualquier protocolo de Prueba de Respiración Espontánea (SBT por sus siglas en inglés), con o sin extubación, o por extubación planeada o no planeada sin la realización previa de pruebas de respiración, de donde se derivan cuatro grupos mutuamente excluyentes con diferentes riesgos de mortalidad: no destete, destete corto, destete complicado y destete prolongado (47).

El conocimiento de los cambios en la fisiopatología cardiopulmonar que ocurren durante la ventilación mecánica y su retiro es un pre requisito para la identificación temprana del fracaso del destete o extubación y el manejo óptimo del paciente (48). El aumento excesivo en las presiones de llenado del ventrículo izquierdo durante el periodo de destete que desarrollan edema pulmonar asociado al destete de la ventilación mecánica es multifactorial, y aunque el factor principal puede variar, el balance positivo de líquidos con hipervolemia es el más común (47). Existe también un incremento importante de la presión de oclusión de la arteria pulmonar (PAOP) medida durante los primeros minutos posteriores a la desconexión del paciente del ventilador mecánico (49), con determinaciones tan altas como 50mmHg, traducándose siempre en la aparición de distrés respiratorio (50). Por último, se documenta el incremento en el tono adrenérgico por elevación de los niveles de catecolaminas séricas (48). Todos los fenómenos mencionados resultarán en la imposibilidad del sistema cardiovascular de tolerar un incremento súbito y sostenido del trabajo respiratorio, lo que resultará en edema pulmonar asociado a destete de la ventilación mecánica (49).



3. Planteamiento del problema

A pesar de la popularidad exponencialmente creciente de los protocolos de destete de la ventilación mecánica, específicamente, el fracaso del proceso de extubación continúa siendo un punto crítico dentro del retiro de la ventilación mecánica invasiva que representa el mayor problema en cuanto a incidencia de complicaciones o mortalidad. Aunque de forma variable, la evidencia actual calcula la incidencia del fracaso del proceso de extubación dentro del 10% al 20% en los pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos a pesar de tener criterios de éxito en las pruebas de respiración espontánea (18). La falla de la extubación conlleva el aumento desmedido de la morbilidad provocada por prolongación de la ventilación mecánica con igual aumento de la mortalidad (49).

En estudios que realizados en población mexicana, se observan tiempos de intubación más prolongados que la literatura internacional (7.5 días contra 4.5 días), mientras que el fracaso del proceso de extubación significó el aumento en promedio a 9 días, identificándose en este grupo de pacientes, factores predisponentes como la sedación prolongada, sedación con midazolam, la obesidad, el deterioro neurológico y la acidosis metabólica (51). En otro trabajo de investigación, en donde se obtuvo un 60.7% del fracaso del proceso de extubación, se identifican como factores de riesgo importante: la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, la enfermedad renal crónica, un periodo de destete prolongado, un tiempo de intubación mayor a 7 días, además de pertenecer al sexo masculino, lo que provocó un acumulativo de fracaso de la extubación en esta subpoblación de hasta el 80% (52).

A pesar de que existe evidencia acumulada del impacto del balance de líquidos en procesos fisiopatológicos que caracterizan al paciente en estado crítico mecánicamente ventilado, no se ha establecido de forma estandarizada como un factor clínicamente significativo en los protocolos de destete de la ventilación, ni tampoco se han establecido pautas para evaluar la influencia de esta determinación



sobre los parámetros más utilizados en la categorización del paciente listo para extubarse (32, 36, 37, 53).

4. Pregunta de investigación

¿Cuál es la influencia del balance total de líquidos en la determinación de NIF, P0.1 y excursión diafragmática antes de la extubación y su valor clínico como predictor independiente del fracaso del proceso de extubación en pacientes mecánicamente ventilados de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”?

5. Justificación

La Unidad de Cuidados Intensivos representa actualmente el mayor costo para las estructuras de salud a nivel mundial, estimándose que en los Estados Unidos estas unidades ocupan desde el 5% al 10% del total de camas, utilizando el 20% a 34% de los recursos hospitalarios, lo que puede llegar a representar el 1% del producto interno bruto. En España representa también del 5% al 10% del total de las camas hospitalarias y consumen alrededor del 30% de los recursos disponibles al igual que Chile, donde representan alrededor del 13% del movimiento presupuestario (54). En México, según información proporcionada por el Diario Oficial de la Nación en el acuerdo ACDO.AS3.HCT.281123/311.P.DF referente a Costos Unitarios por Nivel de atención Médica vigentes para el año 2024 estipula que el costo diario de estancia hospitalaria en cualquier Unidad de Cuidados Intensivos se sitúa en los 74,584 pesos, mientras que el mantenimiento por día del paciente en ventilación mecánica invasiva se calcula en los 47,056 pesos, siendo, notablemente, la primera y tercer acción médica del catálogo de atención médica de cualquier nivel de atención, superando incluso a procedimientos que requieren personal y equipamiento especializado como los procedimientos de hemodinamia (66,258 pesos) y cualquier intervención quirúrgica (49,801 pesos) (55).

Actualmente el Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo” cuenta con una Unidad de Cuidados Intensivos conformada por 6 cubículos regulares y 2 aislados,



de los cuales 6 operan con ventiladores mecánicos Coviden Puritan Bennet de la serie 980, que cuenta con maniobra de pausa inspiratoria definida por operador y que mediante algoritmos propietarios permite obtener determinaciones de fuerza inspiratoria negativa máxima (NIF) y presión de oclusión en los primeros 100ms (P0.1) (56), cuyo uso es parte del protocolo de atención del paciente críticamente enfermo ventilado mecánicamente y no representa costos adicionales sobre la atención hospitalaria usual. Adicionalmente, se obtienen determinaciones ultrasonográficas con el equipo Logic e de General Electric, con disponibilidad de sondas sectorial, convexa y lineal para la obtención de imágenes en Modo M de la musculatura respiratoria, sin generación de costos adicionales (57).

6. Hipótesis

El balance de fluidos influirá de forma directa en la determinación de las pruebas para la extubación y en la proporción final del éxito del proceso de extubación en los pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”.

7. Objetivos

7.1 Objetivo principal

Explorar la magnitud del cambio en los valores netos de la presión negativa inspiratoria máxima (NIF), la presión de oclusión en los primeros 100ms (P0.1) y excursión diafragmática previa a la realización de extubación en relación al balance de total de fluidos, así como definir su relevancia clínica en casos de fracaso del proceso de extubación.

7.2 Objetivos secundarios

- Conocer el valor predictivo de NIF, P0.1 y excursión diafragmática en el éxito del proceso de extubación.



- Modelar una herramienta clínica basada en los parámetros analizados para predecir el éxito del proceso de extubación.

8. Materiales y métodos

8.1 Diseño de estudio

Este es un estudio prospectivo, observacional, y monocéntrico.

8.2 Población de estudio

Todos los pacientes que se encuentran mecánicamente ventilados y que han aprobado un test de respiración espontánea (SBT) como parte del protocolo de destete de la ventilación mecánica en el servicio de Unidad de Cuidados Intensivos en el Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo” desde el primero de marzo hasta el primero de diciembre del 2024.

8.2.1. Tamaño de la muestra

Poder de la prueba: 80%

Nivel de confianza: 95%

Tamaño de muestra: 49 individuos

Fórmula:
$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$

8.2.2 Criterios de selección

Criterios de inclusión:

- Pacientes mayores de 18 años
- Pacientes con un tiempo de intubación igual o mayor a las 24 horas
- Pacientes que han superado exitosamente las pruebas de respiraciones espontáneas (SBT) dentro del protocolo de destete de la ventilación mecánica



Criterios de exclusión:

- Pacientes menores de 18 años
- Pacientes con fracaso previo del proceso de extubación
- Pacientes con extubación espontánea
- Pacientes sin determinación o determinación parcial de balance total de fluidos

Criterios de eliminación

- Pacientes cuyo responsable legal decida no continuar en el protocolo de investigación
- Pacientes que sufran de un evento patológico emergente no relacionado al proceso de extubación durante el periodo de vigilancia

8.3 Operacionalización de las variables de estudio

| Variable | Definición | Tipo | Escala | Indicador | Tipo |
|--------------------------------|--|--------------|----------|----------------------------------|-------------|
| Éxito de extubación | No reintubación posterior a 48 horas de observación | Cualitativa | Nominal | Diagnóstico clínico | Dependiente |
| NIF | Presión inspiratoria máxima voluntaria del paciente | Cuantitativa | Absoluta | Maniobra de ventilador mecánico | Dependiente |
| P0.1 | Presión de oclusión de las vías aéreas en los primeros 100ms | Cuantitativa | Absoluta | Maniobra del ventilador mecánico | Dependiente |
| Excursión diafragmática | Movilidad diafragmática | Cuantitativa | Absoluta | Visualización y medición por | Dependiente |



| | | | | | |
|---------------------------|--|--------------|----------|---------------------------|---------------|
| | en inspiración voluntaria | | | ultrasonografía en modo M | |
| Balance de fluidos | Diferencia absoluta entre los fluidos administrados y evacuados por cualquier medio en el paciente | Cuantitativa | Absoluta | Medición manual | Independiente |
| Edad | Tiempo contabilizado en años, desde el nacimiento hasta el ingreso hospitalario del paciente | Cuantitativa | Nominal | Historia Clínica | Covariable |
| Sexo | Características fenotípicas que distinguen al varón de la hembra | Cualitativa | Nominal | Historia Clínica | Covariable |

8.4 Técnicas y Procedimientos

8.4.1 Reclutamiento

De acuerdo a las pautas de este estudio prospectivo y transversal, se incluirá a todos los pacientes que como parte de un protocolo de destete de la ventilación mecánica han cumplido de forma exitosa con una prueba de respiración espontánea y se categorizan como listos para su extubación durante su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo” en el



periodo comprendido entre marzo y diciembre del 2024. Posterior a la firma del consentimiento informado, se procederá la realización de la determinación de NIF y P0.1 mediante las maniobras del ventilador mecánico, al mismo tiempo que se obtendrá la determinación de excursión diafragmática por medio de ultrasonografía en modo M para finalizar con la captura del balance de fluidos correspondiente hasta ese día, lo que permanecerá registrado en la base de datos del estudio.

