

**ECOGRAFÍA MUSCULAR EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS:  
VALORES BASALES Y TASA DE CAMBIO DE LA MASA MUSCULAR  
DIAFRAGMÁTICA. UN ESTUDIO OBSERVACIONAL DESCRIPTIVO  
LONGITUDINAL**

**POR: KLGA. LIC. ALINE CATALINA ARAYA BUSTAMANTE**

Actividad de Grado presentada a la Facultad de Medicina de la Universidad del Desarrollo para optar al grado académico de Magíster en Terapia Física y Rehabilitación (MAKI)

**PROFESORES GUÍAS:**

**Tutor: KLGO. MSC. JORGE MOLINA BLAMEY,  
Co-tutor: KLGO. MSC. PhD (c) FELIPE GONZALEZ SEGUEL**

**SANTIAGO  
Abril 2025**

La autora declaran no tener conflictos de interés en relación con el presente manuscrito. El presente trabajo no recibió financiamiento económico institucional o gubernamental, ni de la industria farmacéutica

© Se autoriza la reproducción de esta obra en modalidad acceso abierto para fines académicos o de investigación, siempre que se incluya la referencia bibliográfica.  
Esta Actividad de Grado está en formato de artículo científico, según formato de la REVISTA: REVISTA MÉDICA DE CHILE.

Normas de publicación disponible en: <https://www.scielo.cl/revistas/rmc/einstruc.htm>

Dedicado a mis pilares en esta vida Gracia, Juan Carlos, Maite y Patricio quienes nunca han dejado de creer en mis sueños; como también a mis abuelos Elena y Sergio; y mi bisabuela Edita Yolanda este trabajo es por y para ustedes.

## TABLA DE CONTENIDOS

Portada.....	1
Declaración conflictos de interés.....	2
Permiso de reproducción.....	3
Dedicatoria.....	5
Tabla de contenidos.....	6
Resumen.....	7-8
Introducción.....	9-10
Metodología.....	11 -14
- Diseño del estudio.....	11
- Participantes.....	11
- Procedimiento.....	12
- Extracción de datos.....	12
- Análisis de imágenes ecográficas.....	12- 13
- Análisis estadísticos.....	13- 14
Resultados.....	14 - 15
Discusión.....	16 - 18
Conclusión.....	19
Referencias.....	20 - 24
Agradecimientos.....	25

## RESUMEN

**Título:** “Ecografía muscular en la unidad de cuidados intensivos: valores basales y tasa de cambio de la masa muscular diafragmática”. Un estudio observacional descriptivo longitudinal.

**Introducción:** La inmovilidad en UCI y la ventilación mecánica provocan pérdida acelerada de masa muscular, afectando especialmente al diafragma. La ecografía musculoesquelética permite evaluar estos cambios de forma no invasiva y sin cooperación del paciente. Sin embargo, la falta de estandarización limita su aplicación clínica. Este estudio busca describir los valores ecográficos del diafragma durante la primera semana de hospitalización en UCI, aportando información útil para el contexto chileno.

**Objetivo:** Determinar valores basales e identificar la tasa de cambio de la masa muscular diafragmática durante la primera semana en adultos hospitalizados en UCI.

**Método:** Se realizó un estudio descriptivo longitudinal de cohorte en dos centros de UCI en Santiago de Chile. Se incluyeron adultos hospitalizados con posibilidad de evaluación ecográfica en las primeras 48 horas, excluyéndose pacientes con antecedentes neuromusculares o condiciones que impidieran las mediciones. Se midieron variables clínicas y sociodemográficas, y se realizaron ecografías diafragmáticas por kinesiólogos capacitados. Las imágenes fueron analizadas con ImageJ y los datos procesados con STATA 15.0. Se utilizó estadística descriptiva, prueba de Wilcoxon y regresión lineal múltiple, considerando un nivel de significancia del 5%.

**Resultados:** De 155 pacientes evaluados, 60 cumplieron los criterios. Se realizaron 151 mediciones, generando 1.819 imágenes. La mediana de edad fue 53,7 años; 70% eran hombres. El grosor diafragmático disminuyó 8,9%, la excursión 15% y la fracción de engrosamiento 24,5%. La eco-intensidad aumentó 19,8% (todas con  $p < 0,001$ ). Se observaron asociaciones diferenciales entre centros, especialmente entre IMC y grosor, y entre días en VM y excursión.

**Conclusiones:** La ecografía evidenció deterioro progresivo de la masa muscular diafragmática durante la primera semana de hospitalización. Se confirma su utilidad como herramienta sensible y reproducible para el monitoreo temprano en pacientes críticos. Se recomienda estandarizar los protocolos y ampliar la muestra para mejorar la validez externa de futuros estudios.

**Palabras claves:** *“Unidad de cuidados críticos”, “masa muscular”, “diafragmática”, “ultrasonido”.*

**Title: “Muscle Ultrasound in the Intensive Care Unit: Baseline Values and Rate of Change of Diaphragmatic Muscle Mass.” A Descriptive Longitudinal Observational Study**

**Introduction:** Immobility and mechanical ventilation in the ICU lead to rapid muscle mass loss, particularly affecting the diaphragm. Musculoskeletal ultrasound offers a non-invasive method to assess these changes without requiring patient cooperation. However, the lack of standardization limits its clinical application. This study aims to describe diaphragmatic ultrasound values during the first week of ICU hospitalization, providing useful information for the Chilean context.

