





HOSPITAL CENTRAL  
DR. IGNACIO  
MORONES PRIETO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL CENTRAL “DR. IGNACIO MORONES PRIETO”

Tesis para obtener el diploma en la especialidad de Imagenología  
Diagnóstica y Terapéutica

**Concordancia inter observador de la medición del ultrasonido  
diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en  
pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia  
intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto.**

**Dr. Ernesto Rodríguez Soto**

DIRECTOR CLÍNICO

Dra. Rosario Margot Camargo Zebadúa

Médico radiólogo con alta especialidad en imagen de la mama

DIRECTOR METODOLÓGICO

Dra. Lourdes Marcos Ramírez

Médico radiólogo

Alumna de la maestría en ciencias en investigación clínica de la UASLP

No. de CVU del CONACYT: 1173619

Febrero, 2024





HOSPITAL CENTRAL  
DR. IGNACIO  
MORONES PRIETO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL CENTRAL "DR. IGNACIO MORONES PRIETO"

Tesis para obtener el diploma en la especialidad de Imagenología  
Diagnóstica y Terapéutica

**Concordancia inter observador de la medición del ultrasonido  
diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en  
pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia  
intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto.**

**Dr. Ernesto Rodríguez Soto**

DIRECTOR CLÍNICO

Dra. Rosario Margot Camargo Zebadúa

Médico radiólogo con alta especialidad en imagen de la mama

DIRECTOR METODOLÓGICO

Dra. Lourdes Marcos Ramírez

Médico radiólogo

Alumna de la maestría en ciencias en investigación clínica de la UASLP

No. de CVU del CONACYT: 1173619

## SINODALES

Dr. Alejandro Hernández Martínez  
Médico Radiólogo  
Alta Especialidad en Radiología  
Intervencionista  
Presidente del jurado

---

Dr. Carlos Lambert Cerda  
Médico Radiólogo  
Sinodal

---

Dr. Raúl Martínez Martínez  
Médico Radiólogo  
Alta Especialidad en Radiología  
Intervencionista  
Sinodal

---

Dr. Francisco Javier Marín Solares  
Médico Radiólogo  
Sinodal

---

Febrero, 2024



Concordancia inter observador de la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto. © 2024 Por Ernesto Rodríguez Soto. Se distribuye bajo [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

## RESUMEN.

**Introducción:** El ultrasonido diafragmático ha demostrado ser una herramienta diagnóstica altamente sensible y específica para predecir los resultados del destete ventilatorio en pacientes adultos bajo ventilación mecánica invasiva, sin embargo, debido a la condición especialmente crítica de estos pacientes, su certeza, precisión y repetitividad pueden llegar a afectarse.

**Objetivo:** Determinar la concordancia Inter observador de la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia intensiva.

**Sujetos y Métodos:** Se obtuvo una muestra de 35 pacientes que reunieron los criterios de inclusión, se enfocó en la concordancia de los dos parámetros del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) mediante la realización de dos concordancias interobservador diferentes, una entre un médico radiólogo y un médico residente de tercer año y la segunda entre el médico residente de tercer año y un médico residente de segundo año. La primera concordancia se obtuvo de un total de 20 pacientes y la segunda concordancia un total de 15 pacientes.

**Resultados:** Se encontró una distribución normal de los datos mediante qqplot y la prueba de Shapiro-Wilk con una  $p < 0.05$ , por lo que se procedió a la realización de la concordancia mediante las pruebas de Lin y Bland y de correlación intraclase. En la primera concordancia para la variable tasa de engrosamiento diafragmático se obtuvo una media de diferencia de  $-0.08$  y para la excursión diafragmática de  $-0.01$  con un ICC mayor de  $0.95$ . Para la segunda concordancia se obtuvo para la variable tasa de engrosamiento diafragmático una media de diferencia de  $-0.33$  y para la excursión diafragmática de  $-0.09$  con un ICC mayor de  $0.95$ .

**Conclusiones:** Se encontró una buena concordancia entre los observadores, sin embargo, identificamos diferencias en los resultados de las dos concordancias. Encontrando una concordancia inter observador más alta entre el médico radiólogo y el residente de mayor año en comparación con el resultado de la concordancia entre el residente de tercer año y el residente de segundo año, pudiendo atribuir esto de acuerdo a el entrenamiento y el grado de experiencia que tienen los observadores.

**Palabras Clave:** Concordancia inter observador, ultrasonido diafragmático, ventilación mecánica invasiva, tasa de engrosamiento diafragmático, excursión diafragmática.

## ÍNDICE

	Página
Resumen. ....	7
Palabras clave: .....	7
Índice .....	8
Lista de cuadros .....	9
Lista de figuras .....	10
Lista de abreviaturas y símbolos .....	11
Lista de definiciones .....	12
Dedicatorias .....	13
Agradecimientos. ....	14
Antecedentes.....	15
Justificación. ....	19
Pregunta de investigación.....	20
Hipótesis. ....	20
Objetivos.....	20
Sujetos y métodos. ....	21
Análisis estadístico. ....	22
Ética.....	28
Resultados.....	30
Discusión. ....	34
Limitaciones y/o nuevas perspectivas de investigación.....	35
Conclusiones. ....	35
Bibliografía.....	36

## LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Variables en el estudio:.....	22
Cuadro 2. Pregunta PICO .....	23
Cuadro 3. Descriptores.....	24
Cuadro 4. Estrategia de búsqueda:.....	26
Cuadro 5. Prueba de Bland de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).....	31
Cuadro 6. Prueba de Lin de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).....	31
Cuadro 7. Prueba de Bland de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).....	32
Cuadro 8. Prueba de Lin de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).....	33

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figuras 1-4. Distribución de los datos mediante qqplot y prueba de Shapiro-Wilk de la primera concordancia.....	30
Figuras 5-8. Distribución de los datos mediante qqplot y prueba de Shapiro-Wilk de la segunda concordancia. ....	31
Figura 9 y 10. Límites de concordancia prueba de Bland de la concordancia 1... ..	32
Figura 11 y 12. Límites de concordancia prueba de Lin de la concordancia 1. ....	32
Figura 13 y 14. Límites de concordancia prueba de Bland de la concordancia 2. .33	
Figura 15 y 16. Límites de concordancia prueba de Lin de la concordancia 2 ..... 33	
Figura 17. Equipo de ultrasonido .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 18. Transductor convexo. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 19. Transductor lineal. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 20. Ultrasonido Modo B. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 21. Ultrasonido Modo M.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 22. Evaluación del grosor diafragmático.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 23. Evaluación de la excursión diafragmática.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

- **EXC:** Excursión diafragmática
- **GDE:** Grosor del diafragma en espiración.
- **GDI:** Grosor del diafragma en inspiración.
- **HCIMP:** Hospital Central Ignacio Morones Prieto.
- **ICC:** Índice de correlación interclase.
- **P:** Paciente.
- **TED:** Tasa de engrosamiento diafragmático.
- **US:** Ultrasonido.
- **VMI:** Ventilación mecánica invasiva.