8.4.2 Método de recolección de datos

Se utilizará la recolección directa hacia una hoja de cálculo electrónica inmediatamente después de la obtención de los valores de las variables estudiadas en un momento previo inmediato a la realización de la extubación, NIF, P0.1, excursión diafragmática, balance de fluidos, edad y sexo, cada serie identificada por un número de caso. La variable “éxito de extubación” se definirá 48 horas posteriores a la realización de la extubación, se categorizará según los resultados y se recolectará de la misma forma que el resto de las variables. Posterior a la finalización de la recolección de casos, se vaciará la base de datos de forma directa al programa de análisis estadístico seleccionado para su procesamiento de acuerdo al diseño de este protocolo de investigación.

8.4.3 Análisis estadístico

Se utilizará estadística descriptiva para la descripción general de las características basales de la población de estudio, empleando la presentación de datos de forma absoluta y la naturaleza de su distribución según su desviación estándar o media, según su naturaleza.

El principal resultado a explorar es el fracaso de la extubación. Se utilizará la prueba de regresión logística para comparar las variables continuas entre pacientes con éxito o fracaso del proceso de extubación, además de utilizarse la prueba exacta de Fisher para explorar las correlaciones de las variables categóricas de acuerdo a la naturaleza reducida de la población de estudio. Se definirán odds ratio (OR) para expresar la fuerza de independencia en la predicción de fracaso del proceso de



extubación en los modelos de regresión logística multivariada, en el que se utilizarán variables estadísticamente significativas en la comparación del éxito o fracaso del proceso. Se considerará un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

8.4.4 Consideraciones éticas

Este protocolo de investigación es un estudio observacional de corte transversal que contempla a los pacientes adultos, mecánicamente ventilados y categorizados como listos para la extubación de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”. La participación en el estudio es completamente a discreción de responsable legal del paciente, siendo adecuadamente informado sobre las implicaciones del uso de la información recolectada, siendo posible la retracción de la autorización del consentimiento informado en cualquier momento de la investigación. Dada la naturaleza y los criterios de selección del estudio, nunca se incide de alguna forma en el proceso de diagnóstico, abordaje y tratamiento, sin representar costo adicional para la población de estudio o sus responsables legales.

La información obtenida en la base de datos será siempre de carácter confidencial, confinada al formato y espacio asignado para ello, únicamente disponible para el autor, el asesor y director de este protocolo de investigación, con la indicación de ser inmediatamente removido en el caso de retracción del consentimiento informado por el responsable legal del paciente. De forma complementaria, no se recolectarán datos referentes a la identidad del paciente o de la firma autógrafa del responsable legal en el consentimiento informado, asignándose únicamente un número de caso por orden de captura para motivos de identificación e indexado, pautas que se continuarán durante el momento de vaciado de la base de datos al programa de análisis estadístico.

El protocolo de investigación se someterá a escrutinio del Comité de Ética e Investigación del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”, donde será evaluado y, de cumplirse los requisitos necesarios, se emitirá la aprobación para su realización, con la responsabilidad de incorporar los ajustes necesarios indicados por el comité.



Este protocolo de investigación fue realizado de acuerdo a la declaración de Helsinki, originalmente adoptada en 1964 y actualmente en revisión desde el 2022, además de redactarse de acuerdo a los lineamientos para los consentimientos informados de la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SSA3, del expediente clínico.

9. Cronograma de actividades

| Actividades | Año 2024 | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Inicio de anteproyecto | x | | | | | | | | | |
| 1° Revisión | x | | | | | | | | | |
| Corrección final | | | | | | | | | x | |
| Entrega al comité de Investigación | | | | | | | | | x | |
| Inicio real del estudio | | | | | | | | | x | |
| Recolección de datos | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| Captura de datos | | | | | | | | x | x | |
| Análisis de datos | | | | | | | | | x | |
| Resultados preliminares | | | | | | | | | x | |
| Conclusiones y recomendaciones | | | | | | | | | x | x |
| Informe final | | | | | | | | | | x |
| Presentación en eventos académicos | | | | | | | | | | x |

10. Recursos

10.1 Recursos humanos

- Autor: Julio César Corral González
- Asesor de tesis: Dra. Catalina Rivera Galván



10.2 Recursos materiales

| Material | Costo aproximado (en pesos) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Ventilador Puritan Bennet 980 | 250,000 |
| Ultrasonido GE Logiq e | 125,000 |
| Equipo de cómputo personal | 14,000 |
| Programa estadístico SPSS | 648 |
| Programa Excel | 400 |

11. Resultados

11.1 Distribución de los datos de estudio (Prueba de Shapiro-Wilk)

Se analizaron las variables de estudio correspondientes a P0.1, NIF, extrusión diafragmática, balance de fluidos y edad con la prueba de Shapiro-Wilk para conocer la distribución de sus valores y la selección adecuada de la prueba estadística. Se puede concluir que se asume la hipótesis nula, siguiendo una distribución normal en las variables P0.1, extrusión diafragmática y edad, mientras que se rechaza la hipótesis nula en las variables NIF y balance de fluidos, que siguen una distribución no normal. De acuerdo a estos resultados, se opta por la regresión logística. Los resultados se visualizan en la tabla 1 y los gráficos 1 a 5.

Tabla 1. Pruebas de normalidad.

| | Kolmogorov-Smirnov | | | Shapiro-Wilk | | |
|-----------|--------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| P0.1 | .195 | 50 | .000 | .854 | 50 | .000 |
| NIF | .082 | 50 | .200* | .978 | 50 | .465 |
| Extrusión | .199 | 50 | .000 | .842 | 50 | .000 |
| Balance | .099 | 50 | .200* | .978 | 50 | .476 |
| Edad | .122 | 50 | .062 | .939 | 50 | .012 |



Gráfico 1. Q-Q normal y distribución de P0.1.

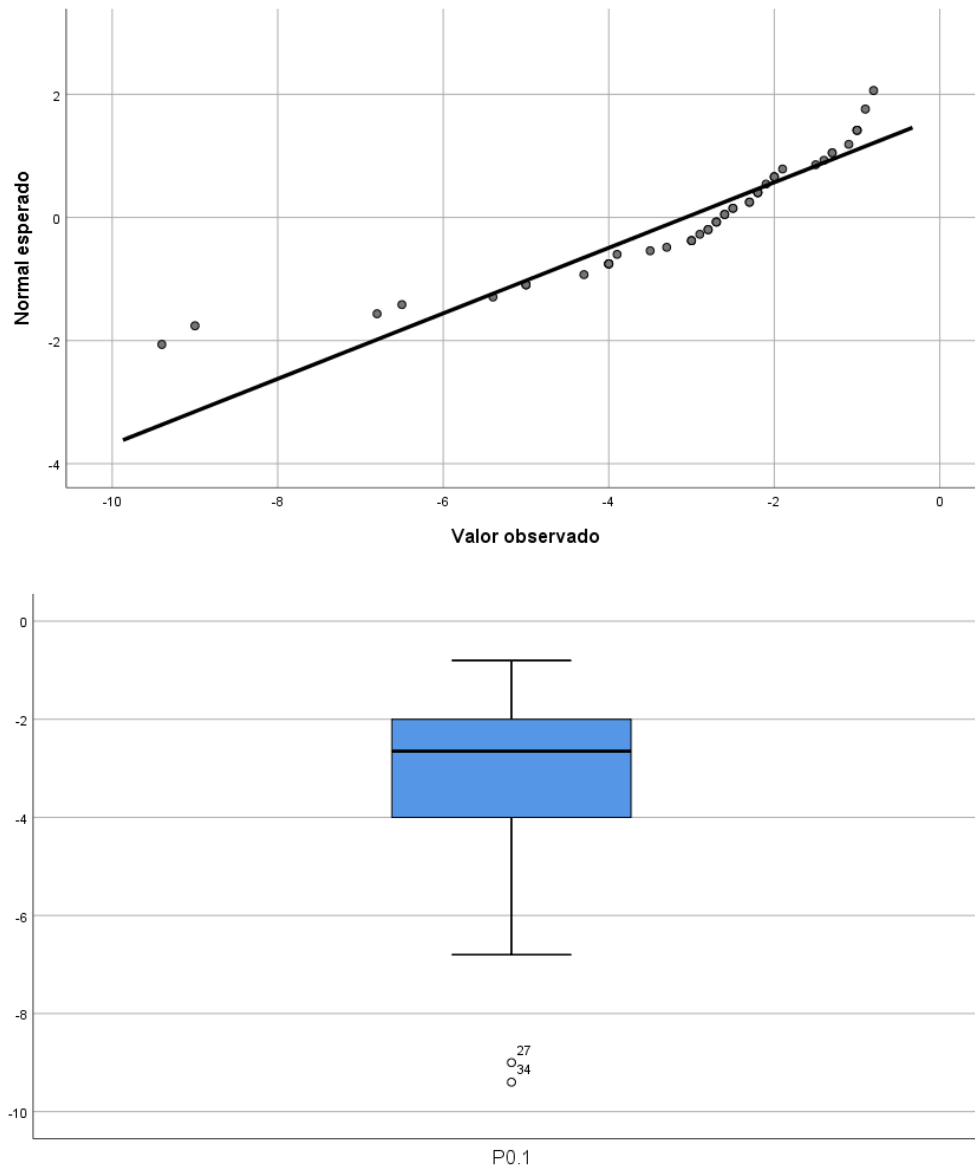




Gráfico 2. Q-Q normal y distribución de NIF.