**Objective:** To determine baseline values and identify the rate of change in diaphragmatic muscle mass during the first week in adults hospitalized in the ICU.

**Method:** A descriptive longitudinal cohort study was conducted in two ICU centers in Santiago, Chile. Adults hospitalized with the possibility of ultrasound evaluation within the first 48 hours were included, excluding patients with neuromuscular history or conditions preventing measurements. Clinical and sociodemographic variables were measured, and diaphragmatic ultrasounds were performed by trained physiotherapists. Images were analyzed with ImageJ, and data processed with STATA 15.0. Descriptive statistics, Wilcoxon test, and multiple linear regression were used, considering a 5% significance level.

**Results:** Out of 155 patients evaluated, 60 met the criteria. A total of 151 measurements were performed, generating 1,819 images. The median age was 53.7 years; 70% were men. Diaphragmatic thickness decreased by 8.9%, excursion by 15%, and thickening fraction by 24.5%. Echo intensity increased by 19.8% (all with  $p < 0.001$ ). Differential associations were observed between centers, especially between BMI and thickness, and between days on mechanical ventilation and excursion.

**Conclusions:** Ultrasound revealed progressive deterioration of diaphragmatic muscle mass during the first week of hospitalization. Its utility is confirmed as a sensitive and reproducible tool for early monitoring in critically ill patients. Standardizing protocols and expanding the sample size are recommended to improve the external validity of future studies.

**Keywords:** *Intensive Care Unit, Muscle, Skeletal, Diaphragm, Ultrasonography.*

## INTRODUCCIÓN

Los usuarios en la unidad de cuidados intensivos (UCI) permanecen inactivos entre el 92 y 98% del tiempo de hospitalización provocando una pérdida de masa muscular<sup>1</sup>. La masa muscular diafragmática es particularmente vulnerable a la inactividad inducida por la ventilación mecánica invasiva (VMI), lo que compromete su capacidad de generar fuerza en la fase inspiratoria de  $4.6 \pm 1.15$  (2—7) a  $4.59 \pm 1.59$  (2.1—9) centímetros (cms) y espiratoria de  $1.73 \pm 0.43$  (1—2.8) a  $1.85 \pm 0.35$  (1.1—2.8) cms. Lo que produce atrofia diafragmática con mayor rapidez que en otros músculos esqueléticos con cambios en su amplitud de movimiento desde  $0.63 \pm 0.23$  (0.25—1.19) a  $0.57 \pm 0.22$  (0.19—1.06)  $mV^2$ . Estudios en humanos y animales han evidenciado su desarrollo a las 12-24 horas de iniciada la ventilación mecánica controlada, agravándose con la prolongación de la hospitalización (mayor a 4 días de conexión) y aumentando la mortalidad (con una puntuación SOFA  $\geq 10$  puntos)<sup>3,4</sup>. Un estudio reportó un adelgazamiento diafragmático de hasta 6% diario en ventilación mecánica controlada. Esta disfunción contribuye al fracaso del destete de la VMI, se comienza a desarrollar dentro de las 48 horas posterior de la disminución de la presión positiva y su mal pronóstico de hospitalización (puntuación SAPS II de 56 (46–75))<sup>5,6,7</sup>.

Es por esto la importancia durante la hospitalización la identificación tempranamente de la tasa y magnitud de la pérdida muscular en la primera semana de la UCI permitiría guiar intervenciones nutricionales y de ejercicio en pacientes críticos<sup>8</sup>. Existen más de 60 instrumentos para evaluar problemas musculares, pero la mayoría requiere la cooperación del paciente, lo que dificulta su aplicación en la UCI<sup>9</sup>. La ecografía muscular esquelética (MUS) se presenta como una herramienta viable, ya que permite detectar cambios en calidad y cantidad muscular sin necesidad de participación activa del paciente<sup>6,10</sup>. Las técnicas ecográficas han demostrado alta precisión diagnóstica en su evaluación por fisioterapeutas en la aplicación de ultrasonido con Coeficiente de correlación intraclase (ICC) de 0.814 ( $p < 0.001$ )<sup>11,12</sup>.

En un estudio cuyo objetivo fue investigar establecer el potencial de una maniobra de reclutamiento a través de la ecografía reporta que el 21% de los profesionales encuestados han utilizado ecografía para su evaluación, mientras que en Chile, solo el 6% de los centros reportaron su uso regular durante la pandemia del COVID-19<sup>9,13</sup>, sin embargo, este uso limitado de la ecografía en la práctica clínica se debe, en parte, a la falta distinción entre los cambios que son estadísticamente significativos y aquellos que tienen una relevancia clínica real, especialmente en el contexto de técnicas con alta

sensibilidad como la ecografía muscular que permitan monitorizar su evolución en el tiempo<sup>14,15</sup>. Si bien los reportes internacionales de estudios en Alemania, Holanda y Corea han publicado valores referenciales de parámetros ecográficos de musculatura diafragmática, sus mediciones son en sujetos sanos de diferentes rangos etarios, diferentes a los usuarios que ingresan a en la UCI donde las revisiones de literatura reportan disminución en su masa muscular lo que dificulta la comparación y/o análisis de mediciones<sup>16,17,18,19</sup>.

