



**CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO  
CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFÍA  
DEL DIAFRAGMA PARA PREDECIR DESTETE EXITOSO  
DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN PACIENTES EN  
ESTADO CRÍTICO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR**

**Roel Cano Tuxpan**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL  
ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO**

**ASESOR (ES)**

**Dr. Edmundo Israel Roque Márquez  
Dr. Roberto Alejandro Castillo González  
Dr. Jose Salvador Martínez Cano  
Dr. Jeshua Andre Muñeton Arellano  
Dra. Erika Loera Rojero  
Dr. Eliseo Varela Martínez**

**Aguascalientes, Ags., febrero 2020**

## COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACION CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

CEI/76/19

Aguascalientes, Ags., a 19 de Septiembre de 2019.

**DR. ROEL CANO TUXPAN**  
**INVESTIGADOR PRINCIPAL**

En cumplimiento con las Buenas Prácticas Clínicas y la Legislación Mexicana vigente en materia de investigación clínica, el Comité de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, en su Sesión del 18 de Julio de 2019, con número de registro **2019-R-37**, revisó y decidió Aprobar el proyecto de investigación para llevar a cabo en este Hospital, titulado:

**“DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFIA DEL DIAFRAGMA PARA  
PREDECIR DESTETE EXITOSO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN PACIENTES EN ESTADO  
CRÍTICO”**

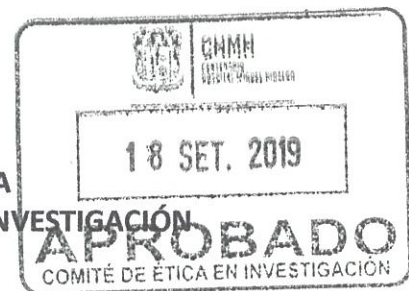
Se solicita a los investigadores reportar avances y en su caso los resultados obtenidos al finalizar la investigación. En caso de existir modificaciones al proyecto es necesario que sean reportadas al Comité.

Sin otro particular, le envió un cordial saludo.

ATENTAMENTE



**DR. JOSE MANUEL ARREOLA GUERRA**  
**SECRETARIO TÉCNICO DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN**



C.c.p.- DRA. MARIA DE LA LUZ TORRES SOTO.- JEFA DEL DEPTO. DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN.

JMAG/cmva\*

Av. Gómez Morín s/n, Col. La Estación la Alameda C.P. 20259  
Aguascalientes, Ags.

T. 449 994 67 20  
www.chmh.gob.mx

## COMITÉ DE INVESTIGACION CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

CI/66/19

Aguascalientes, Ags., a 18 de Septiembre de 2019.

**DR. ROEL CANO TUXPAN**  
**INVESTIGADOR PRINCIPAL**

En cumplimiento con las Buenas Prácticas Clínicas y la Legislación Mexicana vigente en materia de investigación clínica, el Comité de Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, en su Sesión del 18 de Julio de 2019, con número de registro **2019-R-37**, revisó y decidió Aprobar el proyecto de investigación para llevar a cabo en este Hospital, titulado:

**“DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFIA DEL DIAFRAGMA PARA  
PREDECIR DESTETE EXITOSO DE LA VENTILACIÓN MECÁNICA EN PACIENTES EN ESTADO  
CRÍTICO”**

Se solicita a los investigadores reportar avances y en su caso los resultados obtenidos al finalizar la investigación. En caso de existir modificaciones al proyecto es necesario que sean reportadas al Comité.

Sin otro particular, le envió un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**



**DR. JOSE MANUEL ARREOLA GUERRA**  
**PRESIDENTE DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN**



C.c.p.- DRA. MARIA DE LA LUZ TORRES SOTO.- JEFA DEL DEPTO. DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN.  
JMAG/cmva\*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

**ROEL CANO TUXPAN**  
**ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL ENFERMO EN ESTADO CRÍTICO**  
**P R E S E N T E**

Por medio de la presente se le informa que en cumplimiento de lo establecido en el Reglamento General de Docencia en el Capítulo XVI y una vez que su trabajo de tesis titulado:

**“DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFÍA DEL DIAFRAGMA PARA PREDECIR DESTETE EXITOSO DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN PACIENTES EN ESTADO CRÍTICO”**

Ha sido revisado y aprobado por su tutor y consejo académico, se autoriza continuar con los trámites de titulación para obtener el grado de:  
**Especialista en Medicina del Enfermo en Estado Crítico**

Sin otro particular por el momento me despido enviando a usted un cordial saludo.

**A T E N T A M E N T E**  
**“SE LUMEN PROFERRE”**  
Aguascalientes, Ags., a 7 de Enero de 2020.

**DR. JORGE PRIETO MACÍAS**  
**DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD**

26 de Noviembre de 2019

**DRA. MARIA DE LA LUZ TORRES SOTO**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN**  
**CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO**

**P R E S E N T E**

Estimada Dra. Torres :

En respuesta a la petición hecha al médico residente ROEL CANO TUXPAN, en relación a presentar una carta de aceptación de su trabajo de tesis titulado:

**“DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFÍA DEL DIAFRAGMA  
PARA PREDECIR DESTETE EXITOSO DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN  
PACIENTES EN ESTADO CRÍTICO”**

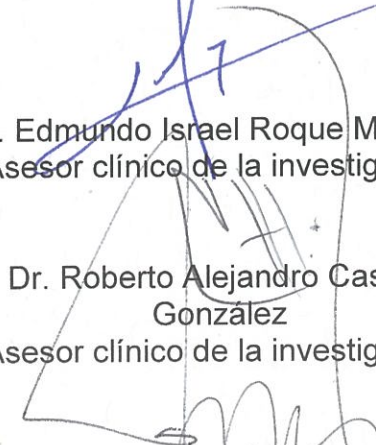
Me permito informarle que una vez leído y corregido el documento, considero que llena los requisitos para ser aceptado e impreso como trabajo final.

Sin más por el momento aprovecho la oportunidad para hacerle llegar un cordial saludo.

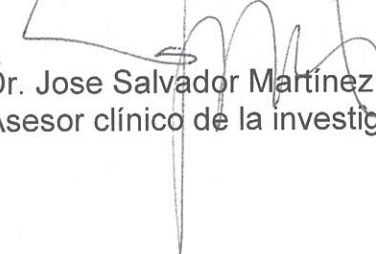
**ATENTAMENTE**




Dr. Edmundo Israel Roque Márquez  
Asesor clínico de la investigación



Dr. Roberto Alejandro Castillo  
González  
Asesor clínico de la investigación



Dr. Jose Salvador Martínez Cano  
Asesor clínico de la investigación



Dr. Jesuha André Muñeton Arellano  
Asesor clínico de la investigación

Dra. Erika Loera Rojero  
Asesor clínico de la investigación



Dr. Eliseo Varela Martínez  
Asesor clínico de la investigación



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES



CHMH

CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

**CARTA DE IMPRESIÓN**




CHMH  
CENTENARIO  
HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

DEPARTAMENTO DE  
ENSEÑANZA E  
INVESTIGACIÓN

  
**DRA. MARIA DE LA LUZ TORRES SOTO**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN**

**DR. ROBERTO ALEJANDRO CASTILLO GONZÁLEZ**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE TERAPIA INTENSIVA**  
**ASESOR DE TESIS**

  
**DR. EDMUNDO ISRAEL ROQUE MÁRQUEZ**  
**PROFESOR TITULAR DEL POSGRADO DE MEDICINA DEL ENFERMO EN**  
**ESTADO CRÍTICO**  
**ASESOR DE TESIS**

  
**DR. JOSE SALVADOR MARTÍNEZ CANO**  
**MÉDICO ADSCRITO DE TERAPIA INTENSIVA**  
**ASESOR DE TESIS**

**CARTA DE IMPRESIÓN**



**DR. JESUHA ANDRE MUNETON ARELLANO  
MÉDICO ADSCRITO DE TERAPIA INTENSIVA  
ASESOR DE TESIS**



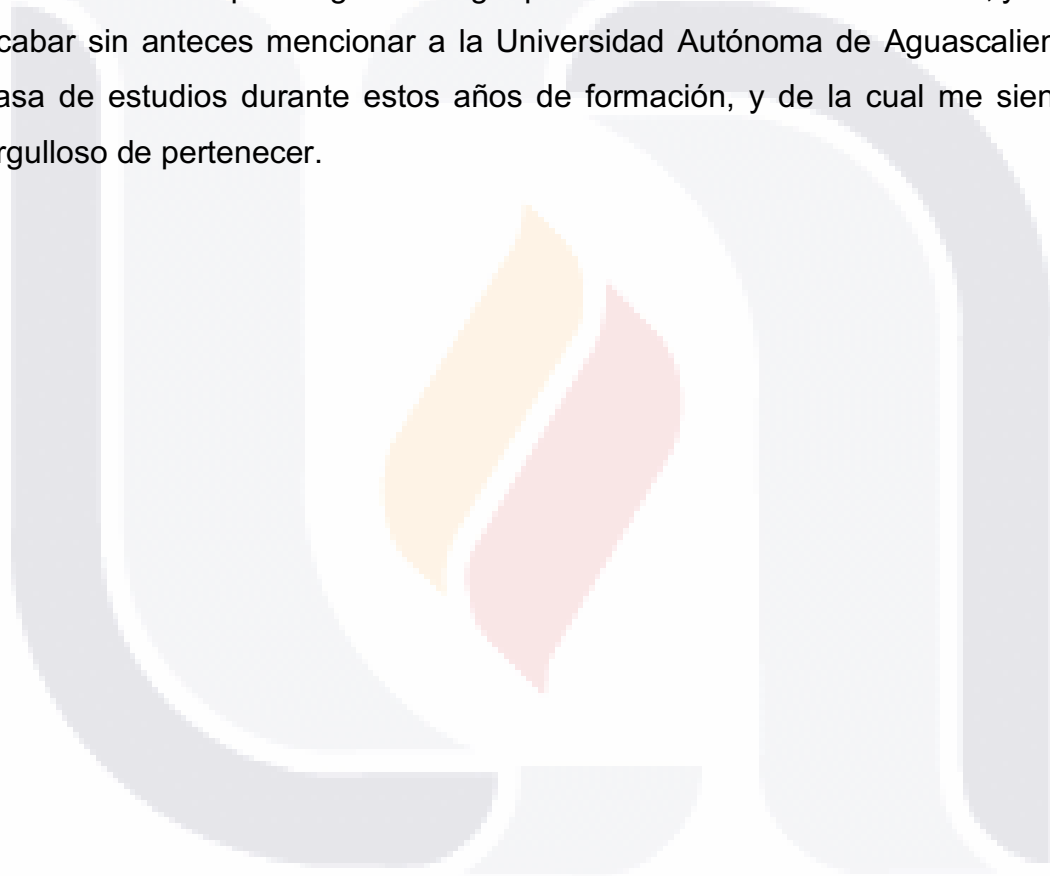
**DRA. ERIKA LOERA ROJERO  
MÉDICO ADSCRITO DE TERAPIA INTENSIVA  
ASESOR DE TESIS**



**DR. ELISEO VARELA MARTÍNEZ  
MÉDICO ADSCRITO DE TERAPIA INTENSIVA  
ASESOR DE TESIS**

## AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que contribuyeron en la realización de este trabajo. Sin embargo agradezco para toda la vida a cada uno de mis maestros que forman parte del gran equipo de médicos de la unidad de terapia intensiva del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, no olvido al personal de enfermería, áreas administrativas como enseñanza que siempre esta al pendiente de nosotros, servicios generales, al Centenario Hospital Miguel Hidalgo que fue mi casa durante dos años, y no quiero acabar sin antes mencionar a la Universidad Autónoma de Aguascalientes, mi casa de estudios durante estos años de formación, y de la cual me siento muy orgulloso de pertenecer.