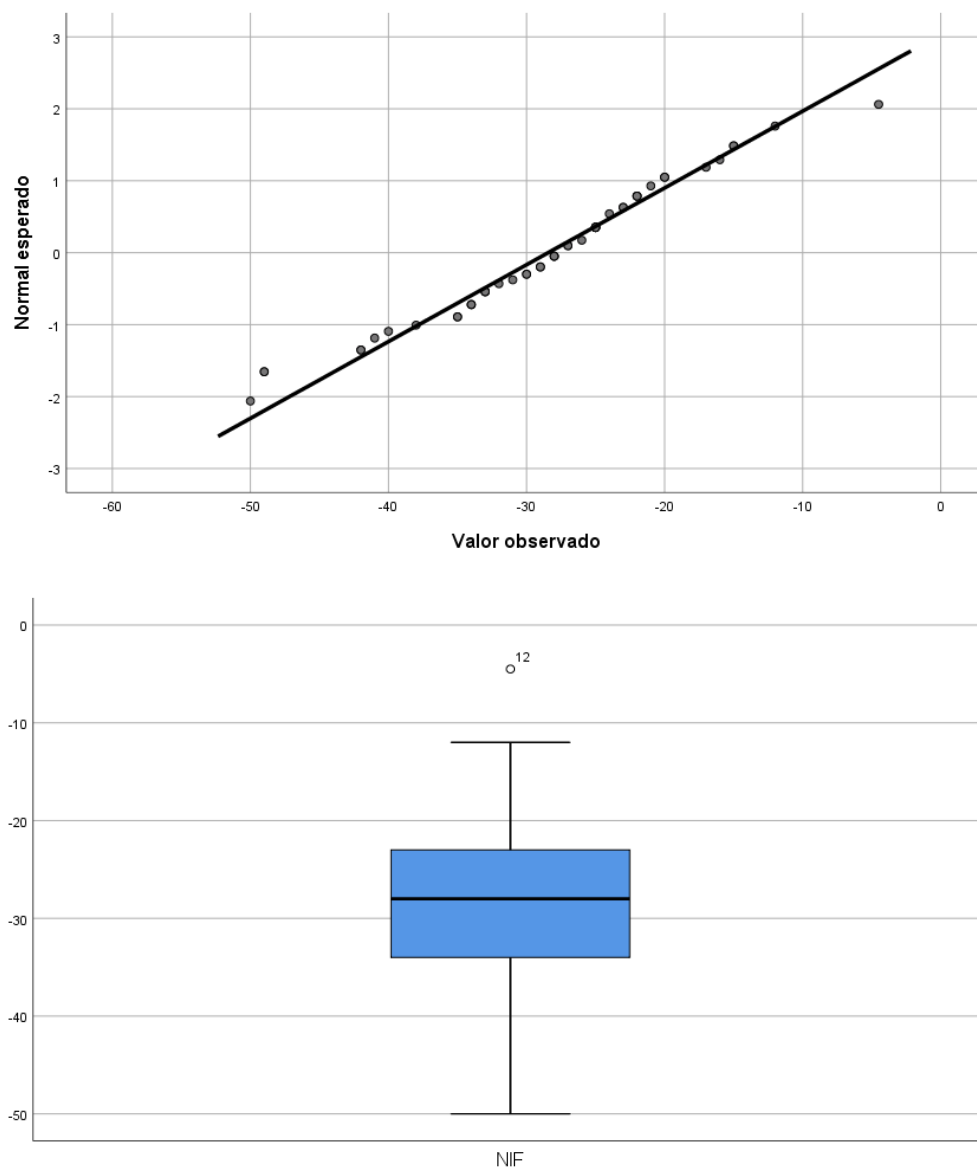




Gráfico 3. Q-Q normal y distribución de extrusión diafragmática.

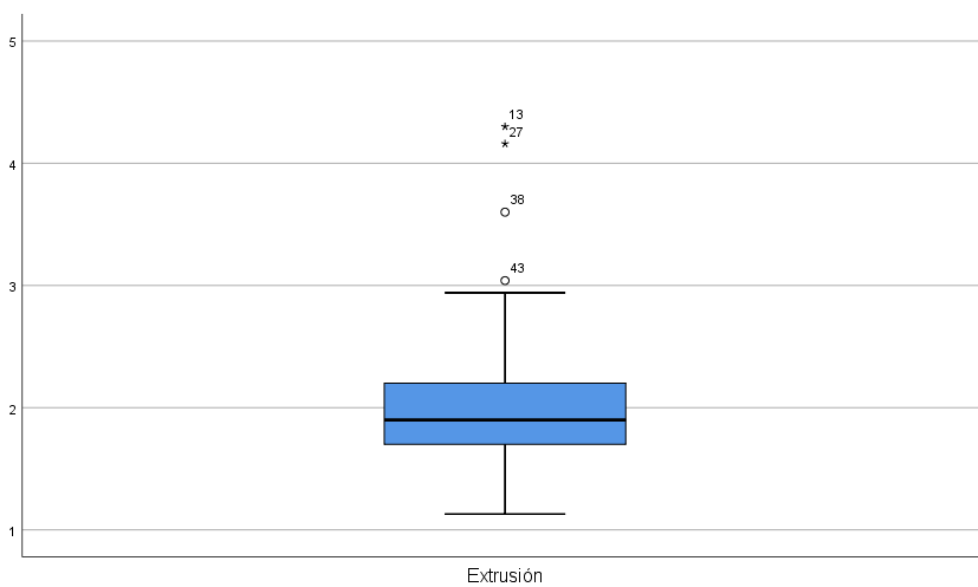
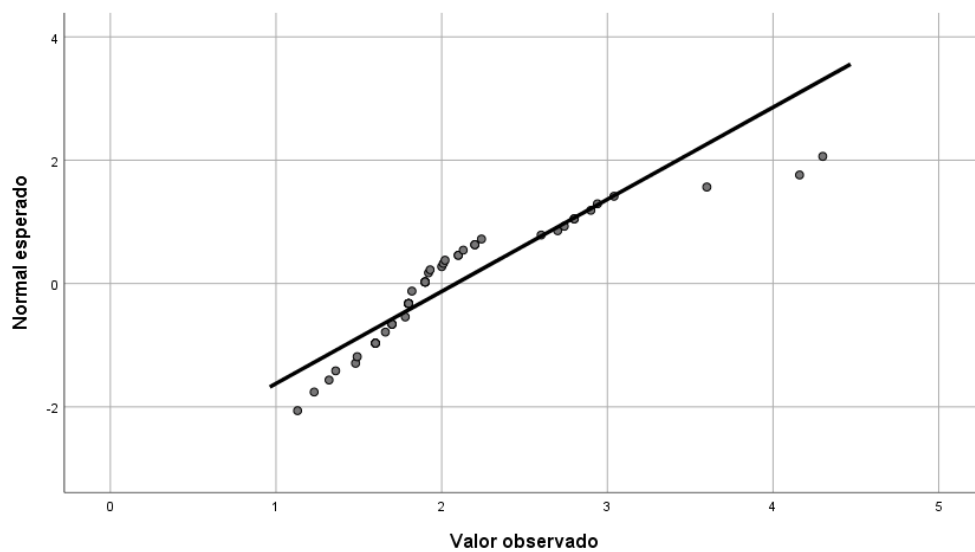




Gráfico 4. Q-Q normal y distribución de balance de fluidos.

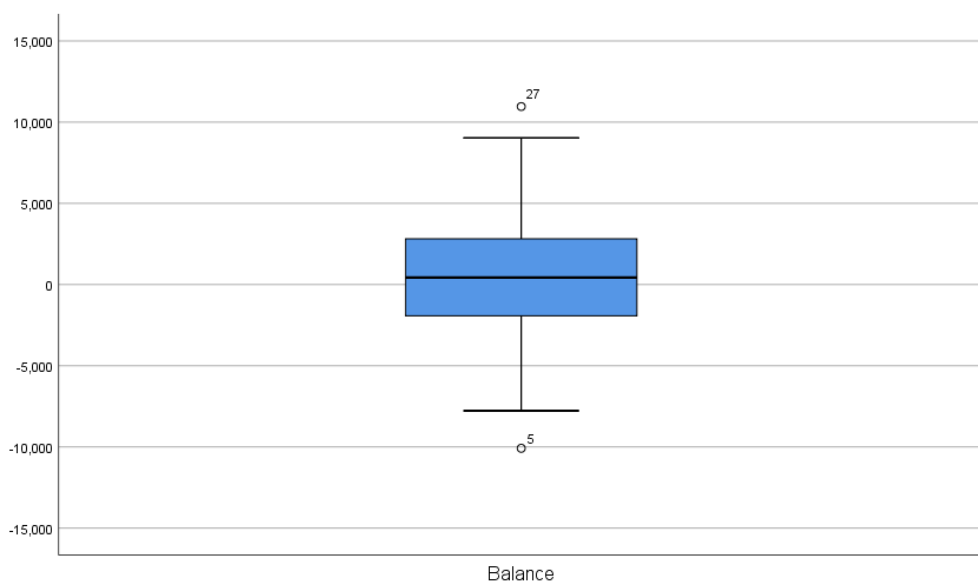
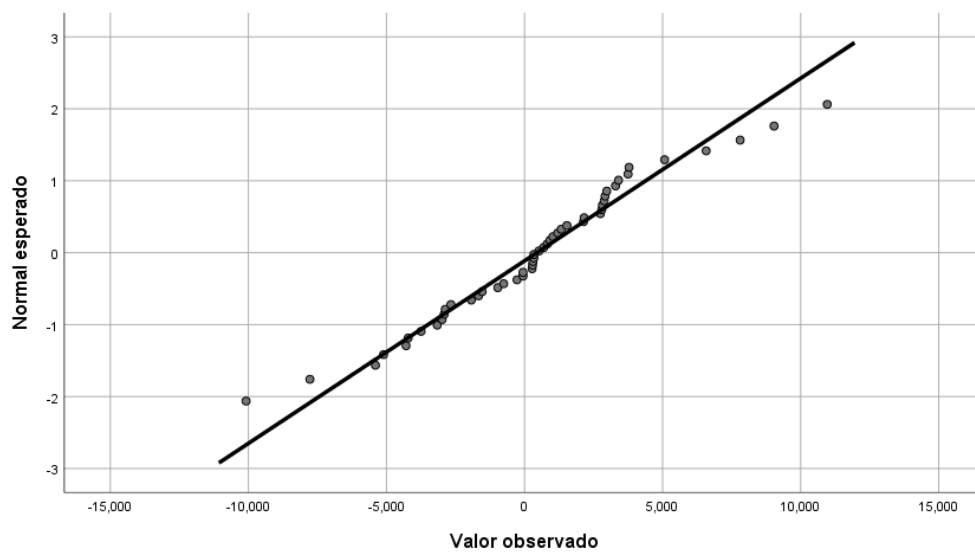
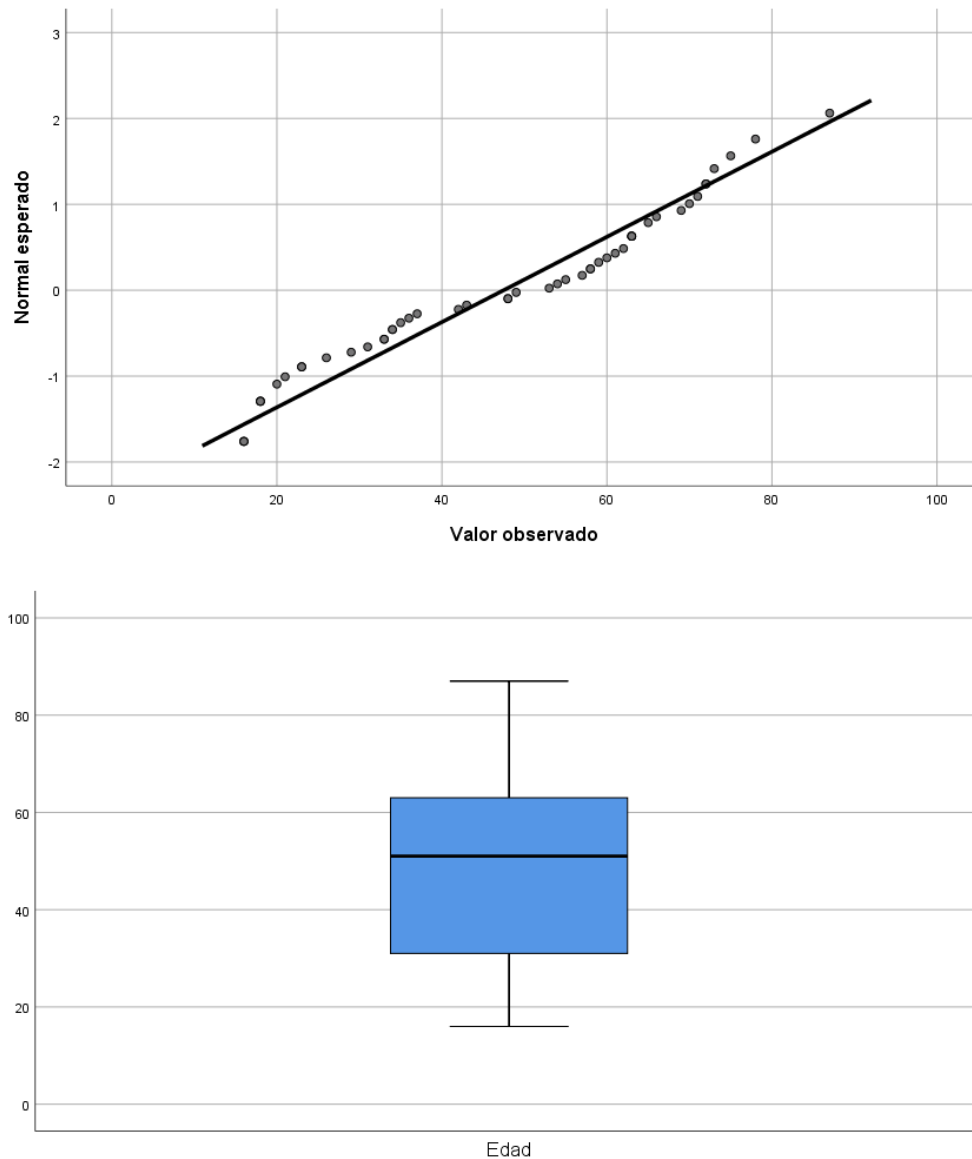