Dado que esta herramienta presenta una variabilidad intrínseca, resulta esencial definir el cambio mínimo detectable y validar su uso en la práctica clínica<sup>19</sup>. Esto permite diferenciar cambios verdaderos en la estructura muscular respecto de posibles artefactos o errores de medición, como se porta en estudio de Damiani et al<sup>20</sup> el esfuerzo inspiratorio máximo como la excursión del diafragma debe medirse, siempre que sea posible, con la asistencia ventilatoria más baja (bajo presión positiva al final de la espiración (CPAP) cero o mediante un tubo en T) para evitar subestimar el parámetro y debido al efecto de la presión positiva sobre el aplanamiento del diafragma (relación longitud-tensión)<sup>19</sup>. En este contexto, el objetivo de nuestro estudio fue describir los valores basales ecográficos relacionados con la calidad y la cantidad de masa muscular diafragmática en adultos hospitalizados en unidades de cuidados intensivos, durante la primera semana de hospitalización en dos centros de salud en Chile. Este enfoque busca establecer una línea base confiable que permita interpretar de manera más precisa la evolución muscular y su relevancia clínica en pacientes críticos.

## **METODOLOGÍA**

### **a. Diseño de estudio**

Se realizó un estudio descriptivo longitudinal de cohorte para describir los valores basales de la masa muscular diafragmática en personas adultas que ingresan a la UCI en dos centros de salud de Santiago de Chile (Hospital del Trabajador y Hospital Metropolitano), a través de un seguimiento y registros de mediciones ecográficas desde su ingreso (primeras 48 horas) hasta completa una semana de hospitalización desde la primera medición. Este estudio contó con la aprobación del comité de ética de investigación de la Facultad de Medicina de la Clínica Alemana de la Universidad del Desarrollo (N° 2020 – 106) y con las autorizaciones de los respectivos comités de ética de los centros participantes, como también se solicitó la firma del consentimiento informado al tutor legal para realizar las mediciones con posterior firma del participante al adquirir vigilia para acceder al registro clínico e incorporarlo al estudio. Este manuscrito presenta la metodología y resultados según los lineamientos de la guía para reportar estudios observacionales de la Declaración de la Iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology)<sup>21</sup>.

### **b. Participantes**

Los criterios de inclusión fueron: adultos (mayores o igual a 18 años) con factibilidad de evaluación ecográfica las primeras 48 horas desde el ingreso a la UCI. Este proceso de enrolamiento se realizó a través de un cribado por parte de los kinesiólogos/as por un periodo de 6 meses. Se excluyeron pacientes en que cumplieran los siguientes criterios: no fue factible medir ninguno de los parámetros ecográficos (ejemplo: gran quemado, politraumatizado) porque impedía los accesos necesarios de la piel, gravedad extrema que impedía medir todas las mediciones las primeras 48 horas, antecedentes neuromusculares crónicos que potencialmente hayan modificado su masa muscular "basal" al ingreso de la UCI (ejemplo: diagnóstico de lesión medular de alguna hospitalización previa, Síndrome de Duchenne, etcétera), aquellos que tengan hospitalización mayor a 48 horas fuera de la UCI (otro servicio u otro centro de salud) y pacientes que reingresen a la UCI con estancia hospitalaria previa dado las dificultades técnicas para la medición<sup>22</sup>.

Previo al inicio de las mediciones ecográficas cuatro kinesiólogos/as clínicos entrenados en ecografía muscular que realizaron las mediciones por centro fueron guiados por la confiabilidad inter-

observador con ICC >0.8 de un estudio nacional<sup>22</sup>, y se efectuó una jornada de capacitación teórico-práctica guiados por un protocolo de adquisición de imágenes (Anexo N°1) confeccionada para esta investigación con base en el consenso Delphi EXODUS<sup>13</sup>, para la estandarizar de las evaluación clínica que se realizaron en el reclutamiento de los participantes que cumplieron con los criterios de inclusión como de exclusión.

### **c. Procedimiento**

La adquisición ecográfica del diafragma del hemicuerpo derecho (en casos de limitaciones propias del paciente o dificultades técnicas se efectuó en el hemicuerpo izquierdo) en posición supina semi-sentado en cama (35° a 45°) en reposo. La evaluación consto con una duración entre 30 y 45 minutos aproximadamente, se aplicó con un Checklist de “Identificación ecográfica muscular en paciente crítico” (Anexo N°2). Se capturaron un mínimo de 15 imágenes en total por cada una de las mediciones, utilizando transductores lineal, convexo y sectorial según corresponda, con dos abordajes ecográficos para visualizarlo: el abordaje intercostal medio axilar en la zona de aposición y el abordaje subcostal utilizando el hígado o el bazo como ventana acústica<sup>24,25</sup>.

### **d. Extracción de datos**

Las imágenes ecográficas que se capturaron fueron a través de los ecógrafos clínicos portátiles de los centros: GE Vivid ig (Hospital del trabajador) y Philips CX50 (Hospital Metropolitano). Se almacenaban en la memoria interna para posteriormente ser extraídos en un pendrive y exportados con códigos (anonimización) en formato JPG a la plataforma OneDrive Institucional.