## LISTA DE DEFINICIONES

- **Excursión diafragmática:** Es el desplazamiento cefalocaudal del diafragma durante la respiración.
- **Grosor diafragmático en inspiración:** Mínimo grosor del diafragma durante la inspiración.
- **Grosor diafragmático en espiración:** Máximo grosor del diafragma durante la espiración.
- **Modo B:** Técnica de diagnóstico por ultrasonido en escala grises que evalúa las imágenes en tiempo real.
- **Modo M:** Representación gráfica del movimiento de los tejidos en el ultrasonido que se presentan en el monitor como líneas de puntos forma continua a lo largo del tiempo.
- **Ultrasonido:** Técnica de diagnóstico no invasiva que no emite radiación ionizante, consiste en el uso de ondas sonoras para crear imágenes de los órganos y estructuras dentro del cuerpo.
- **Ventilación mecánica invasiva:** Es una ayuda artificial a la respiración que introduce oxígeno en la vía aérea del paciente por medio de un sistema mecánico externo.

## **DEDICATORIAS.**

Le dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres que me apoyaron en todos los momentos buenos, malos y peores, gracias por todo el apoyo incondicional para cumplir con mis objetivos, por su paciencia, por su comprensión, por siempre acompañarme en cada paso que doy en la búsqueda de ser mejor persona y mejor profesional, gracias por siempre estar ahí para mí cuando lo necesité, nada hubiera sido posible sin ustedes.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mi familia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome incondicionalmente en todos mis proyectos.

A mis profesores Dra. Maguito, Dr. Lambert, Dr. Raúl, Dr. Marín, Dr. Jorge y Dr. Marco gracias por transmitirme su experiencia, su orientación y sus conocimientos, gracias por su interés, su buena disposición a ayudarme y por brindarme su apoyo.

Asimismo, quisiera expresar especialmente mi agradecimiento y reconocimiento para mi maestro y amigo el Dr. Alejandro Hernández Martínez, gracias por siempre brindarme su apoyo incondicional; su guía y sus consejos fueron fundamentales para completar de manera satisfactoria mi residencia, agradezco enormemente su gran amistad, disposición, motivación y por siempre estar ahí para mi cuando lo necesité.

A todo el personal del departamento de radiología, personal administrativo, de enfermería, técnicos, intendencia, gracias por todo su apoyo y por su valiosa amistad.

Al Hospital Central Ignacio Morones Prieto que fue mi casa durante tres años, gracias por haberme permitido cursar esta especialidad, a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por haberme recibido como parte de su comunidad estudiantil así como a todos los pacientes gracias por brindarme la oportunidad de aprender.

A mi asesora de tesis Luly por su valioso tiempo, gracias por tu paciencia y enseñanzas y por todo el apoyo para lograr culminar el presente trabajo de investigación.

A mis compañeras y compañeros residentes Ivonne, Liz, Mariana, Abel, Charly, Diego, Eric, Hugo, Paco y Rodri, a quienes les considero como familia, Gracias por todos los buenos momentos, por todas esas alegrías y las risas que me dejaban sin aire, fue un placer y un honor haber coincidido, convivido y trabajado día con día con todos ustedes, creo que formamos un gran equipo y los voy a extrañar muchísimo, se convirtieron en mis hermanas y hermanos.

Finalmente, y con mucho afecto gracias especialmente a mi compañera Zenyi por estar siempre a mi lado en los días buenos y en los no tan buenos. Gracias por ser la mejor compañera que pude haber tenido, tus eras quien me hacía reaccionar cuando pensaba que ya no podía continuar. Gracias porque siempre estuviste a mi lado en los buenos momentos y también en los momentos difíciles, en los tristes y en los imposibles, gracias por nunca dejarme solo, por darme siempre tu apoyo y alegrarme todos los días que hiba al hospital. Si pudiera elegir probablemente podría cambiar toda mi residencia, pero jamás cambiaría el haber podido coincidir contigo.

## ANTECEDENTES.

El diafragma constituye el principal músculo inspiratorio, durante una respiración normal es el responsable del incremento de hasta el 75% del volumen pulmonar total, siendo el 25% restante aportado por los músculos intercostales, escalenos y esternocleidomastoideo. Durante la inspiración el diafragma se contrae provocando un desplazamiento caudal del mismo, lo cual genera un incremento en la presión de la cavidad abdominal aumentando de esta manera el diámetro transversal del tórax. Por lo cual en pacientes de alto riesgo su disfunción puede provocar fallo respiratorio asociado a hipercapnia y en casos más severos puede ocasionar hipoxemia. (1)

La ventilación mecánica es la técnica de soporte vital a corto plazo más utilizada en todo el mundo, se aplica para un espectro muy diverso y amplio de indicaciones médicas, las cuales van desde procedimientos quirúrgicos programados hasta pacientes que presenten insuficiencia orgánica aguda. (2)

Se ha demostrado que la propia ventilación mecánica puede inducir por sí misma disfunción diafragmática, denominada “disfunción diafragmática inducida por el ventilador” esto debido a atrofia e injuria local del diafragma. (2)

Diferentes métodos de imagen nos permiten evaluar la función diafragmática, entre los cuales encontramos la radiografía de tórax, la tomografía computarizada, la resonancia magnética y el estudio por fluoroscopia; sin embargo, todos ellos implican trasladar al paciente crítico fuera de las unidades de cuidados intensivos, por lo cual, dadas las condiciones de estos pacientes, esto resulta impráctico. Asimismo, algunos de ellos como la fluoroscopia y la tomografía computarizada utilizan altos niveles de radiación ionizante.

Múltiples estudios han informado que el ultrasonido diafragmático se ha destacado como una técnica prometedora para la evaluación estructural y funcional del diafragma. Representando un método preciso, reproducible y portátil que puede realizarse a la cabecera del paciente y sin el uso de radiación ionizante. (1)

Entre los primeros antecedentes encontramos el estudio de Haber (1975) quien fue de los primeros en reportar la utilidad del ultrasonido diafragmático en los modos B y M para el estudio cualitativo de la cinética diafragmática, concluye que la exploración ecográfica es un método muy sensible para demostrar anomalías generalizadas o localizadas del movimiento diafragmático, y que el ultrasonido tiene la ventaja de no emitir radiaciones ionizantes, permitiendo obtener un registro permanente de la excursión de la superficie diafragmática. (3)

Las sondas de ultrasonido de alta frecuencia (6-13 MHz) son de elección para el estudio del engrosamiento diafragmático debido a que ofrecen una mayor resolución de imagen a menor profundidad, lo cual nos permite evaluar adecuadamente el grosor diafragmático tanto en inspiración como espiración, mientras que las sondas convexas (2-6 MHz) o sectoriales de (2-5 MHz), al poseer baja frecuencia nos permiten visualizar de un área

de mayor profundidad. y aplicando la herramienta de modo M permiten el estudio de la excursión diafragmática. (1)

Wait (1989) desarrolló una técnica para medir el grosor del diafragma basada en la ultrasonografía en modo M. Midió en necropsia el espesor diafragmático con ultrasonido y lo verificó midiendo el mismo segmento resecado del diafragma con una regla (coeficiente de correlación = 0,93, pendiente = 0,97). La fracción de engrosamiento (TF) se calculó como espesor en la inspiración máxima menos espesor al final de la espiración entre el espesor al final de la espiración. (4)

Boussuges (2009). Investigó un total de 210 adultos sanos (150 hombres y 60 mujeres). Utilizó el modo M para mostrar el movimiento de las estructuras anatómicas, midió la excursión diafragmática en adultos voluntarios sanos, informó que la reproducibilidad intraobservador del ultrasonido fue del 96 y 94%, e interobservador de 95 y 91% durante la respiración, demostrando que la ultrasonografía en modo M es un método reproducible para evaluar el movimiento diafragmático. (5)