Gráfico 5. Q-Q normal y distribución de edad.



11.2 Análisis de colinealidad

Se realiza un análisis de colinealidad debido al número de variables predictoras y la inclusión de dos covariables, por lo que se utiliza el método de regresión lineal para la obtención de esta relación. Los resultados muestran un VIF (factor de inflación de varianza) en su mayor valor para las variables P0.1 y Género con 1.243, y el menor para la variable NIF con 1.038. Dichas relaciones se ilustran en la tabla 2.



Tabla 2. Coeficientes de colinealidad.

| Modelo | B | Desv. Error | Beta | Sig. | | Tolerancia | VIF |
|--------|-------------|-------------|------|-------|--------|------------|------|
| | (Constante) | .509 | .289 | | 1.763 | .085 | |
| | Caso | .002 | .004 | .093 | .630 | .532 | .937 |
| | P0.1 | -.062 | .030 | -.332 | -2.066 | .045 | .796 |
| | NIF | -.006 | .005 | -.164 | -1.118 | .270 | .963 |
| | Extrusión | -.031 | .082 | -.059 | -.372 | .711 | .831 |
| | Balance | -6.149E-6 | .000 | -.069 | -.450 | .655 | .873 |
| | Edad | -.002 | .003 | -.117 | -.779 | .440 | .907 |
| | Género | .124 | .131 | .153 | .952 | .347 | .794 |

11.3 Características basales de la muestra de estudio

De la población de estudio, la edad promedio fue de 47.60 años, con una desviación estándar de 19.97 años, con un rango de edad de los 18 a los 74 años, de los cuales el 23.5% son mujeres (12 individuos) y el 76.5% son hombres (38 individuos). De las mediciones de las variables predictoras, el P0.1 tuvo una media de su determinación en -3.072, con una desviación estándar de 1.87 con un rango de 0.80 a 9. El NIF presentó una media de su determinación en -28.430, con una desviación estándar de 9.36, con un rango de 4.50 a 50. La extrusión diafragmática presenta en su determinación una media de 2.08, con una desviación estándar de 0.66, con un rango de 1.23 a 4.4mm. El balance total de fluidos presentó una media de su determinación en 445.04, con una desviación estándar de 3941.95, con un rango de -10084cc a 10963cc. El porcentaje de éxito de extubación fue del 86% (43 individuos). Los datos se visualizan en la tabla 3 y en los gráficos 6 a 9.



Tabla 3. Características basales de la población de estudio.

| Variable | Valores |
|------------------------------|----------------------|
| Características demográficas | |
| Media de edad en años (DE) | 47.60 (19.970) |
| Número de mujeres (%) | 12 (23.5) |
| Parámetros predictivos | |
| P0.1 | -3.072 (1.87997) |
| NIF | -28.430 (9.36777) |
| Extrusión | 2.086 (0.66966) |
| Balance | 445.044 (3941.95430) |
| Éxito de Extubación (%) | 86 (43) |

Gráfico 6. Género por frecuencias.

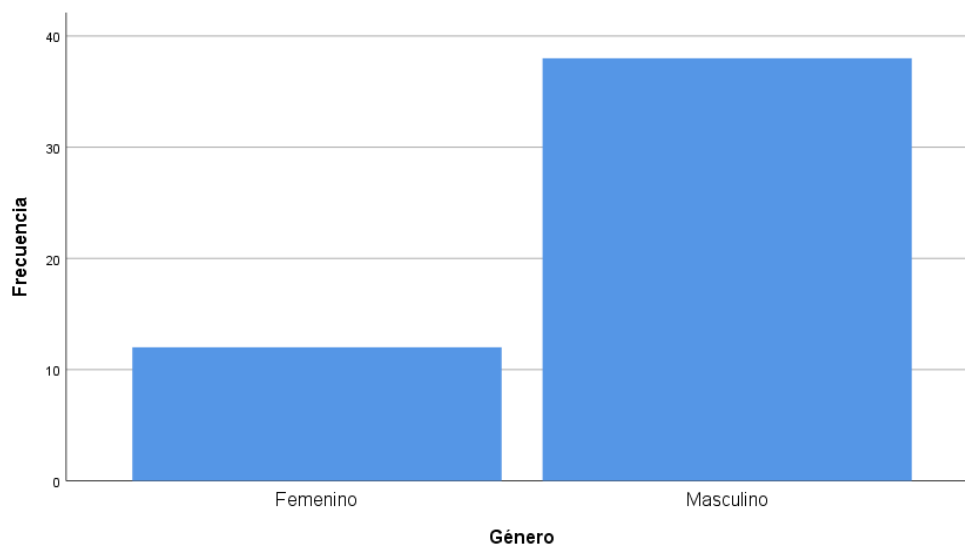




Gráfico 7. Éxito de la extubación por frecuencias.

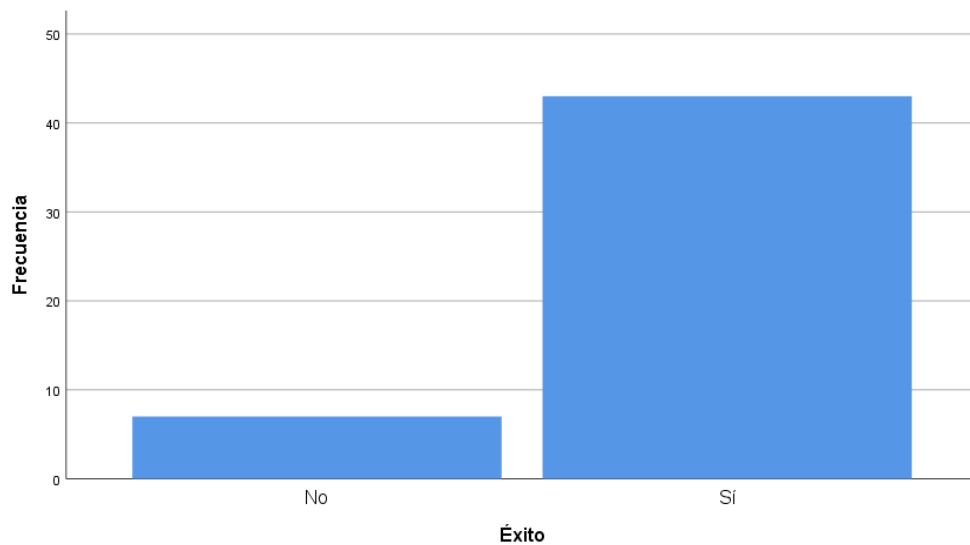


Gráfico 8. P0.1 transformado por frecuencias.