Aquellos que fueron reclutados se registraban en el hoja Excel de “screening y enrolamiento”, y con posterior, firma del consentimiento informado se ingresaron en la hoja Excel de “enrolamiento y registro de mediciones” en la plataforma OneDrive institucional para su análisis estadísticos. En paralelo se recolectaron variables sociodemográficas (edad, sexo, peso, talla, índice de masa corporal (IMC), severidad de la enfermedad (APACHE II) y clínicas (diagnostico principal de ingreso, comorbilidades, estado de consciencia, días en VM, días de hospitalización previa, hora de medición ecográfica), del registro en ficha digital para la base de datos.

### **e. Análisis de imágenes ecográficas**

Las imágenes ecográficas que se almacenaron en la plataforma OneDrive institucional, fueron seleccionadas y analizadas manualmente según las instrucciones en el protocolo confeccionado en base al prototipo de la Universidad de Kentucky facilitado en su versión español por Klgo. MSc. PhD © Felipe González Seguel para esta investigación, denominado “Análisis de imagen en paciente crítico” (Anexo N°3) que fueron procesadas a través del “software” de análisis de imágenes ImageJ 1.53t (<https://imagej.net/ij/index.html>).

#### **f. Análisis estadístico**

El tamaño de la muestra se calculó en base a la mayor desviación estándar reportada en el estudio de Mayer *et al.*<sup>26</sup>, utilizando como base el grosor del musculo cuádriceps (centímetros). Se realizó el cálculo estimando una media en la calculadora de FISTERRA<sup>27</sup>. Se estableció un nivel de confianza del 95%, con una precisión en la medición del grosor muscular de 0,20 centímetros, y asumiendo una desviación estándar de 0,71 centímetros (varianza de 0,50). Se estimó un 10% de proporción esperada de pérdida de muestra.

Las variables sociodemográficas (edad, talla, sexo y estado nutricional) y clínicas (diagnostico principal de ingreso, comorbilidades, estado de consciencia, días en VM, días de hospitalización previa, hora de medición ecográfica) fueron presentadas con media (desviación estándar/intervalo de confianza) para las variables cuantitativas que distribuyan normal. En el caso de no distribuir normal las variables cuantitativas y ordinales se presentarán en mediana (rango intercuartílico/intervalo de confianza). Para variables nominales se utilizará frecuencia absoluta y relativa (porcentajes).

Los valores basales ecográficos serán representados con estadística descriptiva, con media (desviación estándar/intervalo de confianza) o mediana (rango intercuartílico/ intervalo de confianza), según corresponda. Para evaluar la variabilidad de las mediciones ecográficas de calidad y cantidad de masa muscular diafragmática durante la primera semana en la UCI se presentaran en porcentaje. En este contexto, debido a que las variables analizadas no presentan distribución normal (según el test de Shapiro-Wilk), los resultados se expresan como mediana [rango intercuartílico] y se utilizó la prueba de Wilcoxon para comparar diferencias longitudinales. Por último, para la evaluación de la entre describir la relación entre características clínicas y sociodemográficas con los valores ecográficos diafragmáticos en la primera semana de hospitalización en la unidad de cuidados

intensivos, se utilizó modelos de regresión lineal múltiple. El nivel de significancia fue de un 5%, utilizando el software estadístico STATA 15.0.

## **RESULTADOS**

Un total de 155 pacientes fueron evaluados para su posible inclusión, sin embargo, 89 cumplieron con los criterios de inclusión. La muestra inicial que se tuvo para realizar las mediciones con posterior análisis estadístico fueron 60 pacientes. Durante la primera medición se evaluaron 51 pacientes, para segunda y última medición se evaluaron 50 pacientes en cada uno, con respecto al basal inicial durante el seguimiento se tuvieron pérdidas por diferentes razones como se observar en la Figura 1.

Se logró registrar correctamente las medidas del diafragmático en el 84% del total de pacientes reclutados, con un total de 151 mediciones y se analizaron por “software” ImageJ 1.53t un total 1.819 imágenes ecográficas como se observa en la Figura 2.

Las características clínicas de los pacientes incluidos se muestran en la Tabla 1. Del total de la muestra un 73% corresponde a HMET y un 26% a HT. La media de edad era de 53,7 años (DE: 17,9), y el 70% correspondía a sexo masculino. La talla promedio fue de 1,66 m (DE: 0,1), y el peso corporal tuvo una mediana de 72,5 kg [RIQ: 62,2–83]. La puntuación APACHE II al ingreso mostró una mediana de 13 [RIQ: 11–17].

El tiempo promedio entre la admisión y la primera medición ecográfica fue de 14,2 horas (DE: 11,3). La estancia hospitalaria tuvo una media de 17,4 días (DE: 15), y la mediana de días en ventilación mecánica invasiva (VMI) fue de 3,2 [RIQ: 0–4]. Según la escala de Glasgow al ingreso, el 30% de los pacientes presentó un puntaje entre 3 y 8 (grave), el 8,3% entre 8 y 12 (moderado), y el 61,7% entre 13 y 15 (leve). La mortalidad estimada fue del 30%. Respecto al diagnóstico de ingreso, la causa más frecuente fue falla respiratoria aguda (41,7%). En cuanto a comorbilidades, las más prevalentes fueron hipertensión arterial, diabetes mellitus y enfermedad respiratoria crónica (todas con un 25%).