Massimo Zambon (2017) refiere que el ultrasonido diafragmático es un método factible, altamente reproducible y que permite detectar la disfunción diafragmática en los pacientes críticos, siendo la tasa de engrosamiento diafragmático un índice preciso para valorar adecuadamente la carga de trabajo de los músculos respiratorios del paciente. (6)

Santana PV, Cardenas (2020) reporta que aunque la ecografía diafragmática presenta muchas ventajas, como lo son el hecho de que no es invasiva, no requiere radiación, es ampliamente disponible y proporciona resultados inmediatos, concluye que al utilizarse como herramienta coadyuvante para el diagnóstico de la disfunción diafragmática sigue siendo problemática. (7)

Aljibali AS (2023) concluye que si se sigue una técnica adecuada, la ecografía demuestra ser una herramienta diagnóstica altamente sensible y específica en comparación con la radiografía de tórax y la sospecha clínica, para el diagnóstico de la disfunción del diafragma la precisión que obtuvieron fue del 96,95 % en el lado derecho y del 92,37 % en el lado izquierdo del diafragma. (8)

Ana M Llamas-Álvarez (2017) en su estudio de revisión sistemática y metaanálisis analizó un total de diecinueve estudios que incluyeron 1071 personas, reportándose que la precisión de la ecografía de pulmón y de la excursión del diafragma tiene una sensibilidad del 75 % y una especificidad del 75 %. para predecir los resultados del destete ventilatorio en adultos en estado crítico. (9)

Marchioni A. (2018) evaluó a un total de 75 pacientes ingresados en su unidad de cuidados intensivos respiratorios y concluyó que la evaluación ecográfica diafragmática es fiable y precisa para identificar a los pacientes con mayor riesgo de fracaso del destete de la ventilación mecánica invasiva y peor pronóstico, observándose que aquellos

pacientes con disfunción diafragmática tienen un mayor riesgo de tasa de fallo de destete de la ventilación mecánica. (10)

A pesar de la evidencia positiva reportada en múltiples estudios de investigación del uso de la ecografía como método para evaluar y apoyar el destete ventilatorio, esta tiene algunas limitaciones; en primer lugar encontramos que todos los equipos de ultrasonido tienen ciertos límites de resolución inherentes los cuales varían en función del tipo de transductores utilizados; Asimismo, como sabemos la evaluación del hemidiafragma izquierdo a diferencia del derecho puede llegar a ser mucho más problemática y difícil según las características que tenga nuestro paciente y a la dificultad anatómica para evaluar el hipocondrio izquierdo.

Aymeric Le Neindre (2021) en su estudio de tipo revisión sistemática y metaanálisis donde se incluyeron 16 estudios (con 816 pacientes en total) concluye que la especificidad de la ecografía diafragmática para predecir el riesgo de fracaso de la extubación en pacientes críticos fue de moderada a alta. Sin embargo, la sensibilidad fue baja porque el destete de la ventilación mecánica también se ve afectado por factores que no están relacionados con el diafragma. (11)

Henry M Parada-Gereda (2023) realizó una revisión sistemática y metaanálisis que incluye 19 estudios (1204 pacientes), llega a la conclusión de que la medición de la excursión diafragmática y la fracción de engrosamiento diafragmático predicen la probabilidad de un destete exitoso de la ventilación mecánica con una precisión diagnóstica satisfactoria; sin embargo, evidencian una heterogeneidad significativa en los diferentes estudios incluidos y reportan que la precisión puede variar según los subgrupos específicos de pacientes en las unidades de cuidados intensivos. (12)

Como sabemos una de las limitaciones y quizá la más trascendente e importante estriba en que la realización y la correcta interpretación del ultrasonido es que depende completamente del conocimiento, entrenamiento y de la experiencia del operador que lo realiza, es decir que es un método de imagen operador dependiente.

Dhungana A, (2017) Encontró que la localización y la medición del ultrasonido diafragmático pueden ser más difícil en los pacientes críticamente enfermos en la unidad de cuidados intensivos, esto debido a la presencia de edema subcutáneo significativo y a la posición supina de los pacientes. Asimismo, concluye que la variabilidad también puede deberse a las variaciones en la adquisición e interpretación de las imágenes por el operador. (13)

AP Hernández-Morales (2022) concluye que se requiere cierta experiencia en la medición de las funciones del diafragma para poder apoyar al médico clínico con buena certeza, por lo que la precisión y la repetitividad de la excursión pueden llegar a afectarse dependiendo del grado de destreza de quien lo realice. (14)

Recientemente Haaksma, M.E (2022) entendiendo la problemática de que no existen, o sólo parcialmente, directrices metodológicamente sólidas sobre la metodología y la

adquisición de experiencia por los médicos radiólogos reunieron un consenso de 18 expertos donde se presentó el primer conjunto de declaraciones basadas en consenso sobre la metodología de la ecografía del diafragma para garantizar mediciones homogéneas y de alta calidad en la práctica clínica diaria y en la investigación. Acordaron que es necesario de un entrenamiento mínimo para utilizar la ultrasonografía del diafragma en la práctica clínica y que el umbral de este entrenamiento debería ser de al menos 40 estudios realizados, de los cuales la mitad deberían realizarse bajo supervisión por un médico experto. Sin embargo, el consenso alcanzado plantea una afirmación general que no tiene en cuenta la experiencia que el medico ya tenga previamente de otros estudios de ecografía. (15)

A pesar de la diversidad de estudios sobre el uso del ultrasonido diafragmático en los pacientes sanos, actualmente son pocos los estudios que han abordado el tema de la precisión y la reproducibilidad para medir el desplazamiento y engrosamiento diafragmático en los pacientes críticos bajo ventilación mecánica invasiva en la unidad de cuidados intensivos.

Entre los cuales encontramos a Mariani (2015) evaluó la presencia de la disfunción diafragmática en pacientes con ventilación mecánica invasiva prolongada; reportó una reproducibilidad interobservador de 91%. (16)

Goligher (2015) estableció la reproducibilidad de las mediciones en individuos bajo ventilación mecánica invasiva. Entre cinco observadores realizaron el estudio de ultrasonido diafragmático y midieron el porcentaje de engrosamiento en 96 personas bajo ventilación mecánica; demostraron su reproducibilidad y obtuvieron una concordancia Inter observador de 95%. (17)

## JUSTIFICACIÓN.

El ultrasonido se ha destacado como una técnica prometedora para la evaluación estructural y funcional del diafragma. Representa un método preciso, reproducible, portátil y sin uso de radiación ionizante.

Como sabemos los resultados encontrados de disfunción diafragmática en los pacientes bajo ventilación mecánica invasiva desempeñan un papel clave en su posterior manejo y éxito de destete ventilatorio, por lo tanto, se debe de buscar mantener una certeza diagnóstica y fiabilidad lo más alta posibles.

Un estudio adecuado de ultrasonido depende de varios factores como son los protocolos utilizados, las características del paciente y lo más importante la experiencia de los médicos radiólogos. Siendo el ultrasonido un método por imagen operador dependiente son trascendentales para esto un adecuado sistema de control de calidad, buena capacitación y supervisión del personal que lo realiza.