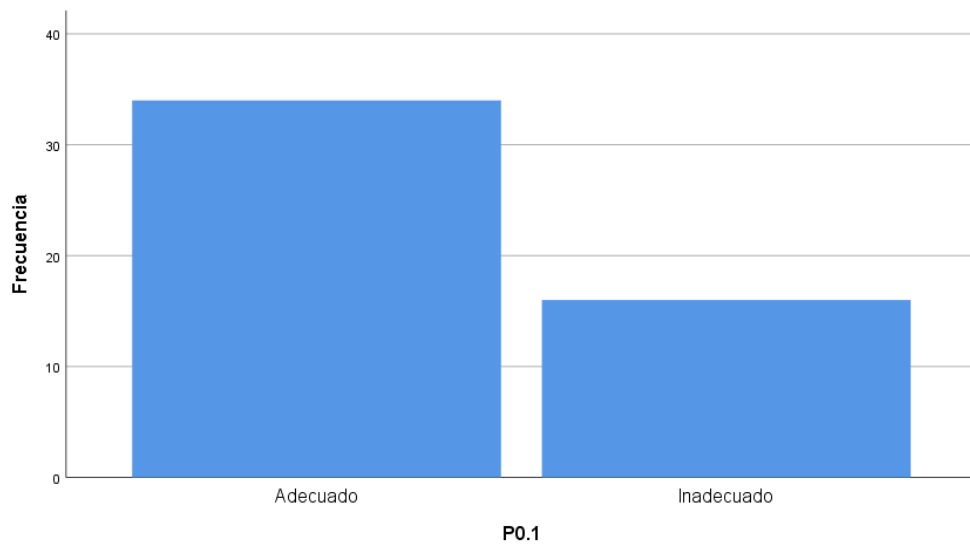
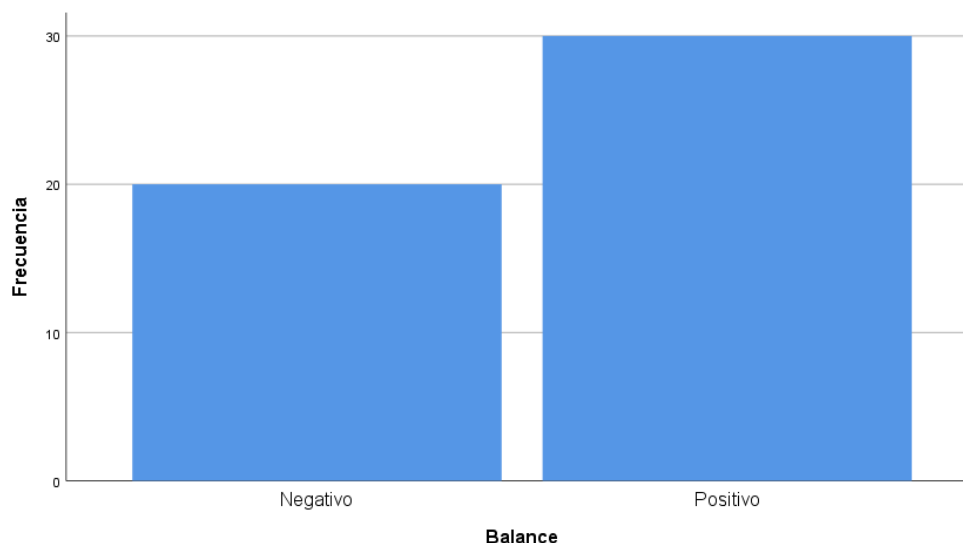




Gráfico 9. Balance de fluidos transformado por frecuencias.



11.4 Análisis de las variables con respecto al éxito de la extubación y su relación al balance de líquidos

11.4.1 P0.1

Debido a la distribución no normal de esta variable, además de la falta de correlación con el éxito de extubación utilizando la regresión logística, se realizó la transformación de la variable a sus expresiones cuadrada, cúbica, raíz cuadrada y logaritmo natural y se analizó su relación con el éxito de extubación, sin obtenerse valores estadísticamente significativos, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de p y coeficiente de correlación en las transformaciones de P0.1 en relación al éxito de extubación.

| Variable | Valor de <i>p</i> y coeficiente de correlación |
|------------------------|--|
| P0.1 | 0.93 (2.085) |
| P0.1 Cuadrada | 0.132 (1.183) |
| P0.1 Cúbica | 0.185 (1.047) |
| P0.1 Raíz cuadrada | 0.082 (7.850) |
| P0.1 Logaritmo natural | 0.084 (3.942) |



Adicionalmente, se realizó la transformación de P0.1 a una variable categórica de acuerdo a los valores descritos como adecuados (menores a -3.2) e inadecuados (mayores a -3.2), realizándose pruebas de OR por tablas cruzadas (valor: 1.241), prueba exacta de Fisher y regresión lineal, obteniendo adecuadas correlaciones, sin valores de p estadísticamente significativos, como se describe en la tabla 5.

Tabla 5. Pruebas utilizadas en la relación de la variable P0.1 categórica y el éxito de la extubación.

| Prueba | Valor de p |
|-------------------------|--------------|
| Prueba exacta de Fisher | 0.169 |
| Rho de Spearman | 0.075 |
| Regresión logística | 0.999 |
| Mann-Whitney | 0.078 |

Con respecto al balance total de fluidos, se estudió su interacción utilizando una correlación de Spearman y se reutilizaron sus conversiones categóricas para realizar una prueba de regresión logística, sin alcanzar valores de p estadísticamente significativos, lo que se describe en la tabla 6.

Tabla 6. Pruebas utilizadas en la variable P0.1 y su relación al balance total de fluidos.

| Prueba | Valor de p |
|---------------------|--------------|
| Rho de Spearman | 0.378 |
| Regresión logística | 0.964 |

Por lo que puede extrapolarse que en esta población de estudio no puede implementarse la determinación de P0.1 como predictor independiente de extubación ni establecerse una influencia directa del balance total de fluidos sobre este.

11.4.2 NIF

La variable NIF sigue una distribución normal, sin embargo, al no encontrar relación estadísticamente significativa en la regresión logística con respecto al éxito de extubación se decidió la realización de la transformación de la variable a sus



expresiones cuadrada, cúbica, raíz cuadrada y logaritmo natural con el objetivo de mejorar la linealidad de la regresión, sin obtenerse valores estadísticamente significativos, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de p y coeficiente de correlación en las transformaciones de NIF en relación al éxito de extubación.

| Variable | Valor de p y coeficiente de correlación |
|-----------------------|---|
| NIF | 0.288 (1.054) |
| NIF Cuadrada | 0.572 (1.000) |
| NIF Cúbica | 0.846 (1.000) |
| NIF Raíz cuadrada | 0.154 (1.861) |
| NIF Logaritmo natural | 0.099 (4.684) |

De acuerdo al esquema de tratamiento de variables, se realizó la transformación de NIF a una variable categórica de acuerdo a los valores descritos como adecuados (mayores a 19) e inadecuados (igual o menor a 19), realizándose pruebas de OR por tablas cruzadas (valor: 0.788), prueba exacta de Fisher y regresión lineal, obteniendo adecuadas correlaciones, sin valores de p estadísticamente significativos, como se describe en la tabla 8.

Tabla 8. Pruebas utilizadas en la relación de la variable P0.1 categórica y el éxito de la extubación.

| Prueba | Valor de p |
|-------------------------|--------------|
| Prueba exacta de Fisher | 0.192 |
| R de Pearson | 0.152 |
| Regresión logística | 0.168 |
| Mann-Whitney | 0.150 |

En cuanto al balance total de fluidos, se realizó estudio su interacción por utilizando una correlación de Spearman y se reutilizaron sus conversiones categóricas para realizar una prueba de regresión logística, sin alcanzar valores de p estadísticamente significativos, lo que se describe en la tabla 9.



Tabla 9. Pruebas utilizadas en la variable P0.1 y su relación al balance total de fluidos.

| Prueba | Valor de p |
|---------------------|--------------|
| R de Pearson | 0.603 |
| Regresión logística | 0.596 |

Por lo que puede concluirse que en esta población de estudio no puede implementarse la determinación de NIF como predictor independiente de extubación ni establecerse una influencia directa del balance total de fluidos sobre dicha variable.

11.4.3 Extrusión Diafragmática

La variable extrusión diafragmática sigue una distribución no normal, por lo que, al no encontrar significancia estadística con respecto al éxito de extubación, se prosiguió a la transformación de la variable a sus expresiones cuadrada, cúbica, raíz cuadrada y logaritmo natural con el objetivo de mejorar la linealidad de la regresión, sin obtenerse valores estadísticamente significativos, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Valores de p y coeficiente de correlación en las transformaciones de extrusión diafragmática en relación al éxito de extubación.

| Variable | Valor de p y coeficiente de correlación |
|-------------------------|---|
| Extrusión | 0.918 (0.940) |
| Extrusión Cuadrada | 0.551 (0.942) |
| Extrusión Cúbica | 0.346 (0.981) |
| Extrusión Raíz cuadrada | 0.857 (1.429) |
| Extrusión LN | 0.638 (2.067) |

De acuerdo al esquema de tratamiento de variables, se realizó la transformación de extrusión diafragmática a una variable categórica de acuerdo a los valores descritos como adecuados (14mm o mayor) e inadecuados (igual o menor a 13), realizándose pruebas de OR por tablas cruzadas, encontrándose una relación estadísticamente significativa (valor de p 0.031) con un valor de $\exp(B)$ de 8.2., no existiendo cambio en el análisis multivariado ajustado para edad y género. Posteriormente, se realiza



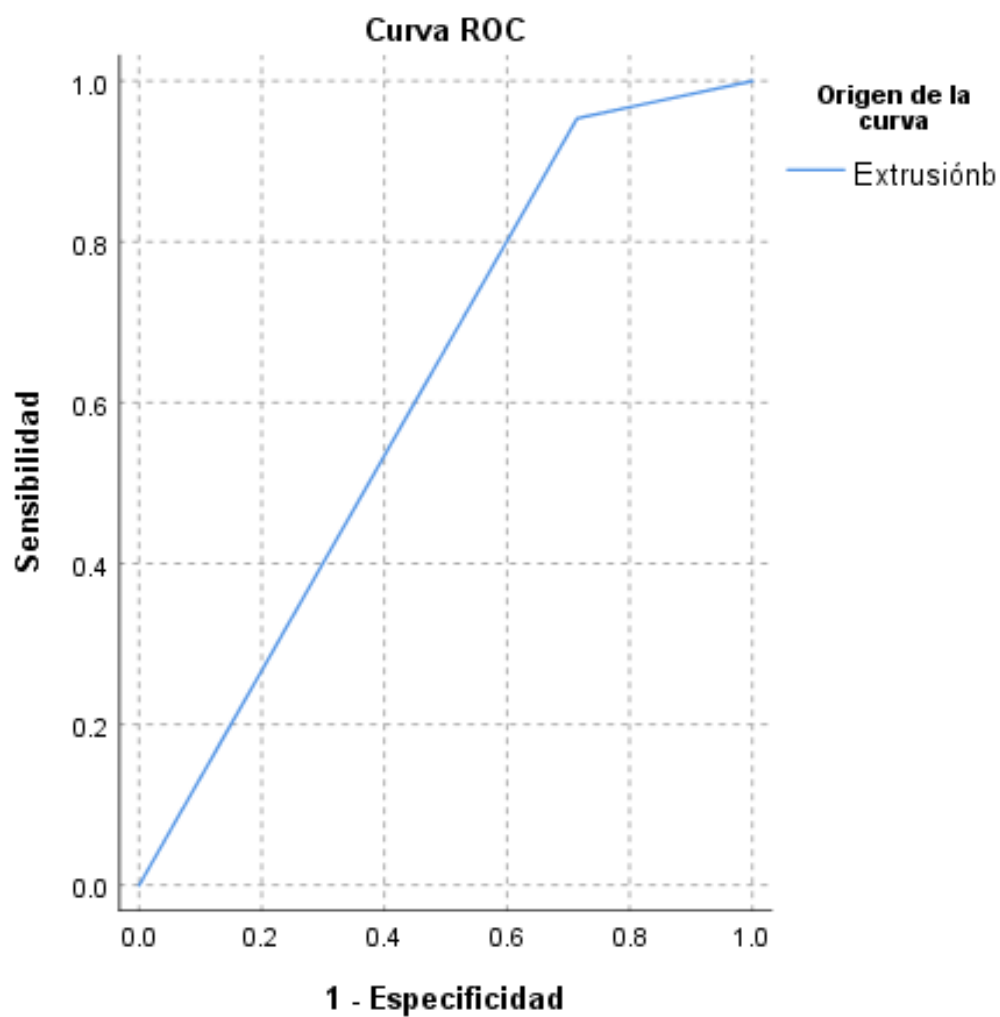
un análisis ROC para determinar el rendimiento de esta relación como predictor independiente del éxito de extubación, a partir del éxito de extubación y los valores de probabilidades predichas sobre la extrusión diafragmática, obteniéndose un Área Bajo La Curva (AUC) de 0.620, que bajo un ajuste estándar de 0.50 mantiene una sensibilidad del 95% y una especificidad del 71%, además de ajustarse el punto de corte óptimo de acuerdo a las coordenadas del análisis ROC e índice de Youden, lo que se ejemplifica en la tabla 11, 12 y el gráfico 11 y 12.