### **Valores ecográficos diafragmáticos a lo largo del tiempo de medición.**

Como se observa en la tabla 2, se evaluaron variables ecográficas diafragmáticas en tres momentos: al ingreso (día 0), al tercer día (día 3) y al séptimo día (día 7) de hospitalización. El grosor muscular

del diafragma presentó una disminución progresiva desde 1,46 cm [1,26–1,68] al ingreso a 1,40 cm [1,22–1,60] en el día 3 1,33 cm [1,10–1,55] y en el día 7, con una reducción total del 8,9% ( $p < 0,001$ ).

La excursión diafragmática, medida en centímetros, también mostró una reducción significativa, desde 0,80 [0,65–0,91] a 0,77 [0,62–0,93] y posteriormente a 0,68 [0,55–0,80], lo que representa un descenso del 15% entre el ingreso y el séptimo día ( $p < 0,001$ ). Por el contrario, la eco-intensidad, evaluada mediante escala de grises (0–255), aumentó de 50,6 [44,0–57,1] a 54,8 [46,2–63,2] y 60,6 [53,0–68,1], reflejando un incremento del 19,8% ( $p < 0,001$ ).

Finalmente, la fracción de engrosamiento disminuyó de forma continua reducido de forma continua desde 30,6% [27,1–34,1] al ingreso, a 28,0 % [ 23,3 – 32 , en el día 3, y 23,1% [18,4–27,7] en el día 7, con una caída del 24,5% en la primera semana ( $p < 0,001$ ).

### **Valores ecográficos, variables sociodemográficas y clínicas en los centros de estudio.**

Se realizó una descripción de las asociaciones observadas entre variables sociodemográficas (edad, índice de masa corporal), clínicas (puntaje APACHE II, días en ventilación mecánica) y los valores ecográficos del diafragma en distintos momentos de la primera semana de hospitalización (día 0, 3 y 7), diferenciando los resultados por centro de salud. Para este fin, se utilizaron coeficientes de correlación de Spearman como indicador de relación, sin fines inferenciales, con el objetivo de identificar tendencias descriptivas dentro de la muestra (Figura 3).

En el Hospital del Trabajador (HT), se observaron valores negativos de asociación entre el IMC y el grosor muscular del diafragma al ingreso ( $r = -0,11$ ) y al séptimo día ( $r = -0,03$ ), mientras que en el Hospital Metropolitano (HMET) la relación fue levemente positiva en ambos puntos ( $r = 0,08$  y  $0,04$ , respectivamente). Respecto a la excursión diafragmática, se evidenció una relación positiva con la edad en HMET en el día 7 ( $r = 0,31$ ), mientras que en HT esta asociación fue más débil ( $r = 0,12$ ). Asimismo, los días de ventilación mecánica se asociaron negativamente con la excursión en HMET al día 3 ( $r = -0,31$ ), y de forma menos marcada en HT ( $r = -0,17$ ).

La eco-intensidad del diafragma mostró una relación inversa con el IMC en HMET en todos los momentos evaluados, siendo más pronunciada al séptimo día ( $r = -0,58$ ). Finalmente, la fracción de engrosamiento se relacionó positivamente con el puntaje APACHE II en HT al día 7 ( $r = 0,37$ ), mientras que en HMET esta relación fue más débil ( $r = 0,10$ ).

## DISCUSIÓN

Dentro de los principales resultados de este estudio describieron que la población estudiada correspondió a una población joven de mediana edad. Teniendo un promedio de los pacientes en esta cohorte fue de 53 años, lo que representa un grupo clínicamente más joven que en otros estudios de UCI enfocados en adultos mayores. Esta característica pudo haber influido en los patrones observados de masa muscular y respuesta clínica durante la primera semana, con una puntuación de APECHE II al ingreso de una mediana 13 [RIQ: 11–17], lo que indica una gravedad clínica moderada (15 a 40% riesgo de mortalidad). No obstante, diversos autores tales como Nguyen et al.<sup>28</sup>, Flaatten y Garrouste-Orgeas<sup>29</sup>, advierten que, en poblaciones más longevas, los resultados pueden diferir significativamente debido a la mayor fragilidad y mortalidad asociadas al ingreso a cuidados intensivos.

Con respecto a la descripción de los valores basales ecográficos de la masa muscular diafragmática durante la primera semana de hospitalización en UCI, se obtuvo como resultado una disminución progresiva en el grosor (–8,9%) y la excursión muscular (–15%) del diafragma. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Schepens et al.<sup>30</sup>, quienes documentaron una atrofia diafragmática significativa en pacientes sometidos a ventilación mecánica, con una reducción del grosor muscular del orden del 6 al 10% por día durante los primeros días de soporte ventilatorio. Estos cambios estructurales evaluados mediante ecografía refuerzan la sensibilidad de esta técnica para detectar deterioro muscular precoz en el contexto crítico.

A su vez, variables como la eco-intensidad presentaron una tendencia diferente a las anteriores, con un aumento progresivo de 19,8% durante la primera semana, lo cual podría reflejando un deterioro en la calidad del tejido muscular diafragmático. Este hallazgo es coherente con lo reportado por Levine et al.<sup>31</sup>, quienes documentaron una rápida atrofia y degeneración estructural del diafragma en humanos sometidos a ventilación mecánica por períodos breves, evidenciada mediante cambios histológicos como pérdida de área de fibras musculares y desorganización miofibrilar.