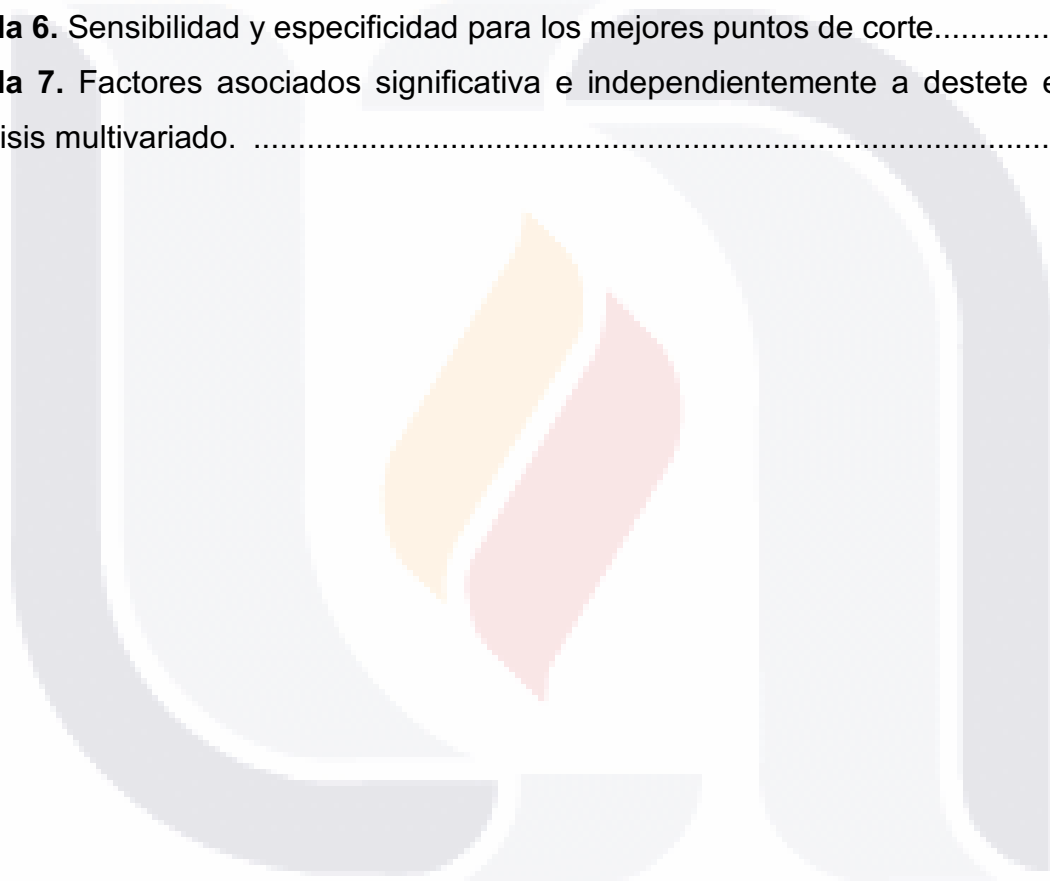


## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	2
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ABREVIATURAS, SIGLAS, Y ACRÓNIMOS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT .....	6
MARCO TEÓRICO .....	7
JUSTIFICACIÓN.....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
OBJETIVOS .....	18
HIPÓTESIS .....	19
MATERIAL Y METODOS .....	20
CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	26
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
RECURSOS, FINANCIAMIENTO Y FACTIBILIDAD .....	28
RESULTADOS .....	29
DISCUSIÓN.....	39
CONCLUSIONES .....	42
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXOS.....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Indicaciones de ventilación mecánica asistida (Kornecki) (Buforn) .....	8
<b>Tabla 2.</b> Parámetros y valores mínimos para el retiro de ventilación mecánica. ..	10
<b>Tabla 3.</b> Etiología de la falla respiratoria y tipo de patología de los pacientes. ....	31
<b>Tabla 4.</b> Parámetros estáticos y dinámicos del grosor diafragmático.....	32
<b>Tabla 5.</b> Área bajo la curva (AUC) de cada parámetro ultrasonográfico dinámico para predecir extubación exitosa.....	35
<b>Tabla 6.</b> Sensibilidad y especificidad para los mejores puntos de corte.....	36
<b>Tabla 7.</b> Factores asociados significativa e independientemente a destete en el análisis multivariado. ....	37



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Grosor del diafragma a la inspiración máxima (A), al inicio de la espiración (B) y al final de la espiración (C). .....	23
<b>Figura 2.</b> Género de los pacientes.....	29
<b>Figura 3.</b> Distribución de los pacientes por grupos edad.....	30
<b>Figura 4.</b> Clasificación de los pacientes según el estado nutricional.....	30
<b>Figura 5.</b> Distribución del grosor diafragmático a la inspiración máxima.....	32
<b>Figura 6.</b> Distribución del grosor diafragmático al final de la espiración.....	33
<b>Figura 7.</b> Distribución de la fracción de grosor diafragmático.....	33
<b>Figura 8.</b> Tasa de extubación exitosa y falla de la extubación.....	34
<b>Figura 9.</b> Curva ROC para predicción de extubación exitosa de cada parámetro ultrasonográfico de interés.....	35
<b>Figura 10.</b> Curva ROC para predicción de extubación exitosa del modelo compuesto por días de ventilación mecánica y grosor diafragmático a la inspiración máxima.....	38

## ABREVIATURAS, SIGLAS, Y ACRÓNIMOS

**AUC:** Área bajo la curva.

**FGD:** Fracción de grosor diafragmática.

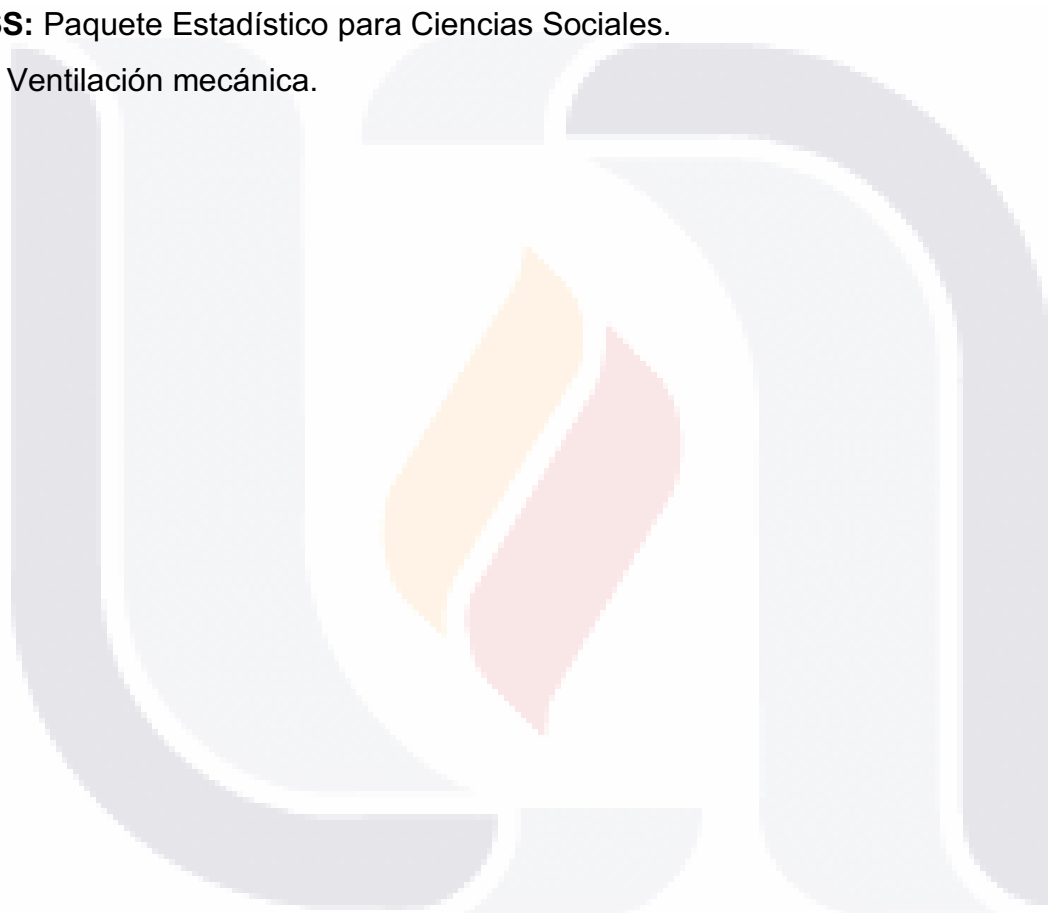
**IMC:** Índice de masa corporal.

**OR:** Odds ratio o razón de momios.

**ROC:** Curva de características del operador.

**SPSS:** Paquete Estadístico para Ciencias Sociales.

**VM:** Ventilación mecánica.



## RESUMEN

**Introducción:** El retiro de la ventilación mecánica es de gran importancia en medicina crítica. Recientemente, se ha propuesto el uso de las mediciones de grosor de diafragma como marcadores para tener un destete exitoso del ventilador.

**Objetivo:** Determinar el desempeño diagnóstico de la ultrasonografía del diafragma para predecir destete exitoso de la ventilación mecánica. **Material y métodos:** Se

realizó un estudio observacional, transversal, analítico, prospectivo, tipo prueba diagnóstica en pacientes en estado crítico mayores de 18 años, que se encuentran con ventilación mecánica en el CHMH de Aguascalientes. Por ecosonografía modo

B se determinó el grosor diafragmático al final de la espiración, grosor diafragmático a la inspiración máxima y fracción de grosor diafragmático. Se realizó

un análisis estadístico en SPSS v. 22 consistente en estadística descriptiva e inferencial se utilizaron como pruebas inferenciales la  $X^2$  y la t de muestras independientes. Se consideró significativa una  $p < 0.05$ . **Resultados:** Se incluyeron

42 pacientes. El 92.9% de los casos se extubaron exitosamente, 7.1% no se extubaron exitosamente. El grosor diafragmático promedio a la inspiración máxima

fue  $4.7 \pm 1.5$  mm, al final de espiración fue  $6.6 \pm 1.9$  y la fracción de grosor diafragmático fue  $0.3 \pm 0.1$ . La fracción de grosor diafragmático en un punto de corte

de 0.21 demostró una sensibilidad y especificidad de 97.4% y 66.7%, y en un punto de corte de 0.26 mostró una sensibilidad y especificidad de 71.8% y 100% para la

predicción de extubación exitosa. **Conclusiones:** La ultrasonografía del diafragma tiene buen desempeño para predecir destete exitoso de la ventilación mecánica.

## ABSTRACT

**Introduction:** The mechanical ventilation retreat is of great importance in critical medicine. Recently, it has been proposed to use diaphragm thickness measurements as markers to have a successful fan weaning. **Objective:** To determine the diagnostic performance of diaphragm ultrasonography to predict successful weaning of mechanical ventilation. **Material and methods:** An observational, cross-sectional, analytical, prospective, diagnostic test type study was performed in critically ill patients over 18 years of age, who are mechanically ventilated in the CHMH of Aguascalientes. By mode B sonography, the diaphragmatic thickness was determined at the end of expiration, diaphragmatic thickness at maximum inspiration and diaphragmatic thickness fraction. A statistical analysis was performed in SPSS v. 22 consisting of descriptive and inferential statistics, the X<sup>2</sup> and the t of independent samples were used as inferential tests. A  $p < 0.05$  was considered significant. **Results:** 42 patients were included. 92.9% of cases were extubated successfully, 7.1% were not extubated successfully. The average diaphragmatic thickness at maximum inspiration was  $4.7 \pm 1.5$  mm, at the end of expiration it was  $6.6 \pm 1.9$  and the fraction of diaphragmatic thickness was  $0.3 \pm 0.1$ . The diaphragmatic thickness fraction at a cut-off point of 0.21 showed a sensitivity and specificity of 97.4% and 66.7%, and at a cut-off point of 0.26 showed a sensitivity and specificity of 71.8% and 100% for the prediction of successful extubation. **Conclusions:** Diaphragm ultrasonography has a good performance to predict successful weaning of mechanical ventilation.

## INTRODUCCIÓN

### Ventilación mecánica asistida

La ventilación mecánica (VM) es un tratamiento de soporte vital, en el que utilizando una máquina que suministra un soporte ventilatorio y oxigenatorio, facilitamos el intercambio gaseoso y el trabajo respiratorio de los pacientes con insuficiencia respiratoria. El ventilador mecánico, mediante la generación de una gradiente de presión entre dos puntos (boca/vía aérea – alvéolo) produce un flujo por un determinado tiempo, lo que genera una presión que tiene que vencer las resistencias al flujo y las propiedades elásticas del sistema respiratorio obteniendo un volumen de gas que entra y luego sale del sistema. <sup>1</sup>

Existen diversas modalidades de ventilación mecánica, en las que encontramos a las convencionales y no convencionales, siendo las primeras las de mayor uso, en base a los requerimientos, condición clínica y comorbilidades del paciente, éstas son: <sup>2</sup>

1. Ventilación controlada por volumen. Todos los ventiladores ofrecen este modo de VM. El ventilador asegura la entrega al paciente de un volumen determinado que es elegido por el operador. La mayoría de variables ventilatorias (presión en vía aérea, flujo) dependerán del volumen prefijado. Se ajusta el volumen para evitar atelectasias y en correlación al ETCO<sub>2</sub> se ajusta la frecuencia respiratoria.
2. Ventilación controlada por presión. En esta modalidad el operador selecciona el valor de presión que será aplicada al sistema respiratorio. Habitualmente 13 a 20 cm de H<sub>2</sub>O. El volumen corriente resultante estará en relación a las propiedades elásticas del sistema respiratorio. Este modo de VM es el preferido cuando debe tenerse precaución de una elevación súbita o sostenida de la presión en la vía aérea.