Idealmente la variabilidad en estas importantes evaluaciones entre radiólogos debería de ser bajas, sin embargo, en la práctica clínica diaria de nuestro hospital, así como en muchos hospitales del país los estudios de ultrasonido son realizados además de por médicos radiólogos adscritos en muchas ocasiones por médicos residentes de radiología con diferentes años de experiencia.

Dada la importancia que representa el uso del ultrasonido diafragmático como una herramienta clave para predecir el éxito o la falla del destete de la ventilación mecánica invasiva de los pacientes en terapia intensiva conviene medir la variabilidad del uso del ultrasonido diafragmático entre los observadores, esto con la finalidad de valorar su desempeño utilizando la herramienta y como una medida que nos permita identificar áreas de oportunidad de mejora y generar sugerencias que apoyen y fortalezcan el adiestramiento de los médicos residentes mediante la creación de mejores controles de calidad, capacitación y mejoras al plan de estudios que fortalezcan el adiestramiento de los médicos residentes.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.**

¿Se encontrará concordancia inter observador en la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto?

## **HIPÓTESIS.**

La concordancia de la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto no es diferente entre los observadores.

## **OBJETIVOS.**

- **Objetivos generales:**

Determinar la concordancia Inter observador de la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en pacientes en protocolo de destete ventilatorio de la unidad de terapia intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto.

- **Objetivos específicos:**

Medir ultrasonográficamente el grosor del diafragma en inspiración.

Medir ultrasonográficamente el grosor del diafragma en espiración.

Calcular la tasa de engrosamiento diafragmático.

Medir ultrasonográficamente la excursión diafragmática.

## **SUJETOS Y MÉTODOS.**

### **Tipo de estudio**

Prospectivo analítico de concordancia.

### **Metodología.**

#### **Lugar de realización**

Unidad de terapia intensiva de adultos del Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto”, San Luis Potosí, S. L. P.

#### **Universo de estudio**

Pacientes con ventilación mecánica invasiva mayor a 48 horas que sean mayores de edad, que cumplan con criterios de destete ventilatorio y que cuenten con formato de consentimiento informado firmado (Anexo 1).

Una médica radióloga y dos médicos residentes (uno de segundo y otro de tercer año) de la especialidad de imagenología del Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto”.

#### **Criterios de selección:**

#### **Inclusión**

- Pacientes hombres y Mujeres mayores de 18 años.
- Hospitalizados en el área de terapia intensiva.
- Uso de ventilación mecánica invasiva mayor a 48 horas.
- Cumplan con parámetros clínicos de destete ventilatorio.

#### **Exclusión**

- Pacientes menores de edad.
- Pacientes con uso de ventilación mecánica menor a 48 horas.
- Pacientes que no cumplan criterios clínicos de destete ventilatorio.
- Pacientes en quienes, debido a sus condiciones médicas no se pueda realizar adecuadamente o no sea valorable el ultrasonido diafragmático como por ejemplo la presencia de heridas o edema de los tejidos blandos.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

**Cuadro 1. Variables en el estudio:**

Dependiente				
Variable	Definición operacional	Valores posibles	Unidades	Tipo de variable
Concordancia interobservador de la medición de ultrasonido de diafragma (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática)	concordancia interobservador Blend/Lin > 0.85 ICC > 0.95	Positivo = Ambos valores Bland/Lin > 0.85 ICC > 0.95  Negativo = Ambos valores Bland/Lin < 0.85 ICC < 0.95	No aplica	Dicotómica
Independiente				
Excursión diafragmática	Medición por ultrasonido en modo M de la movilidad del diafragma en inspiración y espiración	1 a 20	milímetros	Continua
Tasa de engrosamiento diafragmático	Grosor del diafragma en inspiración- grosor del diafragma en espiración / grosor diafragma en espiración.	1 a 80%	Porcentaje	Discreta
Variables de Control (confusoras)				
Variable	Definición operacional	Valores posibles	Unidades	Tipo de variable
Edad	Años cumplidos por el paciente	>18 años	Años	Discreta
Sexo	Sexo biológico del paciente	1 = mujer 2 = hombre	NA	Dicotómica

## **Tipo de muestreo.**

Por cuota

## **Cálculo del tamaño de la muestra**

Se enfocó a la realización de la recolección de una muestra de 35 pacientes mayores de 18 años que estuvieran bajo ventilación mecánica invasiva en la unidad de terapia intensiva del Hospital Central Ignacio Morones Prieto y que cumplieran con parámetros de destete ventilatorio y con los criterios de inclusión, a quienes se les realice ultrasonido diafragmático por los tres observadores participantes.

De acuerdo a Shieh, G (2013) se tiene como recomendación la realización de concordancia con un mínimo total de 15 a 20 observaciones. (18)

## **Método de aleatorización**

No aplica.

## **Prueba piloto**

No aplica.

## **Estrategia de búsqueda bibliográfica**

Se realizó una búsqueda de estudios en la base de datos MEDLINE, a través de Pubmed, mediante el empleo de terminología del tesoro Medical Subject Headings (MeSH). Dicha búsqueda se refleja de forma concisa.

## **Cuadro 2. Pregunta PICO**

Paciente	Intervención	Comparación	Resultado
Pacientes adultos intubados con ventilación mecánica en la unidad de terapia intensiva	Ultrasonido diafragmático	Fluoroscopia y tomografía computarizada	Concordancia inter observador de la medición de ultrasonido de diafragma (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática)

**Cuadro 3. Descriptores**

Palabra clave	Decs	Sinónimos	Mesh	Synonyms	Definition
Diafragma	Diafragma	No aplica	Diaphragm	Diaphragms Respiratory Diaphragm Diaphragm, Respiratory Diaphragms, Respiratory Diaphragms	El tabique musculofibroso que separa la cavidad torácica de la cavidad abdominal. La contracción del diafragma aumenta el volumen de la cavidad torácica y ayuda a la inhalación.
Ecografía	Ecografía	Ecografía Médica Ecotomografía Imagen Ultrasonográfica Imagen Ultrasonica Imagen de Ultrasonido Imagen por Ultrasonido Sonografía Médica Diagnóstico por Ultrasonido Ecotomografía por Computador Tomografía ultrasónica	Ultrasonography	Diagnostic Ultrasound Diagnostic Ultrasounds Ultrasound, Diagnostic Ultrasounds, Diagnostic Ultrasound Imaging Imaging, Ultrasound Imagings, Ultrasound Echotomography Ultrasonic Imaging Imaging, Ultrasonic Sonography, Medical Medical Sonography Ultrasonographic Imaging Imaging, Ultrasonographic Imagings, Ultrasonographic Imagings Echography	Visualización de las estructuras profundas del cuerpo mediante el registro de los reflejos o ecos de impulsos ultrasónicos dirigidos hacia los tejidos. El uso del ultrasonido para imágenes o diagnóstico emplea frecuencias que van desde 1,6 hasta 10 megahercio

				Diagnosis, Ultrasonic Diagnoses, Ultrasonic Ultrasonic Diagnoses Ultrasonic Diagnosis Echotomography , Computer Computer Echotomography Tomography, Ultrasonic Ultrasonic Tomography	
Ventilación mecánica	Respiración artificial	Ventilación mecánica	Respiración, Artificial	Artificial Respiration Artificial Respirations Respirations, Artificial Ventilation, Mechanical Mechanical Ventilations Ventilations, Mechanical Mechanical Ventilation	Cualquier método de respiración artificial que emplea mecánicos o por medios no mecánicos para forzar el aire dentro y fuera de los pulmones. La respiración artificial o la ventilación se utiliza en personas que han dejado de respirar o tienen insuficiencia respiratoria para aumentar su consumo de oxígeno (O2) y la excreción de dióxido de carbono (CO2).