Por último, la fracción de engrosamiento (FE) disminuyó de forma continua con una caída del 24,5%, lo que sugiere un deterioro en la capacidad contráctil del músculo respiratorio. Este hallazgo concuerda con lo planteado por Eksombatchai et al.<sup>32</sup>, quienes demostraron que una fracción de

engrosamiento baja se asocia con mayor riesgo de falla en la extubación, al reflejar una función diafragmática insuficiente para sostener la respiración espontánea. En su estudio, los autores propusieron el uso del índice FR/TFdi (frecuencia respiratoria sobre fracción de engrosamiento) como predictor de éxito en la extubación, estableciendo que una fracción de engrosamiento inferior al 30% era un umbral crítico. Estos resultados respaldan que la disminución de la FE, como la observada en nuestra muestra, puede representar no solo un signo de atrofia muscular, sino también una alerta temprana de disfunción diafragmática con implicancia clínica en la toma de decisiones respiratorias.

Una limitación relevante del presente estudio fue la heterogeneidad entre los dos centros de salud participantes, tanto en el perfil clínico de los pacientes como las mediciones obtenidas, lo que podría haber influido en las diferencias observadas en los valores ecográficos y clínicos. Si bien ambos centros utilizaron el mismo protocolo de medición, variables como el IMC, la días en VM y la puntuación del APACHE II, mostraron tendencias contrarias. 1. En este contexto, se puede relación que incluso con protocolos estandarizados, es común observar heterogeneidad en los resultados entre centros debido a diferencias en las características de los pacientes y las prácticas clínicas locales. Se recomienda considerar los efectos del centro en los análisis estadísticos para mejorar la validez de los resultados<sup>33</sup>. Para mitigar este efecto, futuros estudios multicéntricos deberían considerar un ajuste por centro o un análisis estratificado más profundo.

Otra limitación metodológica del estudio fue la variabilidad en el tiempo transcurrido entre el ingreso a la UCI y la primera medición ecográfica, con una media de 14,2 horas. Esta diferencia podría afectar la interpretación de los valores basales, ya que algunos pacientes podrían haber iniciado procesos de disfunción o atrofia muscular antes de la evaluación inicial. Doorduyn et al. subrayan la importancia de monitorear la función muscular respiratoria desde etapas tempranas, dado que los cambios estructurales y funcionales del diafragma pueden instaurarse rápidamente tras el inicio de la ventilación mecánica. Por otro lado, Harper et al. (2013) demostraron una alta variabilidad en la contractilidad diafragmática durante la respiración tranquila en sujetos sanos, lo que refuerza la necesidad de contar con una ventana de medición más estandarizada para minimizar el sesgo de variabilidad fisiológica interindividual. En conjunto, estos elementos destacan la necesidad de uniformar los tiempos de evaluación ecográfica al ingreso para asegurar una mejor comparación longitudinal y una mayor precisión en la cuantificación del cambio muscular durante la hospitalización.

Por último, el tamaño muestral limitado y la pérdida de pacientes que no completaron todas las mediciones ecográficas durante los siete días restringen la generalización de los resultados. Si bien la cohorte de 60 pacientes es comparable a estudios previos en UCI, como el de Mariani et al.<sup>36</sup>, quien realizó un estudio piloto con una muestra acotada para evaluar la factibilidad del monitoreo ecográfico diafragmático, se requiere una muestra más amplia y continua en futuras investigaciones para aumentar la potencia estadística, minimizar el sesgo de selección y permitir análisis multivariados más robustos.

Los hallazgos de este estudio aportan evidencia relevante sobre el comportamiento de la masa muscular diafragmática durante la primera semana de hospitalización en UCI, lo que resulta clínicamente útil para monitorear precozmente la disfunción muscular respiratoria. Tal como destacan Kress y Hall et al.<sup>37</sup>, la debilidad adquirida en UCI constituye un factor determinante en la recuperación funcional, y el uso de herramientas no invasivas como la ecografía representa una oportunidad para la vigilancia continua y temprana del estado muscular.

Además, en línea con Van den Berg et al.<sup>38</sup>, nuestros resultados se alinean con los actuales enfoques de protección diafragmática, que promueven una ventilación personalizada que mantenga la función contráctil del diafragma y evite el desuso muscular inducido por soporte total.

Desde una perspectiva metodológica, el uso de ecografía para evaluar grosor, excursión, fracción de engrosamiento y eco-intensidad ha demostrado ser factible y reproducible, como lo reporta Santana et al.<sup>38</sup>, lo que respalda la aplicabilidad de nuestro protocolo ecográfico en entornos clínicos diversos. Sin embargo, la generalización de los resultados debe considerarse con cautela, dado que la muestra provino de dos centros con características clínicas diferentes, y se limitaron las mediciones al primer periodo de hospitalización.

Aun así, los resultados pueden orientar futuras investigaciones multicéntricas y aportar al desarrollo de estrategias de seguimiento muscular como parte del manejo integral del paciente crítico.