**Indicaciones para ventilación mecánica asistida en pacientes graves**

El inicio de la VM depende de los objetivos clínicos que se desee cumplir en el paciente que requiere conexión. Es importante que antes de conectar al paciente, el médico se pregunte cuál es la razón por la que lo requiere: ¿es un paciente con enfermedad pulmonar grave?, ¿la enfermedad pulmonar es obstructiva, restrictiva o mixta?, ¿el paciente tiene compromiso neurológico?, ¿el paciente tiene un TCE grave o signos de hipertensión endocraneana?, ¿el paciente está en shock séptico o shock cardiogénico?, etc.

Todas las preguntas anteriores, permiten definir cuál es la condición que determina la indicación de ventilar invasivamente al paciente. La causa más común de ventilación mecánica corresponde a la mantención del intercambio de gases en aquel paciente con falla respiratoria, ya sea por no lograr una adecuada oxigenación arterial o una adecuada ventilación alveolar. Otra indicación de ventilación mecánica es en aquellas situaciones que requieran una disminución o sustitución del trabajo respiratorio, ya sea porque el trabajo respiratorio espontáneo sea ineficaz por si mismo, porque el sistema respiratorio es incapaz de realizar su función por falla muscular o esquelética o porque se debe sustituir su trabajo en el caso de procedimientos o postoperatorios complejos. <sup>3</sup>

<p><b>Tabla 1.</b> Indicaciones de ventilación mecánica asistida (Kornecki) (Buforn) <sup>4,5</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hipoventilación alveolar</li> <li>- Falla en la oxigenación arterial</li> <li>- Cuadro obstructivo grave</li> <li>- Apnea o paro respiratorio</li> <li>- Glasgow menor a 8</li> <li>- Fatiga de músculos inspiratorios</li> <li>- Capacidad vital baja</li> </ul>
--



- Enfermedad neuromuscular
- Choque
- TEC grave
- Politrauma complicado
- Sustitución de trabajo respiratorio
- Tórax inestable
- Cirugía, procedimientos en UCI

### **Criterios para retiro de ventilación mecánica asistida**

Desde el momento en que el paciente es intubado, el clínico debe tener en mente que cuanto antes se retire al paciente de la asistencia mecánica respiratoria, mejor será su pronóstico al acortar los días de estancia en la UCI y al disminuir el porcentaje de mortalidad. No obstante, esto no siempre es posible, ya que existen pacientes en quienes el destete se torna difícil, o aquellos que una vez extubados deben ser reintubados (no por falla del retiro, sino por nuevo deterioro), aumentando así su morbimortalidad.

La mayoría de los pacientes pueden desconectarse del ventilador bajo asistencia mecánica ventilatoria en forma rápida y sencilla, entre 20 y 30% de los intentos reiterados de desconexión fracasan y en consecuencia el paciente debe permanecer dependiente del ventilador por periodos prolongados. Si se toma en cuenta que la dificultad para desconectar a un paciente aumenta la morbimortalidad, genera costos y representa un desafío para el médico, comprenderemos la importancia de contar con un protocolo de retiro de la ventilación. <sup>6</sup> La tabla 2 muestra los parámetros y valores mínimos para el retiro de ventilación mecánica.

**Tabla 2.** Parámetros y valores mínimos para el retiro de ventilación mecánica.<sup>7</sup>

Parámetros	Valores requeridos
Frecuencia respiratoria	12-30 por minuto
Volumen corriente	4 mL/kg o más
Volumen minuto	5-10 Litros
Capacidad vital	Mínimo 10-15 mL/kg
Presión negativa inspiratoria	Mínimo -20
Distensibilidad dinámica	Mínimo 25 mL/cmH2O
Cociente FR/VT	Menor de 100
Resistencia del sistema	< 5 cmH2O/L/seg
Prueba de fuga de volumen	Mínimo 15% de fuga

### Ultrasonido de diafragma en ventilación mecánica asistida

Los pacientes clínicamente graves son un grupo especial de pacientes con necesidades especiales durante la hospitalización. Muchos de ellos están sometidos a ventilación mecánica.

Mientras el paciente es asistido por el ventilador, el diafragma está relajado, lo que puede causar un trastorno específico denominado disfunción diafragmática inducida por la ventilación mecánica. La función diafragmática rara vez se estudia en el paciente de terapia intensiva al cual va a retirarse la ventilación mecánica invasiva.

Después de sólo seis horas de ventilación mecánica se presenta la disfunción diafragmática, con reducción de la síntesis de proteínas hasta en 30% y la síntesis de cadenas pesadas de miosina se reduce hasta 65%.<sup>4</sup> La disfunción diafragmática es una causa infradiagnosticada de la disnea y siempre debe considerarse en el diagnóstico diferencial de la disnea inexplicable. Varía de la pérdida parcial de la capacidad de generar presión (debilidad) a la pérdida total de la función diafragmática (parálisis). La debilidad y/o parálisis diafragmática puede implicar uno o ambos hemidiafragmas y puede observarse en el contexto de trastornos metabólicos, inflamatorios después de un trauma o cirugía, durante la ventilación mecánica y con tumores mediastínicos, miopatías, neuropatías e hiperinflación pulmonar. Muchos autores han llegado a la conclusión de que la disfunción diafragmática inducida por el ventilador puede aumentar el tiempo de retiro de ventilación y se asocia al aumento de mortalidad hospitalaria en la UCI.<sup>8,9,10</sup>

Para la evaluación de la función diafragmática se utilizan dos índices, principalmente. El primero es la excursión diafragmática, que consiste en medir por ultrasonido en modo M la movilidad del diafragma en inspiración y espiración durante un modo espontáneo de VM o durante la prueba de ventilación espontánea (PVE). El otro índice se conoce como delta de engrosamiento diafragmático, y corresponde al porcentaje de engrosamiento del diafragma, con técnica, en inspiración y espiración.<sup>11</sup>

#### *Movimientos diafragmáticos o excursión diafragmática*

El ultrasonido diafragmático se realiza con un transductor de 3.5 a 5 MHz. Éste debe ser colocado debajo del margen costal derecho o izquierdo en la línea media claviclar, o en la línea axilar anterior derecha o izquierda, y se dirige medial, cefálico y dorsal, para que la marca del transductor alcance de manera perpendicular el tercio posterior del hemidiafragma. Con el modo bidimensional (2D) se obtiene la mejor imagen de la línea de exploración; posteriormente, utilizamos el modo M para visualizar el movimiento de las estructuras anatómicas dentro de la

línea seleccionada. En el modo M, la excursión diafragmática (desplazamiento en centímetros), la velocidad de la contracción diafragmática, el tiempo inspiratorio y la duración del ciclo pueden ser medidos. En pacientes con ventilación mecánica, la evaluación de la excursión diafragmática durante una PVE nos ayuda a visualizar los esfuerzos respiratorios espontáneos del enfermo. Los valores normales de excursión diafragmática en individuos sanos se han reportado de  $1.8 \pm 0.3$  a  $2.9 \pm 0.6$  cm en hombres y de  $1.6 \pm 0.3$  a  $2.6 \pm 0.5$  en mujeres.<sup>12</sup>

#### *Delta del grosor diafragmático o fracción de espesor del diafragma (DTF)*

Este índice es otra medición que se ha validado para la evaluación de la función diafragmática. Para su abordaje se toma el transductor lineal de 10 a 15 MHz y el modo bidimensional del ultrasonido. Se coloca el transductor de la misma manera que para la medición de la excursión diafragmática y se toman medidas del grosor diafragmático en inspiración y espiración.

Los valores normales del engrosamiento diafragmático en individuos sanos varían de acuerdo a la capacidad residual funcional (CRF), con rangos normales que van de 1.8 a 3 mm, conforme el aparato respiratorio va de volumen residual (VR) en espiración a capacidad pulmonar total (CPT) en inspiración, con un  $\Delta tdi$  normal del 42 al 78% durante la contracción muscular.<sup>12,13</sup>

#### **Estudios previos**

Li et al realizaron un metanálisis en 2018 para evaluar la precisión del ultrasonido diafragmático para predecir la reintubación a las 48 horas de la extubación. Para ello realizaron una búsqueda de estudios en bases de datos como PubMed, Embase y Cochrane. Se eligieron 13 estudios con un total de 742 pacientes para el análisis final. La calidad metodológica fue analizada mediante QUADAS-2 en Review Manager 5.3. Se calculó además la sensibilidad, especificidad, cociente de probabilidad positivo, cociente de probabilidad negativo, razón de momios

diagnóstica (ORd) y la curva de características de funcionamiento del receptor de resumen. Los resultados del análisis mostraron que las sensibilidades agrupadas para el movimiento diafragmático (DE) y la fracción de espesor del diafragma (FGD) fueron de 0.786 y 0.893 respectivamente, las especificidades agrupadas fueron de 0.711 y 0.796. El área bajo la curva para DE y FGD fue de 0.859 y 0.8381. El ORd para DE y FGD fue de 10.623 y de 32.521 respectivamente. No se observaron sesgos entre los estudios analizados. Los autores concluyeron que la ultrasonografía diafragmática es una herramienta prometedora para la predicción de reintubación en las 48 horas posteriores a la extubación.<sup>14</sup>

En otro metanálisis Llamas Álvarez evaluaron la precisión del ultrasonido pulmonar y diafragmático para predecir el resultado del destete en adultos críticamente enfermos. Para ello realizaron una búsqueda en las bases de datos MEDLINE, Cochrane, web of science, Scopus, LILACS, Teseo, Tesis doctorales en Red y OpenGrey. Los estudios fueron seleccionados por 2 investigadores de manera independiente. La evaluación de calidad de los estudios se realizó con QUADAS-2. Se calculó la curva SROC, la razón de momios diagnóstica. Se incluyeron 19 estudios con un total de 1,071 pacientes. Para la FGD el área bajo la curva ROC fue de 0.87 y la razón de momios diagnóstica fue de 21 (95% IC 11-40). Para el movimiento diafragmático la sensibilidad agrupada fue de 75%, la especificidad agrupada de 75% (95% CI: 60-85) y la DOR de 10 (95% CI: 4-24). Los autores concluyeron que el ultrasonido diafragmático y pulmonar puede predecir los resultados en extubación de pacientes críticamente enfermos y sometidos a extubación.<sup>15</sup>

Qian et al realizaron una revisión sistemática para evaluar la disfunción diafragmática como predictor del resultado en extubación. Para ello realizaron una búsqueda de estudios en Cochrane, PubMed, Embase, Ovid Medline, WanFang Data y CNKI. Se incluyeron estudios donde se evaluará el USG para evaluación diafragma en pacientes con ventilación mecánica. Los estudios para la revisión fueron evaluados por 2 investigadores independientes y la calidad de los mismos

se probó mediante QUADAS-2. Se eligieron 11 estudios que incluyeron un total de 436 pacientes para su análisis final. En 8 estudios se comparó la DE, en 5 la FGD y en dos la disfunción diafragmática entre grupos con y sin destete exitosos. Los resultados mostraron que en conjunto la DE y la FGD tuvieron una sensibilidad agrupada de 0.85 (95% CI 0.77 -0.91) y una especificidad agrupada de 0.74 (95% CI 0.66 - 0.80). Hubo una alta heterogeneidad entre los estudios ( $I^2=80\%$ ;  $p=0.0006$ ). La tasa de fallo en el destete estuvo significativamente incrementada en pacientes con disfunción diafragmática (OR 8.82; 95% CI 3.51 a 22.13;  $p<0.00001$ ).<sup>16</sup>

Tenza Lozano et al realizaron un estudio para evaluar la rentabilidad y precisión de las técnicas para predecir el éxito del destete de ventilación médica asistida. Los autores condujeron 2 estudios: un transversal interobservador entre 2 especialistas en ultrasonografía y un estudio prospectivo de cohorte para evaluar la precisión de el ultrasonido diafragmático para predecir los resultados de la extubación. El estudio incluyó a 69 pacientes consecutivos que estaban listos para destete. Se observó con concordancia interobservador con el coeficiente kappa para el LUSm (modified lung ultrasound score) y el coeficiente de correlación intraclases. Los resultados mostraron que hubo una buena concordancia entre ambos LUSm (kappa ponderado de 0.95). El LUSm mostró un poder de discriminación bueno a moderado. El área bajo la curva ROC para destete exitoso fue de 0.80, la sensibilidad y especificidad fueron de 0.76 y 0.73 respectivamente. El área bajo la curva para extubación exitosa tuvo una sensibilidad y especificidad óptima de 0.76 y 0.47 respectivamente. El FGD tuvo una mejor sensibilidad pero menor especificidad para el destete exitoso (AUC 0.76, sensibilidad y especificidad óptimas de 0.93 y 0.58 respectivamente.). Los autores concluyeron que la concordancia interobservador fue excelente con el LUSm y moderada a buena con el FGD. Los valores bajos de FGD y los altos de LUSm indican un alto riesgo de fallo en el destete.<sup>17</sup>