**Cuadro 4. Estrategia de búsqueda:**

Fuente de información	Estrategia de búsqueda	Limites	Filtros (título, resumen, criterios de selección)	Total
PubMed	((("Ultrasonography"[Mesh]) AND "Diaphragm"[Mesh]) AND "Respiration, Artificial"[Mesh])	0	0	7
	((("Ultrasonography"[Mesh]) OR "Ultrasound" OR "Ultrasonic Imaging" OR "Sonography" OR "Echography" OR "Imaging" OR "Ultrasonographic imaging" AND "Diaphragm"[Mesh]) AND "Respiration, Artificial"[Mesh]) OR Mecanical ventilation"AND "Ventilator Weaning"[Mesh]	0	0	24
	((("Ultrasonography"[Mesh]) OR "Ultrasound" OR "Ultrasonic Imaging" OR "Sonography" OR "Echography" OR "Imaging" OR "Ultrasonographic imaging" AND "Diaphragm"[Mesh]) AND "Respiration, Artificial"[Mesh]) OR Mecanical ventilation Filters: Abstract, Free full text, Meta-Analysis, Review, Systematic Review, in the last 5 years	0	1 (full text)	11
BVS	(Ultrasonografía) AND (Diafragma) AND (Respiración, Mecánica)	0	0	288
	(ultrasonografía) AND (diafragma) AND (respiración, mecánica) AND (fulltext:"1" OR "1") AND mj:("Diafragma" OR "Ultrasonografía") AND la:("en" OR "es"))	1(idioma)	1(texto completo)	193
	(ultrasonografía) AND (diafragma) AND (respiración, mecánica) AND (fulltext:"1" OR "1") AND mj:("Diafragma" OR "Ultrasonografía") AND la:("en" OR "es"))		1 diafragma y ultrasonografía	139

	AND ( limit:("adult")) AND (mj:("Ultrasonografía"))	1(adulto) 1 ultrasonografía		34 7
Términos libres en ingles en base de datos Pubmed	ultrasonography diaphragm	0 1(adulto)	0 0	69 21

### Análisis

Primeramente, se realizará la prueba de Shapiro-Wilk y qqplot para la valoración de la distribución de los datos. En caso de ser de distribución normal se procederá a la realización de las pruebas de Bland y de Lin, así como el índice de correlación intraclase (ICC) para la medición de la concordancia orgánica Inter observador.

## ÉTICA.

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud ésta es una investigación con riesgo mínimo. (19).

Todos los procedimientos se apegan a las normas éticas NOM-012-SSA3-2012. (20) y a la Declaración de Helsinki y sus enmiendas. (21)

El presente estudio de investigación cuenta con la aprobación del comité de investigación y de ética en investigación del Hospital Central Dr. Ignacio Morones Prieto con el registro 41-23.

### Recursos humanos y materiales

#### Recursos humanos:

- **Investigador principal:** Dra. Margot Camargo Zebadúa. Revisión y correcciones del proyecto, guía en el diseño del estudio, revisión y correcciones de los resultados y conclusiones.
- **Asesor metodológico:** Dra. Lourdes Marcos Ramírez. Revisión, guía y corrección en el diseño metodológico, cálculo del tamaño de muestra, revisión del análisis estadístico de los datos y los resultados. Capacitación a tesista y colaboradores sobre la técnica y protocolo de ultrasonido diafragmático. Realización de ultrasonido diafragmático para primera concordancia.
- **Tesista:** Dr. Ernesto Rodríguez Soto. Diseño, desarrollo y correcciones del proyecto de investigación, revisión de la literatura disponible. análisis de los datos obtenidos, obtención de resultados, discusión y conclusiones. Realización de ultrasonido diafragmático en la primer y segunda concordancia. Elaboración de consentimiento informado (Anexo 1), elaboración de Revocación del consentimiento informado (Anexo 2), elaboración de formato de recolección de datos (Anexo 3) y cronograma de trabajo (Anexo 4).
- **Colaborador 1:** Dr. Abel Guerrero Jaime. Realización de ultrasonido diafragmático para segunda concordancia.
- **Colaborador 2:** Dr. Carlos Olán Uscanga. selección de los pacientes con ventilación mecánica invasiva que cumplan con criterios de destete ventilatorio para la realización de los ultrasonidos.

### **Recursos materiales:**

- Se cuenta con 2 Equipos de ultrasonido General Electric Healthcare Venue, uno de ellos perteneciente a el departamento de Unidad de terapia intensiva del hospital central con el cual se realizará la recolección total de la muestra y contando con otro equipo de respaldo en el departamento de Radiología e Imagen del hospital central que pudiera ser utilizado en caso necesario; para la realización de todos los estudios los observadores seguirán un protocolo estandarizado de ultrasonido diafragmático (Anexo 5).
- Transductor de ultrasonido lineal de alta frecuencia disponible en los dos equipos de ultrasonido.
- Transductor de ultrasonido convexo de baja frecuencia disponible en los dos equipos de ultrasonido.
- Formato de llenado para recolección de los datos obtenidos en los estudios desarrollado por el tesista (Anexo 4)
- Formato de consentimiento informado desarrollado por el tesista.(Anexo 1)
- Infraestructura del hospital.
- Hojas de máquina y lapicero, Impresora y equipo de cómputo.

### **Capacitación del personal**

Colaborador 1 y tesista que realizarán la muestra recibirán capacitación en medición ultrasonográfica del grosor diafragmático en inspiración y espiración, cálculo de la tasa de engrosamiento diafragmático, excursión diafragmática, correcto llenado de la hoja de recolección de datos, correcto llenado del consentimiento informado y de la revocación del mismo por parte de la asesora metodológica en 1 sesión con una duración de 50 minutos.

Para disminuir el sesgo entre los observadores todos los exámenes de ultrasonido se realizarán en la unidad de terapia intensiva de adultos del Hospital Central Ignacio Morones Prieto a la cabecera del paciente previa firma del consentimiento informado por el familiar o tutor con el mismo equipo de ultrasonido y utilizando el mismo protocolo estandarizado de ultrasonido diafragmático (anexo 5), solo se realizarán los estudios de ultrasonido a los pacientes que cumplan con los criterios de inclusión. Además los observadores realizaran los ultrasonidos sin conocer los datos clínicos del paciente y sin conocer los resultados obtenidos de los otros observadores.

### **Financiamiento**

Ninguno. La unidad de terapia intensiva y el departamento de Radiología e Imagen cuentan con equipo el equipo de ultrasonido y con los transductores necesarios para la realización del ultrasonido diafragmático, así como gel para ultrasonido y sanitas. Por lo cual no se genera costo por parte de las unidades hospitalarias.

No se hará ningún cargo ni al hospital ni al familiar del paciente.