## CONCLUSIÓN

Este estudio logró describir los valores ecográficos basales del diafragma en adultos hospitalizados en UCI y evidenciar una disminución progresiva en sus dimensiones estructurales y funcionales durante la primera semana. Se observó una reducción del grosor (-8,9%), de la excursión (-15%) y de la fracción de engrosamiento (-24,5%), junto a un aumento en la eco-intensidad (+19,8%), lo que sugiere atrofia y deterioro de la calidad muscular. La ecografía demostró ser una herramienta factible y sensible para monitorizar estos cambios, aportando valor clínico en el seguimiento temprano de la disfunción diafragmática. No obstante, la heterogeneidad de los centros, la variabilidad del tiempo de medición basal y el tamaño muestral limitado restringen la validez externa de los hallazgos. Se recomienda estandarizar los protocolos de evaluación y ampliar el tamaño de muestra en futuras investigaciones multicéntricas. su generalización requiere precaución debido a limitaciones metodológicas y características heterogéneas de la muestra.

## REFERENCIAS

1. Camus-Molina. A, González-Seguel F, Castro-Ávila AC, Leppe J. Construct Validity of the Chilean-Spanish Version of the Functional Status Score for the Intensive Care Unit: A Prospective Observational Study Using Actigraphy in Mechanically Ventilated Patients. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(11):1914–21. doi: 10.1016/j.apmr.2020.04.019
2. Pinto S, Alves P, Swash M, de Carvalho M. La stimulation du nerf phrénique est plus sensible que la mesure échographique de l'épaisseur du diaphragme dans l'évaluation du début de la progression de la SLA. *Neurophysiologie Clinique.* 2017;47(1):69–73. doi: 10.1016/j.neucli.2016.08.001
3. Goligher EC, Dres M, Fan E, et al. Mechanical ventilation–induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;197(2):204–213. doi:10.1164/rccm.201710-1989OC
4. Barzaga Molina A, Celsi Núñez J, Merino-Osorio C. Análisis de pacientes adultos hospitalizados en una unidad de cuidados intensivos: un estudio de seguimiento. *Kinesiología.* 2022;41(1):20–29. ISSN: 0716-4173 / e-ISSN: 2735-7481.
5. Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM. Diaphragm Muscle Thinning in Patients Who Are Mechanically Ventilated. *Chest.* 2012;142(6):1455–60.
6. Zambon M, Beccaria P, Matsuno J, Gemma M, Frati E, Colombo S, et al. Mechanical ventilation and diaphragmatic atrophy in critically ill patients: An ultrasound study. *Crit Care Med.* 2016;44(7):1347–52.
7. Demoule A, Jung B, Prodanovic H, Molinari N, Chanques G, Coirault C, et al. Diaphragmatic dysfunction upon admission in intensive care unit: prevalence, risk factors, and prognostic impact—a prospective study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;188(2):213–9. doi:10.1164/rccm.201209-1668OC. PMID: 23641946
8. Cuthbertson BH, Roughton S, Jenkinson D, MacLennan G, Vale L. Quality of life in the five years after intensive care: a cohort study. *Crit Care.* 2010;14(R6):1– 12.
9. González-Seguel, Felipe Caceres-Parra C. Evaluación del funcionamiento físico en cuidados críticos: encuesta nacional en más de 90 centros chilenos durante la pandemia por COVID-19. *Rev Med Chil.* 2022;150:1565–74.

10. Fazzini B, Märkl T, Costas C, Blobner M, Schaller SJ, Prowle J, et al. The rate and assessment of muscle wasting during critical illness: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2023;27(1):2. doi:10.1186/s13054-022-04253-0
11. De Souza LAM, Paredes RG, Giraldi T, Franco MH, de Carvalho-Filho MA, Cecilio-Fernandes D, et al. Implementation and Assessment of Lung Ultrasound Training Curriculum for Physiotherapists With a Focus on Image Acquisition and Calculation of an Aeration Score. *Ultrasound Med Biol*. 2022;48(10):2119–27.
12. Hansell L, Milross M, Delaney A, Tian DH, Rajamani A, Ntoumenopoulos G. Barriers and facilitators to achieving competence in lung ultrasound: A survey of physiotherapists following a lung ultrasound training course. *Australian Critical Care*. 2023;36(4):573–8. doi:10.1016/j.aucc.2022.04.005
13. Wang XT, Ding X, Zhang HM, Chen H, Su LX, Liu DW; Chinese Critical Ultrasound Study Group (CCUSG). Lung ultrasound can be used to predict the potential of prone positioning and assess prognosis in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care*. 2016;20:385. doi:10.1186/s13054-016-1558-0.
14. Haaksma ME, Smit JM, Boussuges A, Demoule A, Dres M, Ferrari G, et al. 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;26(1):1–9. doi: 10.1186/s13054-022-03975-5
15. Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, Shi ZH, Goligher EC, Goffi A, et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients—a narrative review. *Intensive Care Med*. 2020;46(4):594–605. doi: 10.1007/s00134-019-05892-8
16. Arts IMP, Pillen S, Schelhaas HJ, Overeem S, Zwarts MJ. Normal values for quantitative muscle ultrasonography in adults. *Muscle Nerve*. 2010;41(1):32–41.
17. Spiesshoefer J, Herkenrath S, Henke C, Langenbruch L, Schneppe M, Randerath W, et al. Evaluation of respiratory muscle strength and diaphragm ultrasound: normative values, theoretical considerations, and practical recommendations. *Respiration*. 2020;99(6):443–53. doi:10.1159/000506016.
18. Yoshida, R., Tomita, K., Kawamura, K., Nozaki, T., Setaka, Y., Monma, M. y Ohse, H. Medición del grosor del músculo intercostal mediante ecografía durante la respiración máxima. *Journal of Physical Therapy Science*. 2019. Doi: 10.1589/jpts.31.340.