Tanaka Montoya et al realizaron un estudio para evaluar la fracción de grosor diafragmático (FGD) por ultrasonido en pacientes de terapia intensiva y se comparó

con índice de ventilación rápida superficial (VRS) en pacientes con ventilación mecánica en la UCI. 65 pacientes con ventilación mecánica invasiva fueron reclutados prospectivamente en el Departamento de Medicina Crítica del Centro Médico ABC en un periodo de nueve meses, de agosto de 2015 a abril de 2016. La FGD se midió en la zona de aposición del diafragma al tórax en ambos hemitórax, utilizando un transductor de ultrasonido 4 MHz y el médico radiólogo realizó el procedimiento en todos los pacientes sin conocimiento de patologías. Los pacientes reclutados fueron sometidos a una prueba de respiración espontánea (PRE) cuando se reunieron los siguientes criterios:  $FiO_2 < 50\%$ , la  $PEEP \leq 5$  cm de  $H_2O$ ,  $PaO_2/FiO_2 > 200$ , frecuencia respiratoria  $< 30$  por minuto, ausencia de fiebre, neurológicamente alerta y sin el apoyo hemodinámico de vasopresores. Se calculó el porcentaje de cambio en FGD, siendo el final de la inspiración y el final de la espiración entre el final de la espiración en pacientes con ventilación mecánica invasiva en modalidad de ventilación presión soporte con progresión ventilatoria con fines de extubación. El éxito en la extubación se definió como respiración espontánea  $> 48$  horas sin soporte ventilatorio después del retiro de tubo endotraqueal. De los 65 pacientes reclutados, 23 (35.4%) fueron mujeres y 42 (64.6%) hombres, índice de masa corporal (IMC), de 25.83 (DE  $\pm$  4.19) todos fueron extubados en modalidad de ventilación presión soporte. La frecuencia de falla en la extubación fue de 21.5% y la mortalidad de 24.6%. Las variables asociadas a fracaso fueron valores de corte de FGD derecho 25.9%, FGD 23.1% izquierdo. . Las variables obtenidas a partir de las mediciones USG fueron las siguientes: grosor diafragmático derecho al final de la espiración (RTEEx)  $0.28 \pm 0.05$  cm, grosor diafragmático derecho al final de la inspiración (RTEI)  $0.21 \pm 0.05$  cm, índice de grosor diafragmático derecho (RDTi)  $0.76 \pm 0.11$  cm, índice de fracción diafragmática derecha (RDFi)  $23.1 \pm 10.7\%$ . El valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo fueron de 92 y 64%, respectivamente. El área bajo la curva ROC fue de 0.79 para FGD. <sup>18</sup>

## JUSTIFICACIÓN

**Magnitud e Impacto:** Se estima que entre el 20 y 30% de los pacientes que son desconectados a ventilación mecánica fracasan y en consecuencia a esto, el paciente debe permanecer dependiente del ventilador por tiempos muy prolongados. Como consecuencia, se incrementa la morbimortalidad de los pacientes, la estancia hospitalaria y los costos. De aquí la importancia de conocer y contar con indicadores de extubación exitosa.<sup>19</sup>

**Trascendencia:** La realización del presente estudio permitirá determinar la efectividad de la ultrasonografía del músculo diafragma para el retiro de la ventilación mecánica en pacientes en estado crítico. Entre los indicadores potencialmente útiles se encuentran parámetros estáticos y dinámicos de grosor diafragmático, que en combinación con parámetros clínicos podría ayudar a predecir en qué pacientes es altamente probable el éxito de extubación. De resultar útil, la ultrasonografía podría servir junto a parámetros clínicos como prueba de rutina para determinar el momento apropiado para la extubación de pacientes en estado crítico.

**Factibilidad:** Será factible llevar a cabo el presente proyecto porque, no se requieren de recursos adicionales a los ya destinados a la atención de los pacientes, sólo se requerirá del uso de USG modo B para realizar las mediciones correspondientes, así como registrar los parámetros clínicos requeridos de los pacientes. Además, se podrá llevar a cabo porque se tiene la capacidad técnica para realizarlo y el acceso a pacientes en volumen suficiente.

**Vulnerabilidad:** El presente estudio es posible de realizar porque basta con obtener información clínica y una ultrasonografía del diafragma y posteriormente analizarla para responder a la pregunta de investigación y los objetivos del proyecto.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un destete exitoso es fundamental para evitar complicaciones, morbimortalidad, reducir la estancia hospitalaria y los costos de atención. Por ello, es fundamental contar con criterios y herramientas que permitan identificar a los pacientes con mayores posibilidades de éxito de destete o a aquellos en quienes el fracaso es inminente para no someter al paciente a un procedimiento innecesario y contraproducente.<sup>20,21</sup>

Una estrategia que recientemente ha ganado popularidad para determinar el momento ideal de retiro de ventilación mecánica, es la medición de parámetros diafragmáticos tanto estáticos como dinámicos, incluidos, el grosor diafragmático, grosor diafragmático al final de la espiración, grosor diafragmático a la inspiración máxima, cambio de grosor diafragmático y fracción de grosor diafragmático (FGD).<sup>12</sup>

Algunos estudios previos, han encontrado que parámetros como el movimiento diafragmático (DE) y la fracción de grosor del diafragma (FGD) son parámetros útiles para predecir reintubación a las 48 horas post-extubación, el resultado del destete o el fracaso de destete, pero otros estudios no<sup>14-18</sup>. Además, los valores de área bajo la curva, sensibilidad, especificidad y valores predictivos, han sido distintos en los diversos estudios evaluados.

Por lo anterior, y dado que las características clínicas de los pacientes incluidos en los diferentes estudios, es importante que, se realicen modelos predictivos en cada unidad y validar la utilidad de reportes previos, en especial porque las mediciones diafragmáticas son operador-dependiente. Con base en lo anterior, en el presente estudio se plantea la siguiente:

### PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Tiene la ultrasonografía del diafragma buen desempeño diagnóstico para predecir destete exitoso de la ventilación mecánica en pacientes en estado crítico?

## OBJETIVOS

### General

Determinar el desempeño diagnóstico de la ultrasonografía del diafragma para predecir destete exitoso de la ventilación mecánica en pacientes en estado crítico.

### Específicos

1. Describir las características demográficas, IMC, etiología de la falla respiratoria y el tipo de patología del paciente.
2. Medir parámetros dinámicos de grosor diafragmático.
3. Determinar la tasa de extubación exitosa y falla de extubación.
4. Determinar el desempeño diagnóstico (por curvas ROC, sensibilidad y especificidad) de cada parámetro ultrasonográfico en lo individual para predecir destete exitoso.
5. Determinar el desempeño diagnóstico de un modelo multivariado compuesto por características clínicas y los parámetros ultrasonográficos obtenido por regresión logística binaria para predecir destete exitoso.

## HIPÓTESIS

La ultrasonografía es útil para predecir extubación exitosa, con una área bajo la curva mínima de 0.7, sensibilidad y especificidad mínima de 70% para la fracción de grosor del diafragma por análisis bivariado. Mientras que con un modelo multivariado la predicción esperamos sea mejor con un área bajo la curva superior a 0.8 y sensibilidad y especificidad mínima de 80%.



## MATERIAL Y METODOS

### Diseño de la investigación

Se realizó un observacional, transversal, analítico, prospectivo, tipo prueba diagnóstica.

### Universo de estudio

Pacientes mayores de 18 años en estado crítico, de ambos géneros, que se encuentran bajo ventilación mecánica en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo de Aguascalientes.

### Periodo del estudio

Abril a agosto de 2019.

### Tamaño de la muestra

Se realizó un muestreo no probabilístico de casos consecutivos.

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la fórmula para poblaciones infinitas, considerando un intervalo de confianza de 95%, con una incidencia de destete de ventilación mecánica fallida de 10%, de acuerdo con reportes previos, con un margen de error de 5%. La fórmula se presenta a continuación:

$$n = \frac{Z_{a/2}^2 (p \cdot q)}{d^2}$$

donde,

$Z_{a/2}$  = Puntuación Z de una distribución normal a  $a/2 = 1.96$

$p = 10\%$ , incidencia de destete fallido

$q = 100 - p = 90\%$

$d$  = margen de error = 5%

**n=138 participantes**

## **Criterios de selección**

### *Criterios de inclusión*

- Pacientes mayores de 18 años.
- De ambos géneros
- Que se encontraban bajo ventilación mecánica en la unidad de terapia intensiva del CHMH.
- Cuyo familiar acepto la participación en el estudio mediante la firma de carta de consentimiento informado.

### *Criterios de no inclusión*

- Pacientes con enfermedades de la placa neuromuscular.
- Pacientes con lesión de médula espinal por encima de T8, arritmias, inestabilidad hemodinámica, embarazadas, con neumotórax, neumomediastino, toracostomía, lesiones o derrame pleural.
- Pacientes con traqueotomía.

### *Criterios de eliminación*

- Pacientes cuyo familiar dese retiró su participación.
- Pacientes con información incompleta al final del estudio.

## **Descripción del estudio**

Tras la autorización del protocolo, se invitó a participar a los familiares directos del paciente que se encontraba en terapia intensiva en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo de Aguascalientes, y a los que aceptaron se les solicitó firmar la carta de consentimiento informado.

Se registró la siguiente información de los pacientes: Edad, sexo, IMC, etiología de la falla respiratoria, tipo de patología (médica o quirúrgica), destete exitoso, falla de destete y mortalidad.

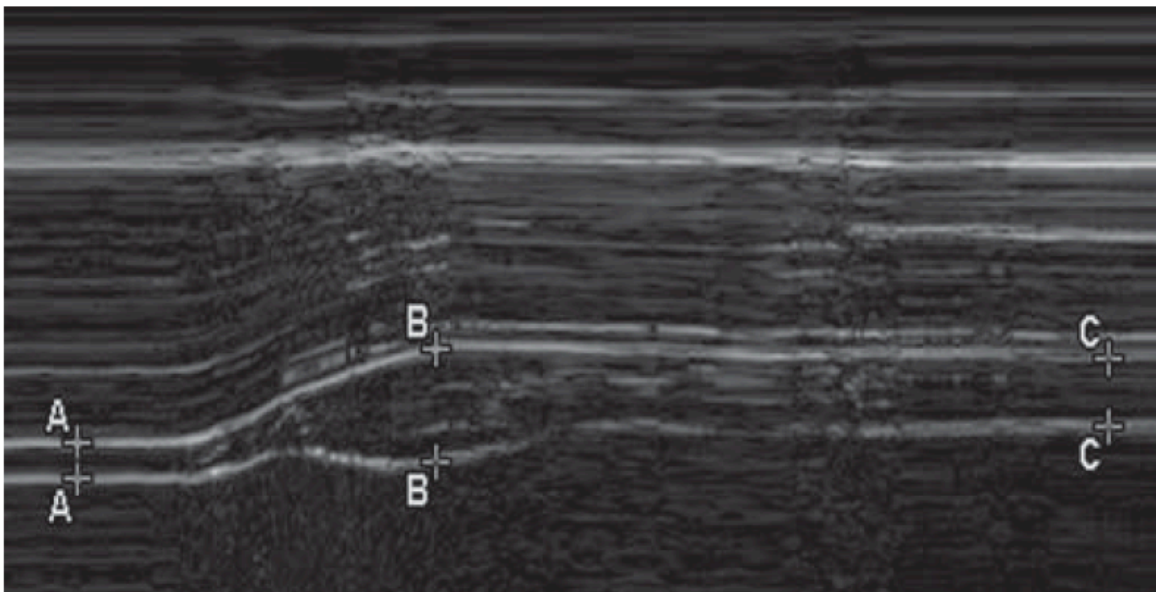
Por ecosonografía modo B y M se determinará el grosor diafragmático, grosor diafragmático al final de la espiración, grosor diafragmático a la inspiración máxima, cambio de grosor diafragmático y fracción de grosor diafragmático (FGD).

Tras la captura de los datos, se realizó un análisis estadístico en SPSS v. 21 y se presentaron los resultados en forma de tesis.

### **Mediciones ecosonográficas**

Tres médicos residentes de segundo año de Terapia Intensiva, con adiestramiento en USG en pacientes en estado crítico y ultrasonido de diafragma, según las recomendaciones internacionales, realizaron las mediciones ultrasonográficas. Se utilizó una sonda lineal de 3–5 MHz en modo B (Micromax® Sonosite) siguiendo la técnica descrita en otros estudios<sup>23,24</sup>. El hemidiafragma derecho se visualizó en la zona de aposición, a nivel de la línea media axilar entre los espacios intercostales 8 y 10, con el paciente en posición semi-decúbito (20°-40°). El diafragma se identificó en modo M como una estructura hipoecoica entre dos líneas ecoicas (la pleura diafragmática y la membrana peritoneal). Los ecografistas capturaron tres imágenes en modo M durante la respiración espontánea del paciente, midiendo el grosor del diafragma a la inspiración máxima, al inicio de la espiración y al final de la espiración (Figura 1).