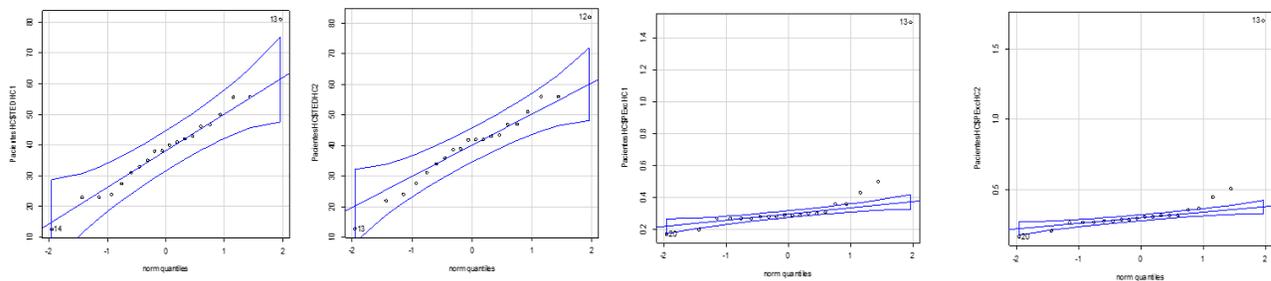
## RESULTADOS.

En un periodo de 12 meses en el Hospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto” se recolectaron un total de 97 pacientes, un total de 56 hombres y de 41 Mujeres en el rango de edad de 18 a 76 años, de los cuales se obtuvo una muestra de 35 Pacientes para la realización del presente estudio. se enfocó en la concordancia de los dos parámetros del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática). Para analizar la concordancia se planeó la realización de dos concordancias interobservador diferentes, una con médico radiólogo y un médico residente de radiología de tercer año y la segunda entre el medico residente de tercer año y un médico residente de segundo año. La primera concordancia se obtuvo de un total de 20 pacientes y la segunda concordancia un total de 15 pacientes.

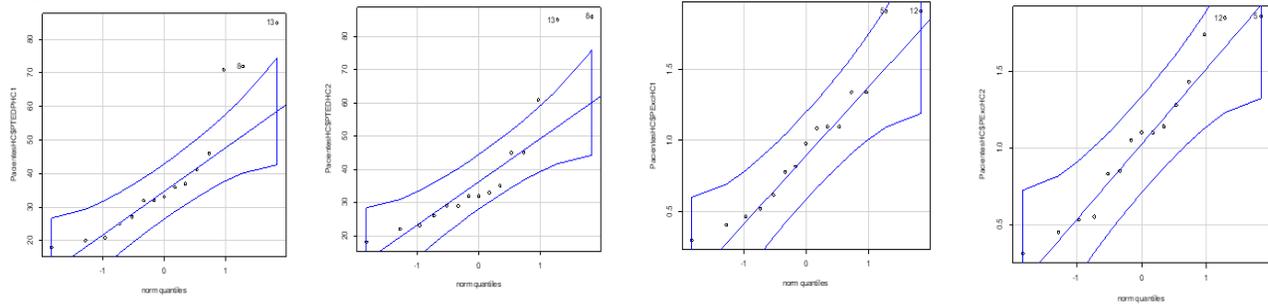
Por el tipo de variable (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) que es continua se realizó la prueba de Lin y bland así como el ICC (correlación intraclass) donde se toma como buena concordancia mayor de 0.75. La distribución de los datos se hacen previo al análisis estadístico para saber que tipo de prueba de concordancia se realiza (salió distribución normal para qqplot) que es lo que se requiere para la prueba de Bland y Lin.

Previo al análisis estadístico de las dos concordancias se procedió a la distribución de los datos de las variables continuas de interés (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática). Lo cual se representa en las figuras 1-4 para la primera concordancia, así como en las figuras 5-8 para la segunda concordancia, ambas mostraron una distribución normal de los datos mediante qqplot y mediante la prueba de Shapiro-Wilk con una  $p < 0.05$ , por lo que se procedió a la realización de la concordancia mediante las pruebas de Lin y Bland, así como el ICC (correlación intraclass).

**Figuras 1-4. Distribución de los datos mediante qqplot y prueba de Shapiro-Wilk de la primera concordancia (Observador 1 y 2).**



**Figuras 5-8.** Distribución de los datos mediante qqplot y prueba de Shapiro-Wilk de la segunda concordancia (Observador 2 y 3).



En el cuadro 5 y 6, se muestran los resultados de la primera concordancia realizada, en la cual se encontró una media de diferencia de -0.08 para la variable tasa de engrosamiento diafragmático y de -0.01 para la excursión diafragmática con un ICC mayor de 0.95.

**Cuadro 5.** Prueba de Bland de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).

Prueba de Bland				
Variable	Media de diferencias	Limite Superior	Limite inferior	Coefficiente de repetibilidad
PTEDPHC1/2	-0.08	1.11	-1.28	1.20
PTEExcHC1/2	-0.01	0.07	-0.10	0.08

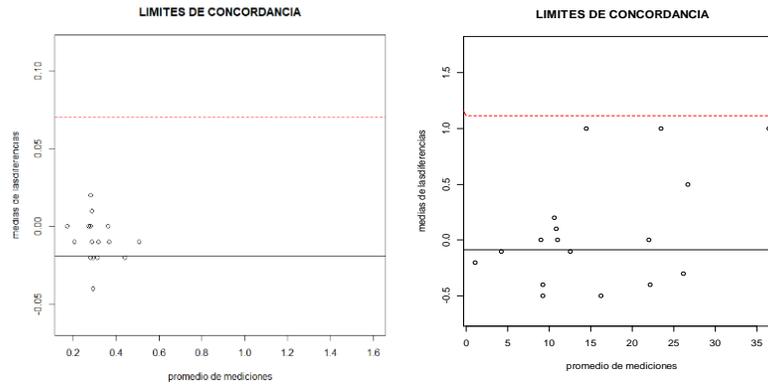
P=Pacientes, TED= tasa de engrosamiento diafragmático, Exc=Excursión, HC=Hospital Central  
1=Observador 1, 2=Observador 2

**Cuadro 6.** Prueba de Lin de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).

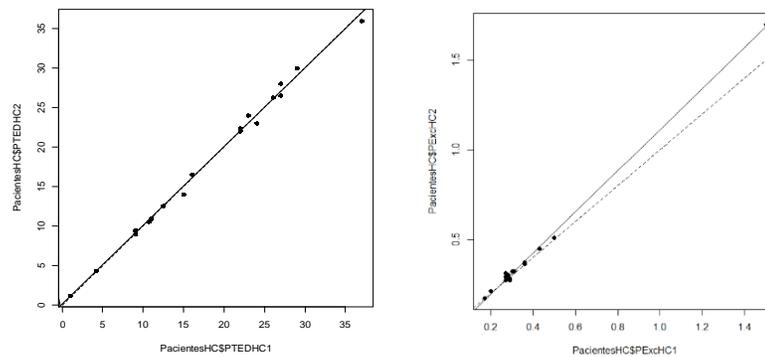
Prueba de Lin				ICC
Variable	Estimado	Superior	Inferior	Valor
PTEDPHC1/2	0.99	0.99	0.99	0.99
PExcHC1/2	0.98	0.97	0.99	0.99

P=Pacientes, TED= tasa de engrosamiento diafragmático, Exc=Excursión, HC=Hospital Central  
1=Observador 1, 2=Observador 2.