Tabla 11. Cálculo de sensibilidad y especificidad de acuerdo al análisis ROC

| Ajuste estándar | Sensibilidad | Especificidad |
|-----------------|--------------|---------------|
| -1.00 | 1.000 | 1.000 |
| 0.50 | 0.953 | 0.714 |
| 2.00 | 0.0 | 0.0 |



Gráficos 11 y 12. Curva ROC del modelo en su forma categórica y continua



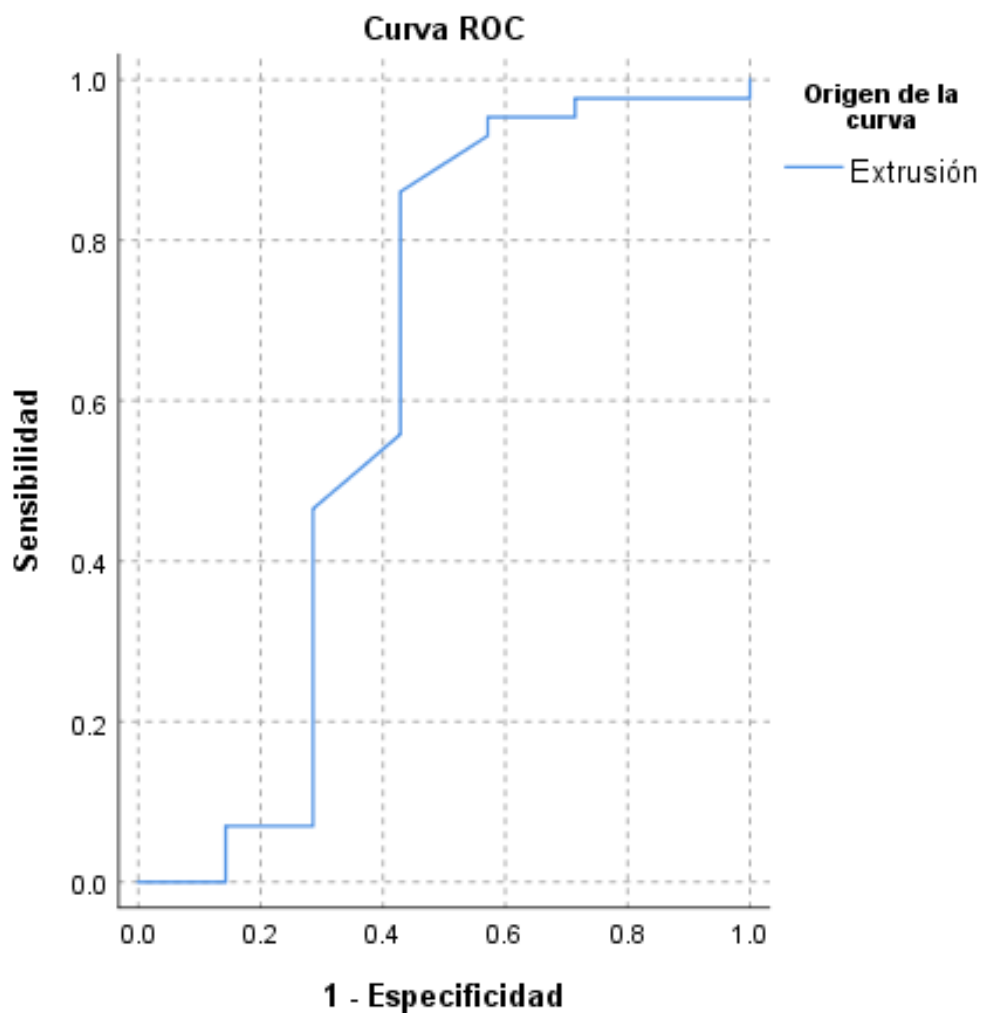


Tabla 12. Determinación del punto de corte óptimo por índice de Youden

| Valor de Corte | Sensibilidad | 1- Especificidad | Especificidad | Índice de Youden |
|----------------|--------------|------------------|---------------|---------------------------------------|
| 0.13 | 1 | 1 | 0 | $1.000 + 0.000 - 1 =$ 0.000 |
| 1.18 | 0.977 | 1 | 0 | $0.977 + 0.000 - 1 =$ 0.023 |
| 1.275 | 0.977 | 0.857 | 0.143 | $0.977 + 0.143 - 1 =$ 0.120 |
| 1.34 | 0.977 | 0.857 | 0.143 | $0.977 + 0.143 - 1 =$ 0.120 |
| 1.42 | 0.953 | 0.714 | 0.286 | $0.953 + 0.286 - 1 =$ 0.239 |



11.4.4 Balance de Fluidos

La variable referente al balance de fluidos sigue una distribución normal. No se encuentra relación estadísticamente significativa entre esta y el éxito de extubación al aplicar el método de regresión lineal. De la misma forma, no se encuentra relación estadística entre el balance de fluidos y las variables predictoras de extubación, como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13. Valores de p en la prueba de regresión lineal del balance de fluidos, el éxito de extubación, las variables predictoras de extubación y las covariables.

| Variable | Valor de p y constante de correlación |
|-----------|---|
| P0.1 | 0.907 (0.580) |
| NIF | 0.490 (-0.005) |
| Extrusión | 0.246 (0.135) |
| Edad | 0.499 (-0.003) |
| Éxito | 0.512 (-0.146) |
| Género | 0.288 (-0.203) |

De acuerdo al esquema de tratamiento de las variables, se realizó la transformación del balance de líquidos a una variable categórica de acuerdo a los valores positivo (mayor a 0mL) y negativo (menor de 0mL). No se encontró significancia estadística entre el balance de fluidos, el éxito de extubación, las covariables o las variables predictoras de extubación al aplicar el método de regresión lineal o la prueba de Mann-Whitney para explorar relaciones no paramétricas como se muestra en las tablas 14 y 15.



Tabla 14. Valores de p en la prueba de regresión lineal del balance de fluidos transformado, el éxito de extubación, las variables de predictoras de extubación y las covariables.

| Variable | Valor de p y constante de correlación |
|-----------|---|
| P0.1 | 0.906 (-0.005) |
| NIF | 0.489 (0.006) |
| Extrusión | 0.246 (0.135) |
| Edad | 0.499 (-0.003) |
| Éxito | 0.511 (-0.146) |
| Género | 0.288 (-0.203) |

Tabla 15. Valores de p en la prueba de Man-Whitney para relaciones no paramétricas.

| Variable | Valor de p y U de Mann-Whitney |
|-----------|----------------------------------|
| P0.1 | 0.394 (257.000) |
| NIF | 0.599 (273.500) |
| Extrusión | 0.866 (291.500) |
| Edad | 0.411 (258.500) |
| Éxito | 0.510 (280.000) |
| Género | 0.228 (255.000) |



12. Discusión

En este estudio se exploró la influencia del balance de fluidos en el éxito de extubación de los pacientes en la Unidad de Terapia Intensiva. Adicionalmente, se buscó definir la influencia de dicho balance en las variables predictoras de extubación más comunes en la práctica clínica. Como objetivo principal, en este estudio de 50 individuos se propone la conformación de una herramienta predictiva a utilizarse previo al proceso de extubación, junto al protocolo de extubación, que permita reducir el índice de fracaso, utilizando herramientas ampliamente conocidas y fácilmente obtenibles para determinar el estado de la fisiología respiratoria del paciente en cuestión: P0.1, NIF y extrusión diafragmática. De acuerdo a su distribución, se estudió la influencia del balance de fluidos en el éxito de la extubación y de las variables predictoras, para posteriormente establecer una relación entre las variables predictoras y el éxito de extubación para definir el modelo predictivo.

En el contexto de la Unidad de Cuidados Intensivos, así como en la sala de Urgencias y el Quirófano, la terapia con fluidos es ampliamente utilizada con el objetivo de mantener la homeostasis y el desbalance de líquidos que causan la hipoperfusión tisular (38). Estudios como el de Darmawan et. al. establecen un precedente sobre la identificación del balance de fluidos positivo como un factor relevante para el destete de la ventilación mecánica en el paciente críticamente enfermo (34), además de afectar de forma negativa e independiente al pronóstico de patologías íntimamente relacionadas a la necesidad de ventilación mecánica como describe en su investigación Zhang et. al. (37). A pesar de los resultados de esta investigación, existe documentación de estudios que apoya la noción de que el balance de fluidos positivo aumenta el fracaso del destete de la ventilación mecánica según describen Upadya et. al. (58) y Epstein et. al. (59). En esta investigación, el comportamiento de P0.1 estuvo cerca de la relevancia estadística como predictor de extubación exitosa, consistente a los diversos resultados del estudio de P0.1 como un indicador directo del impulso respiratorio en situaciones específicas, como el estudio de Wei-Zhong et. al., donde se detalla una relación del



P0.1 y el estado de sedación según la escala de RASS (26), además de los resultados de Fernández et. al., donde se comprueba la utilidad de los índices derivados de P0.1 para la determinación del riesgo de reintubación (60) y el meta-análisis realizado por Ryota et. al., donde se describe un adecuado valor predictivo del P0.1 como predictor independiente del éxito de extubación (25). Con respecto al NIF, al ser un análogo de presión inspiratoria máxima, se ha descrito como un indicador importante de función diafragmática y se ha considerado ampliamente como un predictor independiente en el proceso de destete de la ventilación mecánica (19), además de comprobarse su utilidad como determinación cuantitativa previo a la realización de la extubación según describe Vu et. al. (15), en contraste con la falta de asociación estadística en esta investigación. Finalmente, la extrusión diafragmática forma parte de los parámetros radiológicos que siguen sin implementación generalizada en los protocolos de extubación (16), a pesar de las numerosas investigaciones que lo sitúan en una posición equivalente a parámetros más comunes como el NIF, según describe Yáñez (61), y que esta investigación reproduce, al ser el único parámetro que funciona como predictor independiente del éxito de extubación.