La fracción de grosor diafragmático (FGD) se calculó así:  $(\text{grosor del diafragma a la inspiración máxima} - \text{grosor del diafragma al final de la espiración}) / \text{grosor del diafragma a la inspiración máxima}$ . El valor normal es de 2.6<sup>12</sup>.



**Figura 1.** Grosor del diafragma a la inspiración máxima (A), al inicio de la espiración (B) y al final de la espiración (C).<sup>18</sup>

**Definición y operacionalización de las variables de estudio**

A continuación, se definen y operacionalizan las variables de estudio.

Variable	Definición	Categoría	Tipo de Variable	A. Estadístico
<b>Edad</b>	Tiempo en años que ha transcurrido desde el nacimiento.	Años	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Género</b>	Diferencia física y constitutiva del hombre y la mujer.	Masculino Femenino	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes
<b>IMC</b>	Índice de Masa Corporal	Número	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Etología de la falla respiratoria</b>	Causa o enfermedad responsable de la falla respiratoria.	Neumonía Insuficiencia cardiaca Arritmia	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes

		EPOC Otra		
<b>Tipo de patología</b>	Clase de patología, que dio origen al ingreso a la UTI (médica o quirúrgica).	Médica Quirúrgica	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes
<b>Grosor diafragmático a la inspiración máxima</b>	Grosor del diafragma medido por USG modo B cuando el paciente	mm	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Grosor diafragmático al final de espiración</b>	Es el grosor del diafragma	mm	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Fracción de grosor diafragmático (FGD)</b>	También se denomina cambio del espesor durante la inspiración y se determinar así: (grosor del diafragma inspiratorio máximo- grosor del diafragma espiratorio final) / grosor del diafragma inspiratorio máximo	mm	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Éxito de destete</b>	Destete sin complicaciones ni requerimiento de reintubación en las siguientes 24 horas.	Si No	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes



<b>Falla de destete</b>	Destete que requirió reintubación en las siguientes 24 horas.	Si No	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes
<b>Días de ventilación mecánica</b>	Total de días que el paciente requiera uso de ventilación mecánica	Días	Cuantitativa discreta	Media, desviación estándar
<b>Uso de relajante muscular</b>	Requerimiento de uso de relajante muscular	Si No	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes
<b>Mortalidad</b>	Pérdida de funciones vitales del paciente posterior al destete.	Si No	Cualitativa nominal	Frecuencias, porcentajes



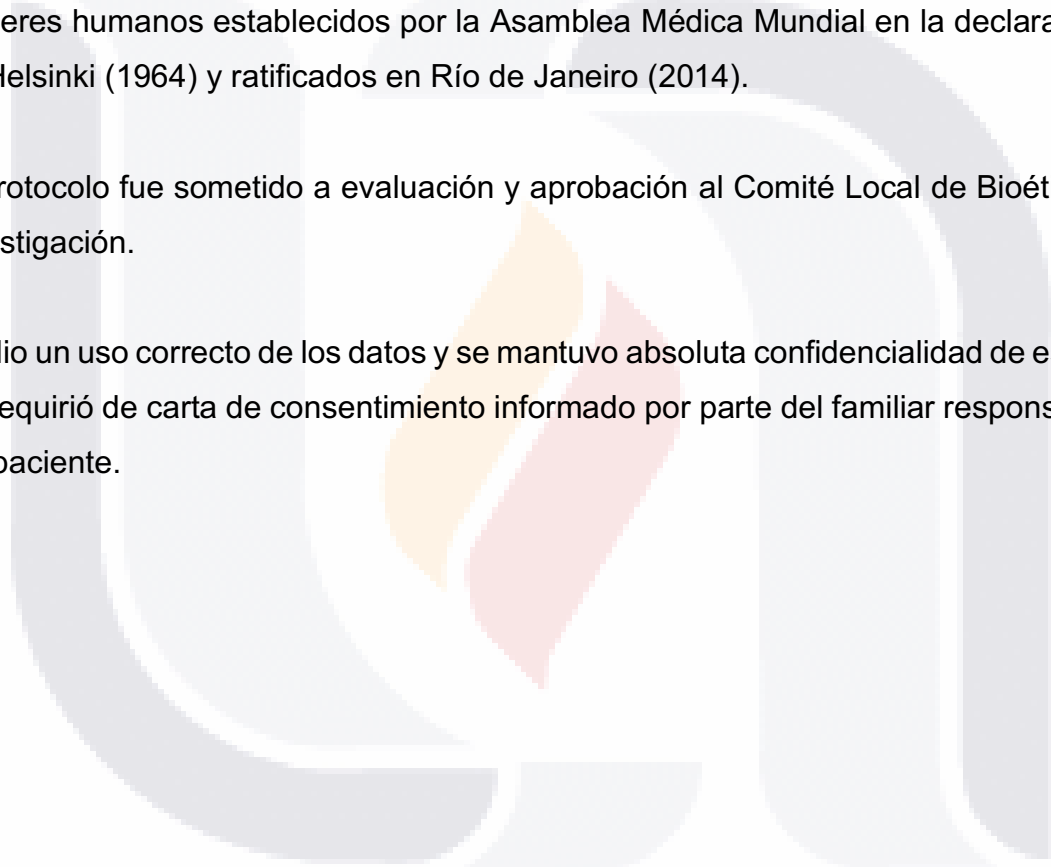
## CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este trabajo de investigación se llevó a cabo de acuerdo con el marco jurídico de la Ley General en Salud que clasifica la investigación como **sin riesgo**, dado que se trata de un estudio observacional, longitudinal, analítico, prospectivo, de predicción.

También, el estudio se apegó a los principios éticos para investigaciones médicas en seres humanos establecidos por la Asamblea Médica Mundial en la declaración de Helsinki (1964) y ratificados en Río de Janeiro (2014).

El protocolo fue sometido a evaluación y aprobación al Comité Local de Bioética e Investigación.

Se dio un uso correcto de los datos y se mantuvo absoluta confidencialidad de estos. Se requirió de carta de consentimiento informado por parte del familiar responsable del paciente.



## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó el paquete estadístico SPSS v. 21 para el procesamiento de los datos, en el cual se realizó un análisis estadístico descriptivo e inferencial.

El análisis descriptivo consistirá en frecuencias y porcentajes para variables cualitativas nominales u ordinales. Para las variables cuantitativas se utilizó la media, la desviación estándar y el rango.

Como pruebas inferenciales se utilizarán la Chi-cuadrada y la t de muestras independientes para determinar si existen diferencias significativas entre pacientes con y sin destete exitoso. Una  $p < 0.05$  se consideró significativa.

Se determinó el desempeño diagnóstico (individual) de cada parámetro ultrasonográfico de diafragma, mediante curvas ROC, sensibilidad, especificidad y valores predictivos del mejor punto de corte. También se determinará el desempeño diagnóstico (con curvas ROC) de un modelo multivariado que incluya las características clínicas y ultrasonográficas significativamente asociadas a destete exitoso en la regresión logística binaria.

Se utilizarón tablas y gráficos para presentar la información.

## RECURSOS, FINANCIAMIENTO Y FACTIBILIDAD

### *Recursos materiales*

- Se requirió de impresora, hojas, copias, lápices, borradores y carpetas.
- Equipo de ultrasonografía Micromax® Sonosite.

### *Recursos humanos*

- Tesista: Dr. Roel Cano Tuxpan
- Tutor de Tesis. Dr. Edmundo Israel Roque Márquez
- Colaboradores. Dr. Irving Santiago Fraire Félix, Dr. Cesar González Álvarez.

### *Recursos financieros*

La papelería fue proporcionada por los investigadores y no se requirió inversión financiera adicional por parte de la institución, ya que se emplearán los recursos con los que se cuenta actualmente.

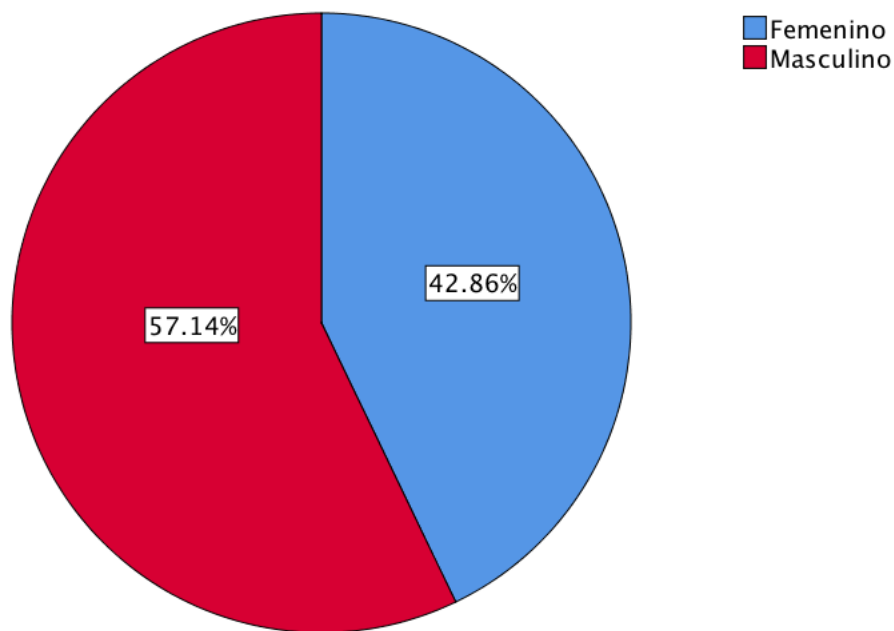
### *Factibilidad*

Este estudio se puede llevar a cabo porque se tiene el acceso a pacientes en volumen suficiente, se requirió de inversión mínima, y se tiene la capacidad técnica para llevarlo a cabo.

## RESULTADOS

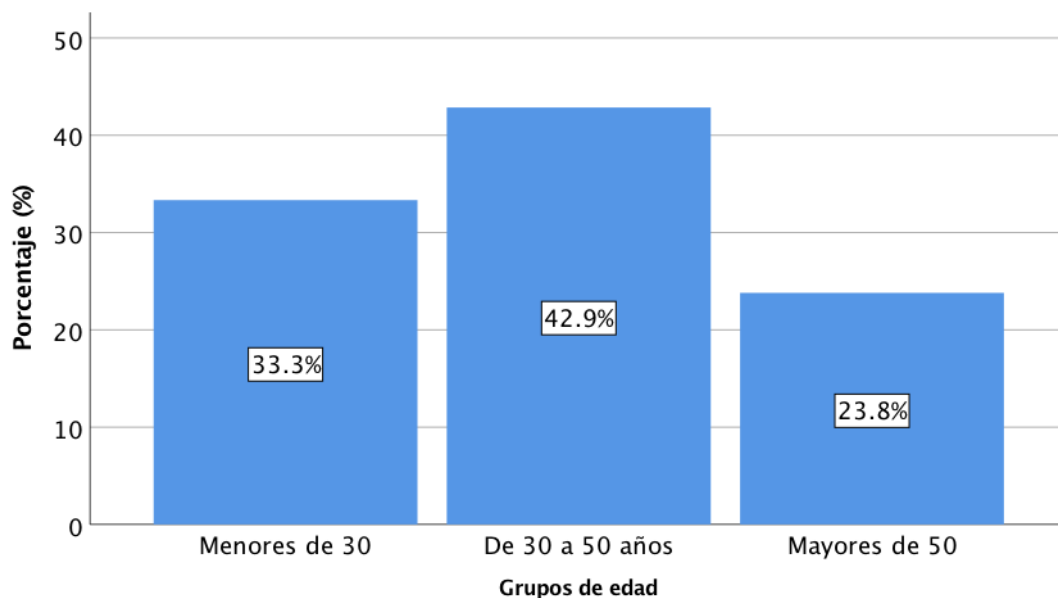
### Características demográficas, IMC, etiología de la falla respiratoria y el tipo de patología del paciente

En el presente estudio se incluyeron un total de 42 pacientes que ingresaron a la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Centenario Hospital Miguel Hidalgo, que requirieron intubación mecánica durante su estancia. El 42.9% eran femeninos y el 57.1% masculinos (Figura 2).