**Figura 9 y 10.** Límites de concordancia prueba de Bland de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).



**Figura 11 y 12.** Límites de concordancia prueba de Lin de la concordancia 1 (Observador 1 y 2).



En el cuadro 7 y 8 se muestran los resultados de la segunda concordancia realizada donde se obtuvo una media de diferencia de -0.33 para la variable tasa de engrosamiento diafragmático y de -0.09 para la excursión diafragmática con un ICC mayor de 0.95.

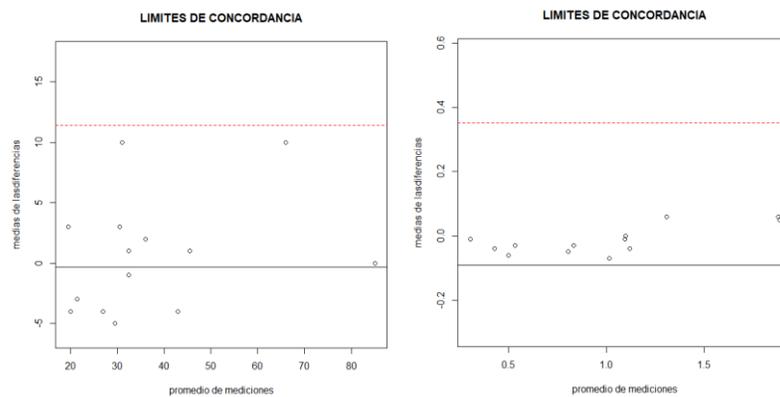
**Cuadro 7.** Prueba de Bland de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).

Prueba de Bland				
Variable	Media de diferencias	Limite Superior	Limite inferior	Coefficiente de repetibilidad
PTEDPHC1/2	-0.33	11.3	-12	11.72
PTExcHC1/2	-0.09	0.35	-0.5	0.44

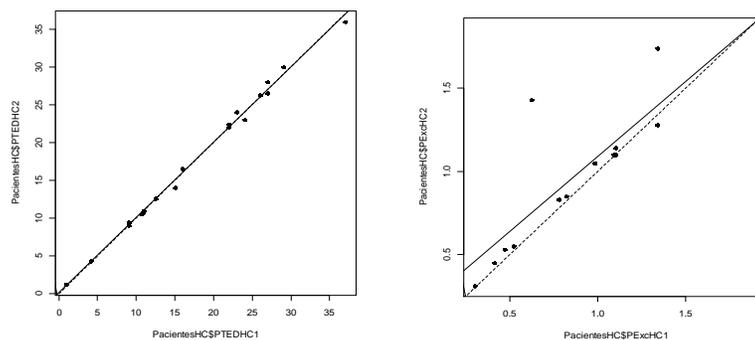
**Cuadro 8.** Prueba de Lin de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).

Prueba de Lin				ICC
Variable	Estimado	Superior	Inferior	Valor
PTEDPHC1/2	0.95	0.98	0.88	0.96
PExcHC1/2	0.88	0.95	0.69	0.90

**Figura 13 y 14.** Límites de concordancia prueba de Bland de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).



**Figura 15 y 16.** Límites de concordancia prueba de Lin de la concordancia 2 (Observador 2 y 3).



## DISCUSIÓN.

A partir de los resultados obtenidos observamos que existe buena concordancia en la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática) en los pacientes en protocolo de destete ventilatorio entre los observadores, encontrando que nuestra hipótesis es correcta.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen estudios previos de reproducibilidad Inter observador del ultrasonido diafragmático en los pacientes bajo ventilación mecánica invasiva como los estudios publicados por los autores Boussuges en 2009 y Mariani y Goligher en 2015, en los cuales se señala que la concordancia Inter observador para la medición del ultrasonido diafragmático en promedio va del 91 al 96%, Observamos en nuestro estudio que los resultados que obtuvimos concuerdan de gran manera con los estudios previos, encontrando nosotros que para la tasa de engrosamiento la concordancia inter observador fue del 96 al 99% y para la excursión diafragmática la concordancia Inter observador encontrada fue del 90 al 99%.

Por lo anterior podemos concluir que se obtuvieron resultados que concuerdan con los estudios previos y que los resultados de las dos concordancias realizadas entre los observadores son positivos, sin embargo, al interpretar a detalle estos resultados, podemos identificar que existen mejores resultados en la primera concordancia realizada, la cual se realizó entre el medico radiólogo(observador 1) y el médico residente de tercer año(observador 2) reportándose una concordancia en la tasa de engrosamiento diagramático y excursión diafragmática ambas siendo del 99%, en comparación con los resultados obtenidos de la segunda concordancia la cual se realizó entre los dos médicos residentes de radiología tercer año(observador 2) y de segundo año(observador 3), en la que los resultados arrojan una menor concordancia inter observador siendo hasta del 90% para la excursión diafragmática y del 96% para la tasa de engrosamiento diafragmático.

Esto pudiera concordar con lo que se ha reportado previamente en algunos estudios como los de Dhugana en 2017 y Hernandez-Morales en 2022 que es necesario contar con cierto grado de experiencia en la medición de las diferentes funciones del diafragma, principalmente en la excursión diafragmática para poder realizar un estudio con buena certeza diagnóstica y que la variabilidad, la precisión y la repetibilidad del mismo puede deberse a las variaciones en la adquisición e interpretación de las imágenes por el operador, siendo este un estudio operador dependiente, observando que con un mayor grado de capacitación y con un mayor grado de experiencia en el número de estudios realizados se puede obtener un efecto positivo en la precisión de los estudios de ultrasonido, es importante tomar en cuenta también que la localización y la medición de las funciones diafragmáticas por ultrasonido en estos pacientes que están críticamente muy enfermos y bajo ventilación mecánica invasiva en las unidades de terapia intensiva es mucho mas difícil a comparación con los pacientes sanos, por lo tanto es de vital importancia contar con una buena capacitación y adiestramiento practico de los médicos, principalmente los médicos residentes para así lograr minimizar la variabilidad en las mediciones del grosor y de la excursión diafragmática para poder maximizar la precisión del ultrasonido, ya que el resultado obtenido podrá coadyuvar al médico tratante para la toma de decisiones de cuando realizar una extubación del paciente y así aumentar la tasa de éxito de la misma y evitar complicaciones o reintubaciones posteriores.

Actualmente dentro de nuestro plan de estudios de la especialidad de radiología e imagen en nuestro hospital sede no se cuenta con clases teóricas o prácticas de ultrasonido torácico, pulmonar o diafragmático para los médicos residentes, siendo esta un área de oportunidad de vital importancia de acuerdo con lo ya mencionado, por lo cual proponemos como un plan de mejora la realización de un módulo de capacitación teórico-practico de ultrasonido de tórax para los médicos residentes.

### **LIMITACIONES Y/O NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN.**

Dentro de las limitaciones encontradas en el presente estudio, tenemos en primer lugar al número de muestra, incluimos en el presente estudio una muestra de 35 pacientes, por lo cual sería conveniente aumentar la misma, sin embargo, debido a los criterios inclusión y la poca cantidad de pacientes que cumplen estos criterios sería difícil captar un numero significativamente mayor.