13. Conclusiones

Esta investigación exploró la importancia del balance de fluidos en el éxito de extubación de los pacientes en la Unidad de Cuidados Intensivos. Adicionalmente, se intentó determinar la importancia de este parámetro en la modificación de las principales pruebas de extubación que acompañan al protocolo de investigación en un intento de conformar una herramienta estandarizada para calcular el porcentaje de fracaso del proceso de extubación. No se encontró relación entre el balance de fluidos positivo y el aumento del fracaso de la extubación, de la misma forma que tampoco se encontró relación con P0.1, NIF y extrusión diafragmática. De las variables predictoras, NIF y P0.1 no mostraron relación estadística para predecir de cualquier forma el éxito de extubación, mientras que la extrusión diafragmática mostró utilidad como predictor independiente del éxito de extubación, con el cálculo



de un punto de corte de 1.42mm, con una sensibilidad del 95% y una especificidad del 71%, con un índice de correlación del 8.2.

Por lo tanto, y a pesar de un índice predictivo débil, los pacientes con una extrusión diafragmática igual o mayor de 1.42mm tendrán ocho veces más probabilidades de tener un proceso de extubación exitoso en comparación de los pacientes que no cumplen este criterio.

14. Recomendaciones

- Todos los pacientes con un tiempo de intubación mayor a las 24 horas deber asignados a un protocolo de destete de ventilación mecánica.
- Todo protocolo de destete de la ventilación mecánica en su fase de proceso de extubación debe priorizar la determinación de extrusión diafragmática.
- Todo personal involucrado en el protocolo de destete de la ventilación mecánica debe ser entrenado en la obtención e interpretación de la extrusión diafragmática
- La logística que involucra al paciente en estado crítico mecánicamente ventilado debe incluir de manera activa la prevención de la disfunción diafragmática (modos ventilatorios, fármacos, nutrición, nivel de sedación, estado hemodinámico y balance de fluidos).
- Deben limitarse el tiempo de modos controlados de la ventilación mecánica a no más de 48 horas cuando sea posible



15. Bibliografía

1. Romero-Ávila P, Márquez-Espinós C, Cabrera-Afonso JR. Historia de la ventilación mecánica. De la Antigüedad a Copenhague 1952. *Revista médica de Chile*. 2020;148:822-30.
2. Kacmarek RM. The Mechanical Ventilator: Past, Present, and Future. *Respiratory Care*. 2011;56(8):1170-80.
3. Slutsky AS. History of Mechanical Ventilation. From Vesalius to Ventilator-induced Lung Injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2015;191(10):1106-15.
4. Brochard LJ. Mechanical Ventilation: Negative to Positive and Back Again. *Crit Care Clin*. 2023;39(3):437-49.
5. Rodríguez AG. Historia de la Ventilación Mecánica. *Revista Argentina de Terapia Intensiva*. 2012;29(1).
6. Vahedian-Azimi A, Bashar FR, Jafarabadi MA, Stahl J, Miller AC. Protocolized ventilator weaning verses usual care: A randomized controlled trial. *Int J Crit Illn Inj Sci*. 2020;10(4):206-12.
7. Nitta K, Okamoto K, Imamura H, Mochizuki K, Takayama H, Kamijo H, et al. A comprehensive protocol for ventilator weaning and extubation: a prospective observational study. *J Intensive Care*. 2019;7:50.
8. Andreu M, Bertozzi M, Bezzi M, Borello S, Castro D, Giorgio VD, et al. Comparison of Two Extubation Techniques in Critically Ill Adult Subjects: The ExtubAR Randomized Clinical Trial. *Respiratory Care*. 2022;67(1):76-86.
9. Parotto M, Cooper RM, Behringer EC. Extubation of the Challenging or Difficult Airway. *Curr Anesthesiol Rep*. 2020;10(4):334-40.
10. Quintard H, l'Her E, Pottecher J, Adnet F, Constantin JM, De Jong A, et al. Intubation and extubation of the ICU patient. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2017;36(5):327-41.
11. Vahedian-Azimi A, Bashar FR, Boushra MN, Quinn JW, Miller AC. Disease specific thresholds for determining extubation readiness: The optimal negative inspiratory force for chronic obstructive pulmonary disease patients. *Int J Crit Illn Inj Sci*. 2020;10(2):99-104.
12. Marwah V, Peter D, V S. Mechanical Ventilation: Weaning. 2023.
13. Qing Q, Liang M, Sun Q, Xie B, Yang C, Liang W, et al. Using twitch tracheal airway pressure, negative inhale forced pressure, and Medical Research Council score to guide weaning from mechanical ventilation. *J Thorac Dis*. 2018;10(7):4424-32.
14. Torrini F, Gendreau S, Morel J, Carteaux G, Thille AW, Antonelli M, et al. Prediction of extubation outcome in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2021;25(1):391.
15. Vu PH, Tran VD, Duong MC, Cong QT, Nguyen T. Predictive value of the negative inspiratory force index as a predictor of weaning success: a crosssectional study. *Acute Crit Care*. 2020;35(4):279-85.
16. Kaur A, Sharma S, Singh VP, Krishna MR, Gautam PL, Singh G. Sonographic assessment of diaphragmatic thickening and excursion as predictors of weaning



success in the intensive care unit: A prospective observational study. *Indian J Anaesth.* 2022;66(11):776-82.

17. Kaur R, Vines DL, Patel AD, Lugo-Robles R, Balk RA. Early Identification of Extubation Failure Using Integrated Pulmonary Index and High-Risk Factors. *Respir Care.* 2021;66(10):1542-8.

18. Fleuren LM, Dam TA, Tonutti M, de Bruin DP, Lalisang RCA, Gommers D, et al. Predictors for extubation failure in COVID-19 patients using a machine learning approach. *Critical Care.* 2021;25(1):448.

19. Edgar C R KPFA. Negative Inspiratory Pressure as a Predictor of Weaning Mechanical Ventilation. *J Anest & Intern Care Med.* 2017;3(1).

20. Ko R, Ramos L, Chalela JA. Conventional weaning parameters do not predict extubation failure in neurocritical care patients. *Neurocrit Care.* 2009;10(3):269-73.

21. Savla P, Toor H, Podkovik S, Mak J, Kal S, Soliman C, et al. A Reassessment of Weaning Parameters in Patients With Spontaneous Intracerebral Hemorrhage. *Cureus.* 2021;13(1):e12539.

22. Telias I, Junhasavasdikul D, Rittayamai N, Piquilloud L, Chen L, Ferguson ND, et al. Airway Occlusion Pressure As an Estimate of Respiratory Drive and Inspiratory Effort during Assisted Ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2020;201(9):1086-98.

23. Beloncle F, Piquilloud L, Olivier PY, Vuillermoz A, Yvin E, Mercat A, et al. Accuracy of P0.1 measurements performed by ICU ventilators: a bench study. *Ann Intensive Care.* 2019;9(1):104.

24. de Vries HJ, Tuinman PR, Jonkman AH, Liu L, Qiu H, Girbes ARJ, et al. Performance of Noninvasive Airway Occlusion Maneuvers to Assess Lung Stress and Diaphragm Effort in Mechanically Ventilated Critically Ill Patients. *Anesthesiology.* 2023;138(3):274-88.

25. Sato R, Hasegawa D, Hamahata NT, Narala S, Nishida K, Takahashi K, et al. The predictive value of airway occlusion pressure at 100 msec (P0.1) on successful weaning from mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis. *J Crit Care.* 2021;63:124-32.

26. Wang WZ, Ying LJ, Liu WD, Zhang P, Li SF. Findings of ventilator-measured P0.1 in assessing respiratory drive in patients with severe ARDS. *Technol Health Care.* 2024;32(2):719-26.

27. Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP. Diaphragm Ultrasound in Critically Ill Patients on Mechanical Ventilation-Evolving Concepts. *Diagnostics (Basel).* 2023;13(6).

28. Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, Shi ZH, Goligher EC, Goffi A, et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients-a narrative review. *Intensive Care Med.* 2020;46(4):594-605.

29. Adrián Gallardo APD, Santiago Saavedra, Patrick Sepúlveda Barisich, Alberto Gómez-González, Robert Jones Baro, María Carolina Cabrera Schulmeyer. Ultrasonografía en cuidados críticos. *Revista Chilena de Anestesia.* 2023;52(1):95-105.

30. Theerawit P, Eksombatchai D, Sutherasan Y, Suwatanapongched T, Kiatboonsri C, Kiatboonsri S. Diaphragmatic parameters by ultrasonography for predicting weaning outcomes. *BMC Pulm Med.* 2018;18(1):175.