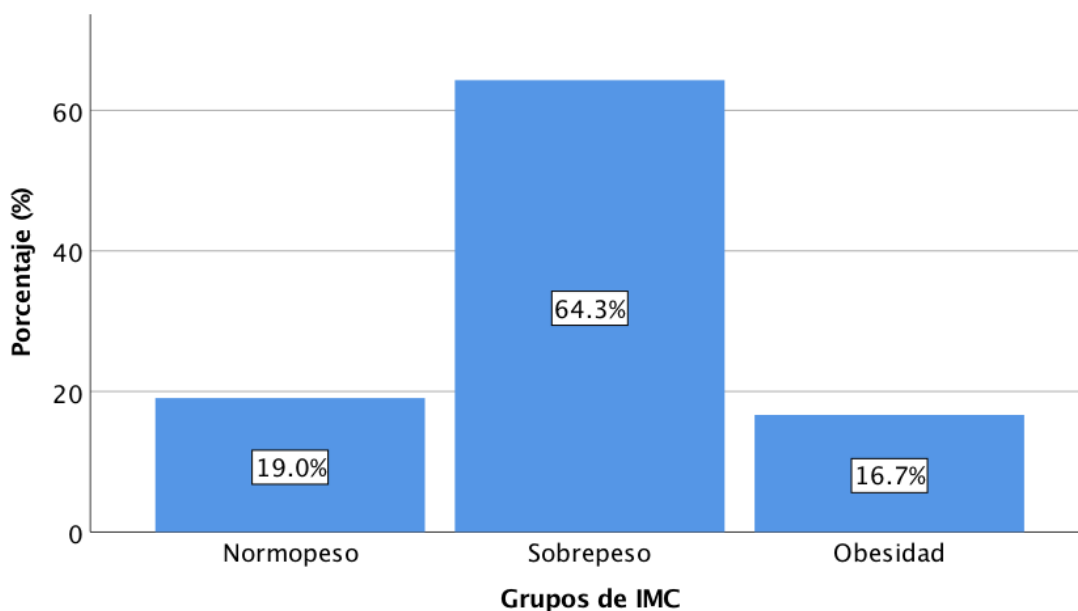
**Figura 2.** Género de los pacientes.

La edad promedio de los pacientes fue  $40.1 \pm 16.3$  años (edad mínima de 19 años y máxima de 84 años). Al clasificar a los pacientes por grupos de edad, el 33.3% (n=14) eran menores de 30 años, el 42.9% tenían de 30-50 años y el 23.8% eran mayores de 50 años (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución de los pacientes por grupos edad.

El IMC promedio de los pacientes fue  $26.8 \pm 3.1$  Kg/m<sup>2</sup> de SC. Al clasificar a los pacientes según categorías del IMC, el 19.0% tenían normopeso, el 64.3% sobrepeso y el 16.7% tenían obesidad (Figura 4).



**Figura 4.** Clasificación de los pacientes según el estado nutricional.

Posteriormente, se determinó la etiología de la falla respiratoria y la patología del paciente. En el 52.4% de los casos la patología asociada a la falla respiratoria fue médica y en 47.6% fue quirúrgica. El 31% tuvieron una patología traumática, el 28.6% neumonía, el 9.5% sepsis y el 31% otro tipo de patología (Tabla 3).

<b>Tabla 3. Etiología de la falla respiratoria y tipo de patología de los pacientes.</b>		
<b>Característica</b>	<b>Frecuencia, n</b>	<b>Porcentaje, %</b>
<b>Tipo de padecimiento</b>		
<b>Médico</b>	22	52.4
<b>Quirúrgico</b>	20	47.6
<b>Tipo de patología</b>		
<b>Trauma</b>	13	31.0
<b>Neumonía</b>	12	28.6
<b>Sepsis</b>	4	9.5
<b>Otra</b>	13	31.5

**Parámetros dinámicos de grosor diafragmático**

Como parámetros dinámicos de grosor diafragmáticos se determinaron el grosor diafragmático a la inspiración máxima, el grosor diafragmático al final de la expiración y la fracción de grosor diafragmático.

La media, SD, mínimo y máximo de estos parámetros se presentan en la Tabla 4. La distribución cada uno de ellos se presentan en las Figuras 5-7.

Tabla 4. Parámetros estáticos y dinámicos del grosor diafragmático.				
	<i>Media</i>	<i>SD</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Grosor diafragmático a la inspiración máxima (mm)	4.7	1.5	2	11
Grosor diafragmático al final de expiración (mm)	6.6	1.9	3	14
Fracción de grosor diafragmático (FGC)	0.3	0.1	0.2	0.42

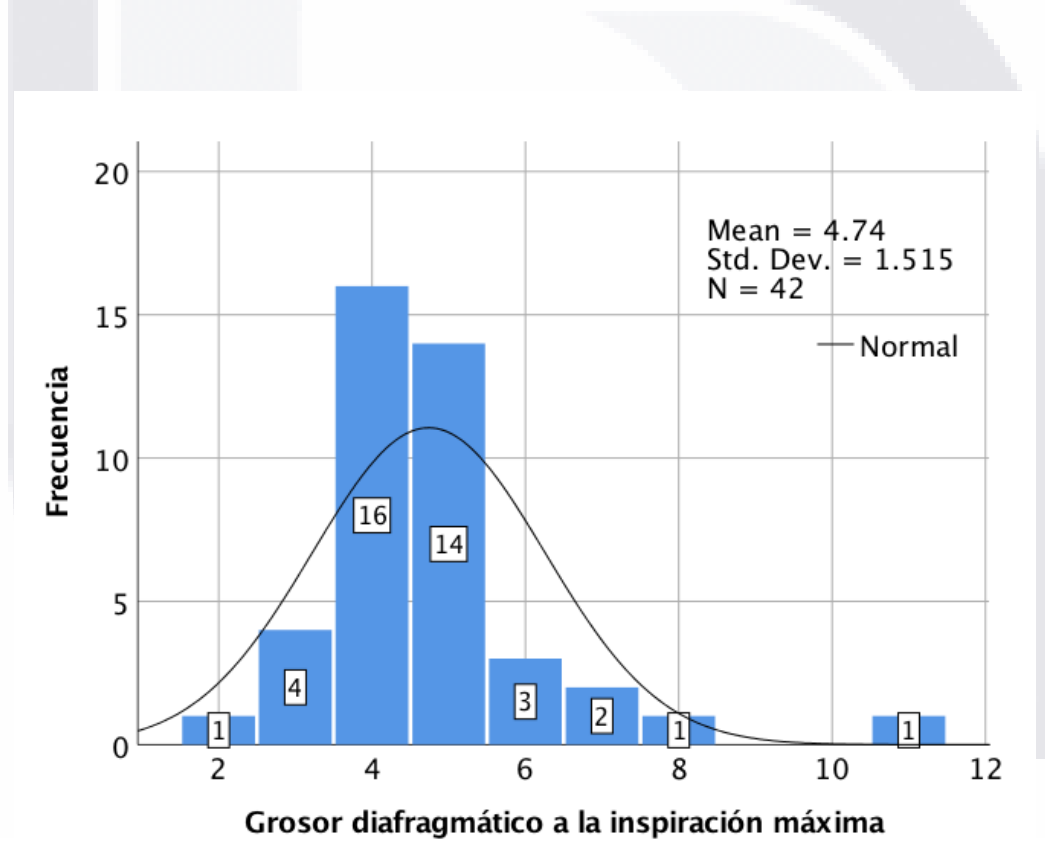
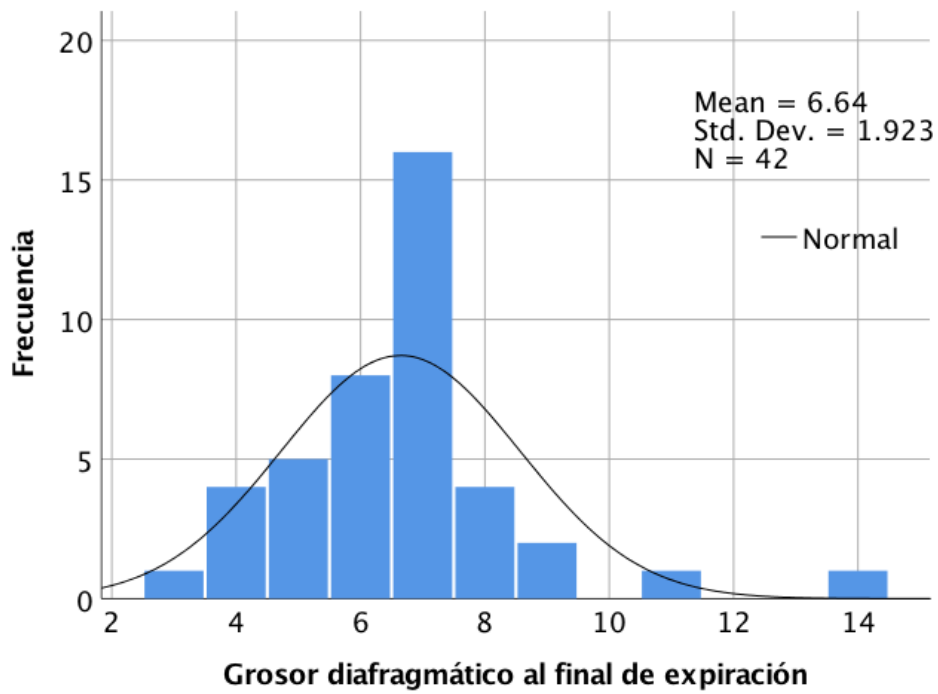
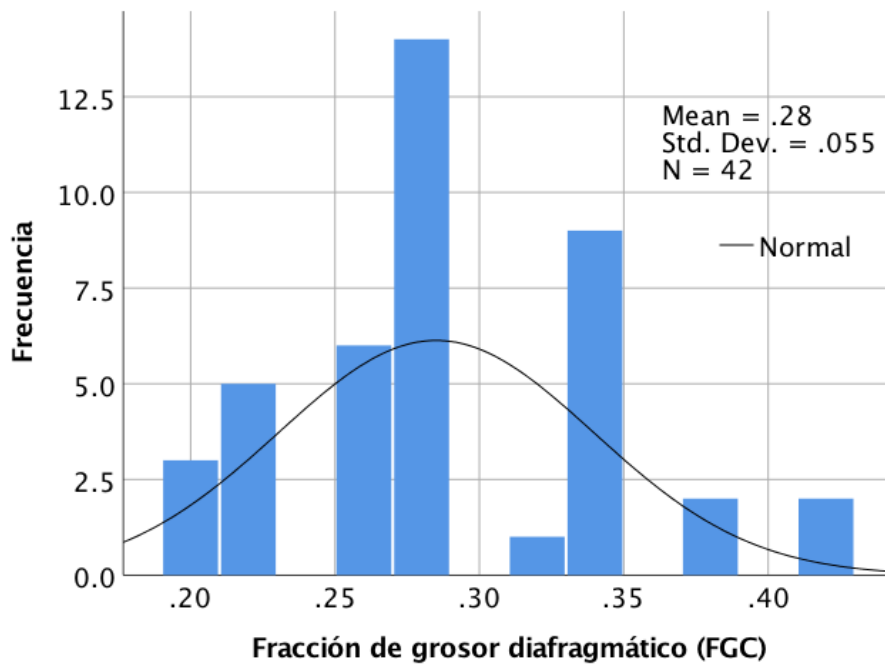


Figura 5. Distribución del grosor diafragmático a la inspiración máxima.





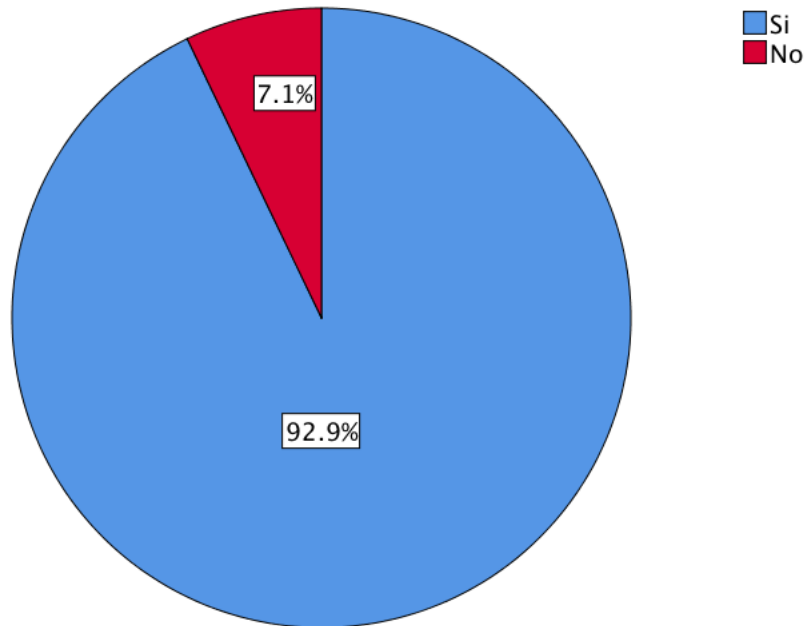
**Figura 6.** Distribución del grosor diafragmático al final de la expiración.



**Figura 7.** Distribución de la fracción de grosor diafragmático.

**Tasa de extubación exitosa y falla de extubación**

Al evaluar la tasa de extubación exitosa y falla de extubación, encontramos que el 92.9% de los casos se extubaron exitosamente, el restante 7.1% no se extubaron exitosamente (Figura 7).