En segundo lugar, nuestro estudio se realizó por tres observadores, siendo pertinente realizar más estudios de concordancia con un mayor numero de observadores para tener un mayor número de resultados.

en tercer lugar, sería importante realizar una concordancia intraobservador para evaluar el grado de consistencia y aumentar la fiabilidad del estudio.

### **CONCLUSIONES.**

Después de analizar los resultados de la muestra de 35 pacientes realizada por tres observadores obtuvimos una buena concordancia Inter observador en la medición del ultrasonido diafragmático (tasa de engrosamiento y excursión diafragmática), resultado que concuerda con otros estudios publicados, sin embargo, logramos identificar diferencias sustanciales entre nuestras dos concordancias realizadas.

Observamos una concordancia inter observador más alta entre el radiólogo y el residente de mayor año a comparación con el resultado de la concordancia entre el residente de tercer año y el residente de segundo año, siendo esto atribuible al nivel de experiencia y capacitación más alto de los observadores más experimentados.

Dada la importancia que representa el ultrasonido diafragmático para coadyuvar en la extubación exitosa en los pacientes que se encuentran bajo ventilación mecánica invasiva de la unidad de terapia intensiva es necesario que los médicos operadores tengan la mejor precisión posible para poder hacer un diagnóstico oportuno de estos pacientes, se propone la implementación como un plan de mejora de un módulo teórico-practico de capacitación para los médicos residentes así como su supervisión y evaluación para mejorar la precisión diagnostica en estos pacientes particularmente difíciles y críticos.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Acosta C, Urbano M, Tusman G. Estudio sonográfico del diafragma. Una nueva herramienta diagnóstica para el anestesiólogo. *Revista Chilena de Anestesia*. 2018;47(2):110-124.
2. Pham T, Brochard LJ, Slutsky AS. Mechanical Ventilation: State of the Art. *Mayo Clin Proc*. 2017 Sep;92(9):1382-1400.
3. Haber K, Asher M, Freimanis AK. Echographic evaluation of diaphragmatic motion in intra-abdominal diseases. *Radiology*. 1975 Jan;114(1):141-4. doi: 10.1148/114.1.141. PMID: 1208854. <https://doi.org/10.1148/114.1.141> PMID:1208854
4. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol*. 1989;67(4):1560–8.
5. Boussuges A, Gole Y, Blanc P. Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*. 2009 Feb;135(2):391-400. doi: 10.1378/chest.08-1541. Epub 2008 Nov 18. PMID: 19017880.
6. Zambon M, Greco M, Bocchino S, Cabrini L, Beccaria PF, Zangrillo A. Assessment of diaphragmatic dysfunction in the critically ill patient with ultrasound: a systematic review. *Intensive Care Med*. 2017 Jan;43(1):29-38
7. Santana PV, Cardenas LZ, Albuquerque ALP, Carvalho CRR, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol*. 2020 Nov 20;46(6):e20200064. doi: 10.36416/1806-3756/e20200064. PMID: 33237154; PMCID: PMC7909996.
8. Aljibali AS. Ultrasound utilization in the diagnosis of diaphragm dysfunction compared to other modalities: A retrospective study. *Int J Health Sci (Qassim)*. 2023 May-Jun;17(3):11-17. PMID: 37151744; PMCID: PMC10155251.
9. Llamas-Álvarez A, Tenza-Lozano E, Latour-Pérez J. Diaphragm and Lung Ultrasound to Predict Weaning Outcome. *Chest*. 2017;152(6):1140-1150.
10. Marchioni A, Castaniere I, Tonelli R, Fantini R, Fontana M, Tabbì L, Viani A, Giaroni F, Ruggieri V, Cerri S, Clini E. Ultrasound-assessed diaphragmatic impairment is a predictor of outcomes in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease undergoing noninvasive ventilation. *Crit Care*. 2018 Apr 27;22(1):109. doi: 10.1186/s13054-018-2033-x. PMID: 29703214; PMCID: PMC5921560.

11. Le Neindre A, Philippart F, Luperto M, Wormser J, Morel-Sapene J, Aho SL, Mongodi S, Mojoli F, Bouhemad B. Diagnostic accuracy of diaphragm ultrasound to predict weaning outcome: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud*. 2021 May;117:103890. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2021.103890. Epub 2021 Jan 29. PMID: 33588324. 111111000000
12. Parada-Gereda HM, Tibaduiza AL, Rico-Mendoza A, Molano-Franco D, Nieto VH, Arias-Ortiz WA, Perez-Terán P, Masclans JR. Effectiveness of diaphragmatic ultrasound as a predictor of successful weaning from mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023 May 5;27(1):174. doi: 10.1186/s13054-023-04430-9. PMID: 37147688; PMCID: PMC10161591.
13. Dhungana A, Khilnani G, Hadda V, Guleria R. Reproducibility of diaphragm thickness measurements by ultrasonography in patients on mechanical ventilation. *World J Crit Care Med*. 2017 Nov 4;6(4):185-189. doi: 10.5492/wjccm.v6.i4.185. PMID: 29152465; PMCID: PMC5680345. 111333
14. Hernández Morales AP, Pensado Piedad Lya E, Juárez Hernández F, Sotelo Robledo R. Diafragma. Anatomía y evaluación por ecografía. *Anales de Radiología Mexico*. 2022;21:43-52
15. Haaksma ME, Smit JM, Boussuges A, Demoule A, Dres M, Ferrari G, Formenti P, Goligher EC, Heunks L, Lim EHT, Mokkink LB, Soilemezi E, Shi Z, Umbrello M, Vetrugno L, Vivier E, Xu L, Zambon M, Tuinman PR. EXpert consensus On Diaphragm UltraSonography in the critically ill (EXODUS): a Delphi consensus statement on the measurement of diaphragm ultrasound-derived parameters in a critical care setting. *Crit Care*. 2022 Apr 8;26(1):99. doi: 10.1186/s13054-022-03975-5. PMID: 35395861; PMCID: PMC8991486.
16. Mariani LF, Bedel J, Gros A, Lerolle N, Milojevic K, Laurent V, Hilly J, Troché G, Bedos JP, Planquette B. Ultrasonography for Screening and Follow-Up of Diaphragmatic Dysfunction in the ICU: A Pilot Study. *J Intensive Care Med*. 2016 Jun;31(5):338-43. doi: 10.1177/0885066615583639. Epub 2015 May 14. PMID: 25979406.
17. Goligher EC, Laghi F, Detsky ME, Farias P, Murray A, Brace D, Brochard LJ, Bolz SS, Rubenfeld GD, Kavanagh BP, Ferguson ND. Measuring diaphragm thickness with ultrasound in mechanically ventilated patients: feasibility, reproducibility and validity. *Intensive Care Med*. 2015 Apr;41(4):642-9. doi: 10.1007/s00134-015-3687-3. Epub 2015 Feb 19. Erratum in: *Intensive Care Med*. 2015 Apr;41(4):734. Sebastien-Bolz, Steffen [corrected to Bolz, Steffen-Sebastien]. PMID: 25693448.
18. Shieh G. Sample size requirements for the design of reliability studies: precision consideration. *Behav Res Methods*. 2014 Sep;46(3):808-22. doi: 10.3758/s13428-013-0415-1. PMID: 24338600.

19. Reglamento de la ley general de salud en materia de investigación para la salud.
20. NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos.
21. Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Recomendaciones para guiar a los médicos en la investigación biomédica en personas.