31. Grassi A, Ferlicca D, Lupieri E, Calcinati S, Francesconi S, Sala V, et al. Assisted mechanical ventilation promotes recovery of diaphragmatic thickness in critically ill patients: a prospective observational study. *Crit Care*. 2020;24(1):85.
32. Li T, Zhou D, Zhao D, Lin Q, Wang D, Wang C. Association between fluid intake and extubation failure in intensive care unit patients with negative fluid balance: a retrospective observational study. *BMC Anesthesiol*. 2022;22(1):170.
33. Santos PAD, Ribas A, Quadros TCC, Blattner CN, Boniatti MM. Postextubation fluid balance is associated with extubation failure: a cohort study. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2021;33(3):422-7.
34. Dharmawan A MI, Ramlan AAW. Role of cumulative fluid balance, intraabdominal pressure, diaphragm excursion, and neutrophil-lymphocyte ration on the difficulty of the weaning process from mechanical ventilation in critically ill patients. *Critical Care and Shock*. 2022;25(2):61-6.
35. Goudelin M, Champy P, Amiel JB, Evrard B, Fedou AL, Daix T, et al. Left ventricular overloading identified by critical care echocardiography is key in weaning-induced pulmonary edema. *Intensive Care Med*. 2020;46(7):1371-81.
36. Dres M, Estellat C, Baudel JL, Beloncle F, Cousty J, Galbois A, et al. Comparison of a preventive or curative strategy of fluid removal on the weaning of mechanical ventilation: a study protocol for a multicentre randomised open-label parallel-group trial. *BMJ Open*. 2021;11(8):e048286.
37. Zhang L, Xu F, Li S, Zheng X, Zheng S, Liu H, et al. Influence of fluid balance on the prognosis of patients with sepsis. *BMC Anesthesiol*. 2021;21(1):269.
38. Semedi BP SM. Fluid balance in critically ill: a predictor of death? . *Anaesthesia, Pain and Intensive Care*. 2024;28(3):566-70.
39. Watson F, Austin P. Physiology of human fluid balance. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*. 2018;19(9):494-501.
40. Mythen M, Vercueil A. ES06.03 Fluid balance. *Vox Sanguinis*. 2004;87(s1):77-81.
41. Koratala A, Ronco C, Kazory A. Diagnosis of Fluid Overload: From Conventional to Contemporary Concepts. *Cardiorenal Med*. 2022;12(4):141-54.
42. Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest*. 2018;153(4):1040-51.
43. Molina Peña ME, Sánchez CM, Rodríguez-Triviño CY. Physiopathological mechanisms of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation. *Rev Esp Anestesiología y Reanimación (Engl Ed)*. 2020;67(4):195-203.
44. Schepens T, Fard S, Goligher EC. Assessing Diaphragmatic Function. *Respir Care*. 2020;65(6):807-19.
45. Kim WY, Lim CM. Ventilator-Induced Diaphragmatic Dysfunction: Diagnosis and Role of Pharmacological Agents. *Respir Care*. 2017;62(11):1485-91.
46. Peñuelas O, Keough E, López-Rodríguez L, Carriedo D, Gonçalves G, Barreiro E, et al. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: translational mechanisms lead to therapeutical alternatives in the critically ill. *Intensive Care Med Exp*. 2019;7(Suppl 1):48.
47. Vignon P. Cardiopulmonary interactions during ventilator weaning. *Front Physiol*. 2023;14:1275100.



48. Routsis C, Stanopoulos I, Kokkoris S, Sideris A, Zakynthinos S. Weaning failure of cardiovascular origin: how to suspect, detect and treat-a review of the literature. *Ann Intensive Care*. 2019;9(1):6.
49. Vignon P. Cardiovascular failure and weaning. *Ann Transl Med*. 2018;6(18):354.
50. Teboul JL. Weaning-induced cardiac dysfunction: where are we today? *Intensive Care Med*. 2014;40(8):1069-79.
51. Sosa-Medellín MA, Marín-Romero MC. Failed extubation in an intensive care unit of Mexico City. *Medicina Interna de Mexico*. 2017;33:459-65.
52. Sánchez Bone KJ, & Ortiz Díaz. Factores de Riesgo Asociados al Fracaso en el Destete Ventilatorio en Pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos. *Revista Científica Hallazgos* 21. 2022;7(2):123-32.
53. Moriondo A, Marcozzi C, Bianchin F, Reguzzoni M, Severgnini P, Protasoni M, et al. Impact of mechanical ventilation and fluid load on pulmonary glycosaminoglycans. *Respir Physiol Neurobiol*. 2012;181(3):308-20.
54. Rodríguez-Montoya R S-OV, Cabrejo-Paredes J, et al. Variables asociadas a costos en cuidados intensivos. *Med Crit*. 2015;29(3):138-44.
55. Gobernación Sd. ACUERDO ACDO.AS3.HCT.281123/311.P.DF dictado por el H. Consejo Técnico, en sesión ordinaria del 28 de noviembre de 2023, relativo a la aprobación de los Costos Unitarios por Nivel de Atención Médica actualizados al año 2024 y sus anexos 1 y 2. In: Gobernación Sd, editor. 2024.
56. Covidien. Manual de Usuario Puritan Bennet respirador serie 980. 2019.
57. Electric G. LOGIC e Quick Guide. 2008.
58. Upadya A, Tilluckdharry L, Muralidharan V, Amoateng-Adjepong Y, Manthous CA. Fluid balance and weaning outcomes. *Intensive Care Med*. 2005;31(12):1643-7.
59. Epstein CD, Peerless JR. Weaning readiness and fluid balance in older critically ill surgical patients. *Am J Crit Care*. 2006;15(1):54-64.
60. Fernandez R, Raurich JM, Mut T, Blanco J, Santos A, Villagra A. Extubation failure: diagnostic value of occlusion pressure (P0.1) and P0.1-derived parameters. *Intensive Care Med*. 2004;30(2):234-40.
61. Yáñez J. Correlación de la función diafragmática medida por ultrasonido en comparación con la fuerza inspiratoria negativa, como predictores de destete ventilatorio en pacientes críticamente enfermos. *Medicina Crítica*. 2023;37:686-90.



16. Anexos

16.1 Carta de consentimiento informado

Influencia del balance de fluidos en las determinaciones de NIF, P0.1 y excursión diafragmática y su importancia en el fracaso del proceso de extubación en pacientes de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital General “Dr. Salvador Zubirán Anchondo”.

La presente investigación busca definir la relevancia clínica del balance total de fluidos en la predicción del fracaso del proceso de extubación mediante la exploración de su influencia sobre las mediciones de NIF, P0.1 y excursión diafragmática y su valor como predictor independiente en pacientes críticos mecánicamente ventilados que están listos para su extubación. Para ello, se realizará la medición inmediatamente antes de realizar la extubación y se vigilará al paciente durante 48 horas, para una vez finalizada la recolección de datos, comparar el comportamiento de todos los parámetros considerados en relación al éxito o fracaso del proceso. Se espera que el balance total de líquidos afecte la determinación de NIF, P0.1 y excursión diafragmática de forma directa y que funcione como predictor independiente de fracaso del proceso de extubación.

He sido solicitado de mi autorización para que el familiar del que soy responsable legal sea parte de esta investigación, proporcionando los datos obtenidos de las evaluaciones obtenidas previas al proceso de extubación. Me han informado que la investigación no representa un riesgo para el pronóstico a corto o largo plazo de mi familiar, dado que nunca incluye la manipulación del tratamiento o vigilancia, y solamente comprende el análisis de los datos propios de la situación previa de mi familiar a la extubación. También se me ha informado que esta investigación no representa algún costo en la atención de mi familiar.

El autor me proporcionó una explicación clara y pude leer la información sobre la investigación, además de tiempo para expresar mis dudas y cada una fue resuelta con una explicación clara y en lenguaje comprensible. También se me explicó que puedo retractarme en cualquier momento y en cualquier etapa de la investigación y que tal acción nunca significará la renuncia a algún derecho como paciente de la Institución y que la evidencia física de mi participación en la investigación será inmediatamente destruida.

Nombre del participante:

Nombre del testigo:

Nombre del responsable legal:

Firma del testigo:

Firma del responsable legal:

Fecha:



16.2 Carta de aceptación de protocolo de investigación



SECRETARÍA
DE SALUD

MediChihuahua

HOSPITAL GENERAL "DR. SALVADOR ZUBIRÁN ANCHONDO"

DIRECCIÓN

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

CONBIOÉTICA-08-CEI-001-20170517

Chihuahua, Chih. 10 DIC 2024
Oficio No. CEI-AP-0040-2024

DICTAMEN

DR. JULIO CESAR CORRAL GONZALEZ
MÉDICO RESIDENTE DE LA ESPECIALIDAD DE
MEDICINA DEL ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO
P R E S E N T E .

En atención a su presentación ante este Comité de Ética en Investigación el día Martes 10 DE DICIEMBRE DEL 2024, para someter a consideración su Protocolo de Investigación:

**INFLUENCIA DEL BALANCE DE FLUIDOS EN LAS DETERMINACIONES DE NIF, PO1 Y EXCURSIÓN
DIAFRAGMÁTICA Y SU IMPORTANCIA EN EL FRACASO DEL PROCESO DE EXTUBACIÓN EN
PACIENTES DE LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS DEL HOSPITAL GENERAL "DR. SALVADOR
ZUBIRÁN ANCHONDO"**

Los integrantes del Comité evaluaron la calidad metodológica y los aspectos éticos de la investigación, determinando en consenso, lo siguiente:

| | | |
|---|--------------------------------|--|
| ✓ | APROBADO | Cumple con los requisitos establecidos y se determina procedente su realización, con una vigencia de 1 año a partir de la presente fecha. |
| | PENDIENTE DE APROBACIÓN | Requiere modificaciones mayores y deberá ser evaluado por el Comité en pleno cuando se realicen dichas modificaciones, en un plazo que no exceda los 30 días naturales a partir de del día de hoy. |
| | NO APROBADO | Protocolo rechazado por razones éticas que ameritan una reestructuración mayor y el inicio de todo el procedimiento, como un nuevo protocolo. |

De ser **APROBADO** se registra en el libro *Registro de Protocolos de Investigación, Tomo IV del Hospital General "Dr. Salvador Zubirán Anchondo"* con el Folio No. 0380 al cual tendrá una vigencia de 1 (uno) año, y se le solicita entregar a este Comité el formato de *Informe de Seguimiento de Protocolos Aprobados* en los siguientes meses: **DICIEMBRE 2024, MARZO 2025 y JULIO 2025**

Por último, se le informa que deberá presentar sus resultados al finalizar su investigación, y se invita a realizar la publicación, de no hacerlo en un plazo máximo de 6 (seis) meses, el Comité tendrá la facultad de realizar dicha publicación. Se anexa formato de *Evaluación de Protocolos de Investigación*, donde se detallan las observaciones y/o recomendaciones de los integrantes del Comité.

A T E N T A M E N T E

"SUFRAGIO EFECTIVO: NO REELECCIÓN"

VOCAL SECRETARIO DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

DR. RUBÉN CUEVAS MARTÍNEZ

En ausencia de DR. CARLOS ROBERTO CERVANTES SÁNCHEZ presidente del Comité de Ética en Investigación, supliendo los deberes del correcto funcionamiento del CEI establecidas por CONBIOÉTICA, lo estipulado en el Oficio No. CEI-O-0056-2024 firmando en ausencia el Vocal Secretario.

Ave. Cristóbal Colón No. 510,
Col. Barrio El Bajo, Chihuahua, Chih.
Teléfono (614) 429-3300 Ext.17421

www.chihuahua.gob.mx/secretariadesalud

"2025, Año del Bicentenario de la Primera Constitución del Estado de Chihuahua"