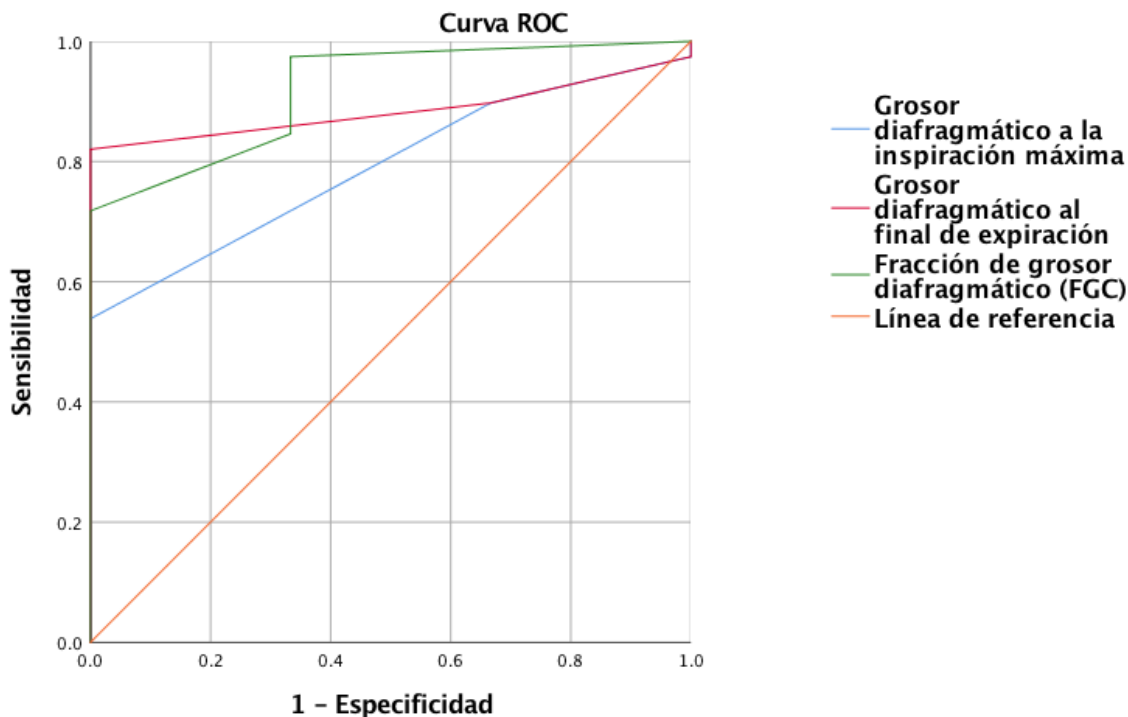


**Figura 8.** Tasa de extubación exitosa y falla de la extubación.

**Desempeño diagnóstico de cada parámetro ultrasonográfico en lo individual para predecir destete exitoso**

Se determinó el desempeño diagnóstico de cada parámetro ultrasonográfico para predecir destete exitoso, encontrando una AUC de 0.791 de grosor diafragmático a la inspiración máxima, de 0.885 del grosor diafragmático al final de la expiración y de 0.919 de la fracción de grosor diafragmático para predecir extubación exitosa (Figura 8; Tabla 5).

Tabla 5. Área bajo la curva (AUC) de cada parámetro ultrasonográfico dinámico para predecir extubación exitosa.	
<i>Parámetro ultrasonográfico</i>	<i>AUC</i>
Grosor diafragmático a la inspiración máxima	0.791
Grosor diafragmático al final de la expiración	0.885
Fracción de grosor diafragmático	0.919



**Figura 9.** Curva ROC para predicción de extubación exitosa de cada parámetro ultrasonográfico de interés.

También se determinaron los mejores puntos de corte de cada parámetro para predecir extubación exitosa, el cual se presenta en la Tabla 4. También se determinaron la sensibilidad, especificidad, y valores predictivos positivos y

negativos estos puntos de corte de cada parámetro ultrasonográfico. Para un punto de corte de 3.5 del grosor diafragmático a la inspiración máxima la sensibilidad y especificidad fueron 89.7% y 33.3%, respectivamente; y para un punto de corte de 4.5 en este mismo parámetro la sensibilidad fue de 53.8% y la especificidad fue de 100%.

En el caso del grosor diafragmático al final de expiración, para un punto de corte de 4.5 la sensibilidad y especificidad fueron de 89.7% y 33.3%, respectivamente; y para un punto de corte de 5.5, la sensibilidad y especificidad fueron de 82.1% y 100%, respectivamente.

Finalmente, para la fracción de grosor diafragmático, un punto de corte de 0.21 demostró una sensibilidad y especificidad de 97.4% y 66.7%, respectivamente; mientras que un punto de corte de 0.26 mostró una sensibilidad y especificidad de 71.8% y 100%, respectivamente (Tabla 6).

**Tabla 6. Sensibilidad y especificidad para los mejores puntos de corte.**

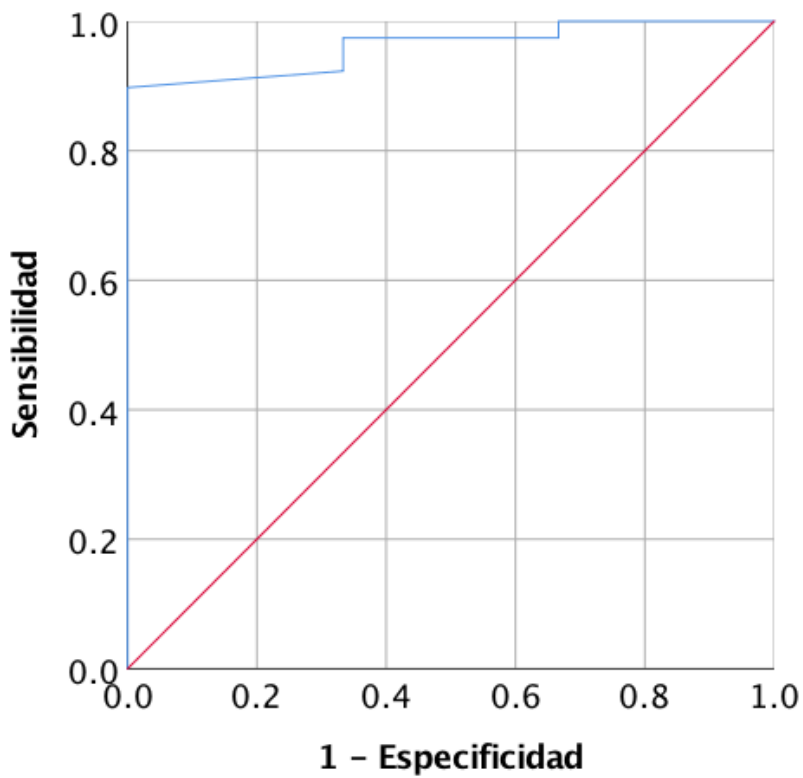
<i>Parámetro ultrasonográfico</i>	<i>Punto de corte</i>	<i>Sensibilidad (%)</i>	<i>Especificidad (%)</i>
Grosor diafragmático a la inspiración máxima	3.5	89.7	33.3
	4.5	53.8	100
Grosor diafragmático al final de expiración	4.5	89.7	33.3
	5.5	82.1	100
Fracción de grosor diafragmático (FGC)	0.21	97.4	66.7
	0.26	71.8	100

**Modelo multivariado de predicción**

Se realizó un modelo multivariado de predicción de destete exitoso, no encontrando influencia alguna de variables como edad, género, uso de relajante muscular y días de ventilación mecánica en la predicción de destete exitoso con base en grosor diafragmático a la inspiración máxima y en la fracción de grosor diafragmático. Solamente los días de ventilación mecánica mejoraron la capacidad de predicción del grosor diafragmático a la inspiración máxima, pasando de una AUC de 0.885 a una AUC de 0.962 ( $p < 0.001$ ; Figura 10).

**Tabla 7. Factores asociados significativa e independientemente a destete en el análisis multivariado (tipo regresión logística binaria, método enter.**

<b>Característica</b>	<b>-B</b>	<b>ORa</b>	<b>IC95%</b>	<b>Valor de p</b>
<b>Días de ventilación mecánica</b>	0.300	<b>1.350</b>	<b>1.108-1.544</b>	<b>0.262</b>
<b>Grosor diafragmático a la inspiración máxima</b>	1.113	<b>3.044</b>	<b>1.019-9.089</b>	<b>0.046</b>
<b>AUC</b>			<b>0.962</b>	
<b>R<sup>2</sup> de Nagelkerke</b>			<b>0.349</b>	



**Figura 10.** Curva ROC para predicción de extubación exitosa del modelo compuesto por días de ventilación mecánica y grosor diafragmático a la inspiración máxima.

## DISCUSIÓN

En el presente estudio, se determinó el desempeño diagnóstico de la ultrasonografía del diafragma para predecir destete exitoso de la ventilación mecánica en pacientes en estado crítico del CHMH, encontrando algunos hallazgos que ameritan análisis.

En primer lugar, se evaluaron tres parámetros ultrasonográficos, de los cuales el de mejor desempeño fue la fracción de grosor diafragmático con una AUC de 0.919, seguido del grosor diafragmático al final de la expiración con una AUC de 0.885, mientras que el parámetro de peor desempeño fue el grosor diafragmático a la inspiración máxima con una AUC cercana a 0.8.

De esta manera, todos los parámetros evaluados en nuestro estudio tuvieron un buen desempeño, aunque el mejor parámetro fue la fracción de grosor diafragmático, un parámetro compuesto que se obtiene al restar al grosor diafragmático inspiratorio máximo- el grosor del diafragma espiratorio final y dividir este resultado entre el grosor del diafragma inspiratorio máximo. De hecho, dado que este índice es un indicador del esfuerzo diafragmático se ha propuesto como un predictor de destete exitoso del ventilador<sup>24,25</sup>.

De hecho, en su estudio Ferrari y cols. fueron los primeros en sugerir que la fracción de grosor diafragmático podría ser útil para predecir el éxito o fracaso de la intubación; reportaron que este parámetro tuvo una sensibilidad y especificidad de 82 y 88% para predecir extubación exitosa con un punto de corte de 0.36. En comparación, en nuestro estudio los puntos de corte encontrados como mejores en fueron 0.21 y 0.26, los cuales exhibieron una sensibilidad de 97.4 y 71.8%, respectivamente con una especificidad de 66.7 y 100%, respectivamente<sup>24</sup>.

Por su parte, DiNino y cols. reportaron una sensibilidad y especificidad de 88 y 71% para predecir extubación exitosa con un punto de corte de 0.30. Este punto de corte

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

es inferior al sugerido por Ferrari y cols., aunque es ligeramente superior al sugerido en nuestro estudio<sup>25</sup>.

Ahora bien, el área bajo la curva (AUC) reportada por Ferrari y Dinino fue de y 0.790, respectivamente, en comparación con una AUC de 0.919 en nuestro estudio, lo cual demuestra que la la fracción de grosor diafragmático es un buen predictor de destete exitoso, pero que también se deben considerar variaciones entre estudios u otras características para ajustar el modelo de predicción de destete exitoso<sup>24,25</sup>.

Así mismo, es de destacar que en nuestro estudio el desempeño del grosor diafragmático fue mayor que el reportado por Ferrari y Dinino, aunque fue similar al reportado por Pirompanich y Romsaiyut, quienes reportaron una AUC de 0.951 para la fracción de grosor diafragmática derecha y de 0.700 para la fracción de grosor diafragmática izquierda con una sensibilidad de 96% y una especificidad de 68% para el mismo punto de corte de nuestro estudio (0.26)<sup>26</sup>.

En conjunto, los resultados del presente estudio y los de estudios previos sugieren lo siguiente: i) Que la fracción de grosor diafragmático tiene potencial para identificar a aquellos pacientes que tienen mayor probabilidad de un destete exitoso, de manera similar a otros parámetros y pruebas de destete. ii) Que la fracción de grosor diafragmático es mejor que el grosor diafragmático inspiratorio máximo y el grosor del diafragma espiratorio final, de forma individual. iii) Que su uso clínico es factible ya que se puede evaluar mediante ultrasonograma modo B, un método paraclínico simple, rápido, reproducible y no invasivo que se puede repetir varias veces sin ningún riesgo para los pacientes.

Por otro lado, como retos importantes y aspectos por definir se encuentran la determinación del punto de corte óptimo para la fracción de grosor diafragmático dado que los puntos de corte reportados en los estudios realizados hasta el momento son distintos entre ellos y en comparación con el nuestro<sup>24,25</sup>.



Algunas debilidades del presente estudio incluyen que no realizamos una comparación con otros métodos que pueden considerarse un estándar de oro en la evaluación de la función diafragmática, como el tiempo de presión transdiafragmática, pero es altamente invasivo e incómodo para el paciente. Por lo que, podría ser de utilidad un ensayo prospectivo para comparar el desempeño del ultrasonido del diafragma *versus* la presión transdiafragmática, entre otras potenciales comparaciones<sup>27</sup>.

Así mismo, sería de importante, evaluar la correlación o concordancia interobservador para cada una de las mediciones del diafragma determinadas en este estudio con la finalidad de determinar su reproducibilidad clínica en nuestro hospital. Aunque, algunos estudios previos han sugerido que la correlación intraobservador es de 0.90 y la correlación interobservador es de 0.89, siendo muy parecida la correlación entre intensivistas e investigadores después de 10 mediciones y alcanzándose las mejores tasas de correlación intra e interobservador a partir de las 15 mediciones <sup>26</sup>. Por lo tanto, se recomienda un entrenamiento mínimo de 15 mediciones para realizar mediciones reproducibles.

También, valdría la pena evaluar si otros parámetros dinámicos o clínicos podrían mejorar el desempeño evaluación del destete exitoso, lo cual es factible ya que al evaluar la influencia de factores como como edad, género, uso de relajante muscular y días de ventilación mecánica, solo los días de ventilación mecánica mejoraron el desempeño del grosor diafragmático a la inspiración máxima para la predicción de extubación exitosa con una AUC de 0.962.

Finalmente, la tasa de destete exitosa entre los pacientes del CHMH fue muy buena (92.9%) y superior a la reportada por Ferrari y cols. de 63%, y a la reportada por Dinino y por Pirompanich y Romsaiyut quienes reportaron una tasa de éxito de extubación de 73.5%<sup>24-26</sup>.

## CONCLUSIONES

La ultrasonografía de diafragma es útil para predecir extubación exitosa; el área bajo la curva mínima fue de 0.791 para el grosor diafragmático a la inspiración máxima, de 0.855 el grosor diafragmático al final de la expiración y superior a 0.900 para la fracción de grosor diafragmático. Por lo tanto, este último es el mejor parámetro.

Los puntos de corte óptimos en nuestro estudio fueron de 0.21 o 0.26; este último coincide mas con lo reportado en la literatura, y ofrece una sensibilidad superior a 70% y especificidad de 100%.

No obstante, en la literatura se han reportado otros puntos de corte con sensibilidad y especificidad variables. Por lo que queda pendiente determinar puntos de corte óptimos y determinar si otras características mejoran la predicción.

Se recomienda por lo tanto, el uso rutinario de ultrasonograma del diafragma para predecir destete exitoso.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Gutiérrez Muñoz Fernando. Ventilación mecánica. Acta Méd Peruana. 2012. 28(2): 87-104.
2. Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical Ventilation: State of the Art. Mayo Clin Proc. 2017;92(9):1382–400.
3. Castillo AE. Ventilación mecánica invasiva en el paciente pediátrico. Neumol Pediatr 2017; 12 (1): 15 - 22
4. Kornecki A, Wheeler D. Mechanical Ventilation. En Wheeler, Wong, Shanley. Pediatric Critical Care Medicine, 2nd edition. London, SpringerVerlag; 2014:127-161.
5. Buforn Galiana A, Reina Artacho C, de la Torre Prados MV. Ventilación mecánica. 2013. Disponible en: <http://files.sld.cu>
6. Cavallone FL, Vannucci A. Extubation of the difficult airway and extubation failure. Anesth Analg. 2013.116:368-383
7. Hernández López GD, Cerón Juárez R, Escobar Ortiz D, Graciano Gaytán L, Gorordo Delsol LA et al. Retiro de la ventilación mecánica. Med Crit 2017. 31(4):238-245
8. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragm dysfunction on admission to the intensive care unit. Prevalence, risk factors, and prognostic impact-a prospective study. Am J Respir Crit Care Med. 2013;188(2):213-219.
9. Supinski GS, Callahan LA. Diaphragm weakness in mechanically ventilated critically ill patients. Crit Care. 2013;17(3):R120
10. Sarwal A, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound for evaluation of the diaphragm. Muscle Nerve. 2013;47(3):319- 329
11. Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, Akoumianaki E, Dimassi S, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications. Intensive Care Med. 2013;39:801-810

12. Carrillo Esper R, Pérez Calatayud AA, Peña Pérez CA. Evaluación ultrasonográfica de la función diafragmática mediante doble abordaje en el paciente grave. *Rev Asoc Mex Med Crit Ter Int.* 2016. 30(4):242-245
13. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, et al. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med.* 2015;41:642-649
14. Li C, Li X, Han H, Cui H et al. Diaphragmatic ultrasonography for predicting ventilator weaning: A meta-analysis. *Medicine.* 2018. 97(22):e10968
15. Llamas Álvarez AM, Tenza Lozano EM, Latour Pérez J. Diaphragm and lung ultrasound to predict weaning outcome: systematic review and meta-analysis. *Chest.* 2017. Disponible en: <https://criticalcarehaiti.files.wordpress.com>
16. Quian Z, Yang M, Li L, Chen Y. Ultrasound assessment of diaphragmatic dysfunction as a predictor of weaning outcome from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open.* 2017. 8 (9).
17. Tenza-Lozano E, Llamas-Alvarez A, Jaimez-Navarro E, Fernández-Sánchez J. Lung and diaphragm ultrasound as predictors of success in weaning from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J.* 2018. 10(1):12.
18. Tanaka Montoya A, Amador Martínez AC, Delgado Mercado LY, Franco Granillo J, Aguirre Sánchez J, Camarena Alejo G. Medición del grosor diafragmático como parámetro predictivo para retiro de ventilación mecánica invasiva en pacientes de terapia intensiva. *Med Crit* 2017;31(4):190-197
19. Shin HJ, Chang JS, Ahn S, Kim TO, Park CK, Lim JH, Oh IJ, Kim YI, Lim SC, Kim YC, Kwon YS. Clinical factors associated with weaning failure in patients requiring prolonged mechanical ventilation. *J Thorac Dis.* 2017; 9(1):143-150.
20. Cavallone LF, Vannucci A. Review article: Extubation of the difficult airway and extubation failure. *Anesth Analg.* 2013;116(2):368-83.
21. Jung YT, Kim MJ, Lee JG, Lee SH. Predictors of early weaning failure from mechanical ventilation in critically ill patients after emergency gastrointestinal surgery: A retrospective study. *Medicine (Baltimore).* 2018; 97(40):e12741.

22. Bouhemad B, Zhang M, Lu QRJ. Clinical review: bedside lung ultrasound in critical care practice. *Crit Care*. 2007;11(1):205.
23. Fayed AM, Abd El Hady MA, Shaaban MSFD. Use of ultrasound to assess diaphragmatic thickness as a weaning parameter in invasively ventilated chronic obstructive pulmonary disease patients. *J Am Sci*. 2016;12(6):96–105.
24. Ferrari G, De Filippi G, Elia F, Panero F, Volpicelli G, Aprà F. Diaphragm ultrasound as a new index of discontinuation from mechanical ventilation. *Crit Ultrasound J*. 2014;6:8
25. DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD. Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax*. 2014;69:423–427.
26. Vivier E, Mekontso Dessap A, Dimassi S, Vargas F, Lyazidi A, Thille AW, Brochard L. Diaphragm ultrasonography to estimate the work of breathing during non-invasive ventilation. *Intensive Care Med*. 2012;6:796–803.
27. Pirompanich P, Romsaiyut S. Use of diaphragm thickening fraction combined with rapid shallow breathing index for predicting success of weaning from mechanical ventilator in medical patients [published correction appears in *J Intensive Care*. 2018;6:25.





**“DESEMPEÑO DIAGNÓSTICO DE LA ULTRASONOGRAFÍA DEL DIAFRAGMA  
PARA PREDECIR DESTETE EXITOSO DE VENTILACIÓN MECÁNICA EN  
PACIENTES EN ESTADO CRÍTICO”**

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Género: \_\_\_\_\_

No. expediente: \_\_\_\_\_

<b>IMC</b> _____ Kg/m <sup>2</sup>	<b>Uso de relajante muscular</b> Si ( ) No ( )	<b>Éxito de destete</b> Si ( ) No ( )
<b>Etiología de la falla respiratoria</b> _____	<b>Grosor diafragmático a la inspiración máxima</b> _____ mm	<b>Falla de extubación</b> Si ( ) No ( )
<b>Tipo de patología</b> ( ) Médica ( ) Quirúrgica	<b>Grosor diafragmático al final de la espiración</b> _____ mm	<b>Mortalidad</b> Si ( ) No ( )
<b>Duración de la ventilación mecánica</b> _____ días	<b>Fracción de grosor diafragmático</b> _____ mm	



Protocolo de Retiro de Ventilación Mecánica

Nombre del paciente: \_\_\_\_\_ Fecha de Nacimiento: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Cama: \_\_\_\_\_ Expediente: \_\_\_\_\_ Servicio: \_\_\_\_\_

Diagnósticos: \_\_\_\_\_

Horas/Días de Ventilación Mecánica: \_\_\_\_\_

Realizar cada 12 a 24 horas en los pacientes con Ventilación Mecánica.

- Causa ó Indicación de Ventilación Mécanica Resuelta ó Controlada:** (Si) (No)
- Neurológico:** Escala de Coma de Glasgow 9 – 15 (Si) (No)  
Reflejos: Tusígeno (Si) (No) / Deglución (Si) (No) / Náuseoso (Si) (No)  
Para ECG <13: Dirige la mirada: (Si) (No) Obedece ordenes sencillas: (Si) (No)  
Eleva la cabeza: (Si) (No) Eleva los hombros: (Si) (No)  
Agitación: (Si) (No) Delirio: (Si) (No) / (Hipoactivo) (Hiperactivo) (Mixto)
- Hemodinámico:** TAS 90 - 180: (Si) (No) Norepinefrina <15mcg/min (Si) (No) FC < 140: (Si) (No)
- Respiratorio:** SaO2 >92% con FiO2 >50%: (Si) (No) PaO2/FiO2 >200: (Si) (No) FR <30: (Si) (No)  
PaCO2: \_\_\_\_\_ PaO2 >60: (Si) (No) Disnea: (Si) (No)  
Tiraje: (Si) (No) Disociación toraco-abdominal: (Si) (No) Aleteo nasal: (Si) (No) Cianosis: (Si) (No)  
Aspiraciones requeridas por turno: \_\_\_\_\_ Espesor de secreciones: + / ++ / +++
- Hidronefroelectrolítico:** pH >7.3: (Si) (No) HCO3: \_\_\_\_\_  
Na: \_\_\_\_\_ K: \_\_\_\_\_ Mg: \_\_\_\_\_ P: \_\_\_\_\_ Ca+: \_\_\_\_\_ Cl: \_\_\_\_\_
- Fiebre >38.3°: (Si) (No) Posición Semifowler: (Si) (No) Lactato: \_\_\_\_\_  
USG Excursión diafragmática >1cm: (Si) (No) Grosor diafragmático Iqz: \_\_\_\_\_ Der: \_\_\_\_\_  
USG Blue: \_\_\_\_\_  
USG Laríngeo: Columna de aire >11mm (Si) (No)

Fuerza Inspiratoria Máxima >20: (Si) (No) P0.1 <4-7: (Si) (No) FR/VT <105: (Si) (No)  
Vol. Minuto <10 lts: (Si) (No) Fuga >20%: \_\_\_\_\_

**Prueba de Ventilación Espontánea:**

Número de prueba: \_\_\_\_\_

Duración 30 – 120 min

Modo: (CPAP/PS: PEEP 0 - 5 PS: 0 – 7) (VAP: %Gain <30%) (ASV: %Gain <30%) (MMV: FR:<8)  
(Smart-Care) (APRV)

Hora de Inicio: \_\_\_\_\_

TAS: \_\_\_\_\_ SaO2: \_\_\_\_\_ FR: \_\_\_\_\_ FC: \_\_\_\_\_ PaCO2: \_\_\_\_\_ PaO2: \_\_\_\_\_ \*SVO2: \_\_\_\_\_ \*proBNP: \_\_\_\_\_ \*Hto: \_\_\_\_\_

Hora de Término: \_\_\_\_\_

TAS: \_\_\_\_\_ SaO2: \_\_\_\_\_ FR: \_\_\_\_\_ FC: \_\_\_\_\_ PaCO2: \_\_\_\_\_ PaO2: \_\_\_\_\_ \*SVO2: \_\_\_\_\_ \*proBNP: \_\_\_\_\_ \*Hto: \_\_\_\_\_

ASV: Presion inspiratoria <8: (Si) (No) 100% de Respiraciones Espontaneas (Si) (No)

VAP: WOBp 0.3 – 0.7 (Si) (No)

Durante la prueba: Insuficiencia Respiratoria durante la prueba: (Si) (No) / Deterioro neurológico: (Si) (No)

Fallo a la prueba: (Si) (No)

Causa/as de fallo: \_\_\_\_\_

Plan: \_\_\_\_\_

Retiro a: Mascarilla facial: \_\_\_\_\_ Puntas O2 alto flujo: \_\_\_\_\_ VMNI: \_\_\_\_\_

\*Realizar en caso de paciente cardíopata ó con falla cardiaca aguda