19. Mourtzakis M, Parry SM, Connolly B, Puthuchearry Z. Skeletal muscle ultrasound in critical care: a tool in need of translation. *Ann Am Thorac Soc.* 2017;14(10):1495–1503. doi:10.1513/AnnalsATS.201612-967PS.
20. Damiani LF, Jalil Y, Dubo S. Disfunción diafragmática en ventilación mecánica: evaluación e implicancias clínicas. *Kinesiología.* 2020;39(2):89-99.
21. Von Elm, E., Altman, DG, Egger, M., Pocock, SJ, Gøtzsche, PC y Vandenbroucke, JP. Declaración de la Iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology): directrices para la comunicación de estudios observacionales. *Gaceta Sanitaria.* 2008. doi:10.1016/j.gaceta.2007
22. Formenti P, Umbrello M, Coppola S, Froio S, Chiumello D. Clinical review: peripheral muscular ultrasound in the ICU. *Ann Intensive Care.* 2019;9(1).
23. González-Seguel F, Pinto-Concha JJ, Ríos-Castro F, Silva-Gutiérrez A, Camus- Molina A, Mayer KP, et al. Evaluating a Muscle Ultrasound Education Program: Theoretical Knowledge, Hands-on Skills, Reliability, and Satisfaction of Critical Care Physiotherapists. *Arch Rehabil Res Clin Transl.* 2021;3(3):100142.
24. Parry SM, Granger CL, Berney S, Jones J, Beach L, El-Ansary D, et al. Assessment of impairment and activity limitations in the critically ill: a systematic review of measurement instruments and their clinimetric properties. *Intensive Care Med.* 2015;41(5):744–62.
25. Tuinman PR, Jonkman AH, Dres M, Shi ZH, Goligher EC, Goffi A, et al. Respiratory muscle ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications in ICU and ED patients—a narrative review. *Intensive Care Med.* 2020;46(4):594–605. doi: 10.1007/s00134-019-05892-8
26. Mayer KP, Thompson Bastin ML, Montgomery-Yates AA, Pastva AM, Dupont-Versteegden EE, Parry SM, et al. Acute skeletal muscle wasting and dysfunction predict physical disability at hospital discharge in patients with critical illness. *Crit Care.* 2020;24(1):1–12. doi: 10.1186/s13054-020-03355-x
27. Camacho Sandoval J. Tamaño de muestra en estudios clínicos. *Acta Med Costarric.* 2009;52(6):20–1.
28. Nguyen Y-L, Angus DC, Boumendil A, Guidet B. The challenge of admitting the very elderly to intensive care. *Ann Intensive Care.* 2011;1(1):1–7.
29. Flaatten H, Garrouste-Orgeas M. The very old ICU patient: a never-ending story. *Intensive Care Med.* 2015;41(11):1996–8.

30. Schepens, T., Verbrugge, W., Dams, K., Corthouts, B., Parizel, PM, y Jorens, PG. Evolución de la atrofia diafragmática en pacientes ventilados, evaluada mediante ultrasonido: un estudio de cohorte longitudinal. *Cuidados Críticos*. 2015;19(1), 4. doi: 10.1186/s1305.
31. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med*. 2008;358(13):1327–35. doi:10.1056/NEJMoa070447
32. Eksombatchai D, Sukkratok C, Sutherasan Y, Junhasavasdikul D, Theerawit P. The ratio of respiratory rate to diaphragm thickening fraction for predicting extubation success. *BMC Pulm Med*. 2023;23(1):109. doi:10.1186/s12890-023-02392-w
33. Islam S, Bangdiwala SI. Accounting for center-level effects in multicenter randomized controlled trials. *Trials*. 2024;25:390. doi:10.1186/s13063-024-08202-w.
34. Doorduyn J, van Hees HWH, van der Hoeven JG, Heunks LMA. Monitoring of the respiratory muscles in the critically ill. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;187(1):20–7. doi:10.1164/rccm.201206-1117CP
35. Harper CJ, Shahgholi L, Cieslak K, Hellyer NJ, Strommen JA, Boon AJ. Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with B-mode ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2013;43(12):927–31. doi:10.2519/jospt.2013.4931
36. Mariani, LF, Bedel, J., Gros, A., Lerolle, N., Milojevic, K., Laurent, V., Hilly, J., Troché, G., Bedos, JP y Planquette, B. Ultrasonografía para el cribado y seguimiento de la disfunción diafragmática en la UCI: Un estudio piloto. *Journal of Intensive Care Medicin*. 2016;31 (5). doi: 10.1177/0885
37. Kress JP, Hall JB. ICU-Acquired Weakness and Recovery from Critical Illness. *New England Journal of Medicine*. 2014;370(17):1626–35.
38. Van den Berg, MJW, Heunks, LMA, Doorduyn, J. Avances en la ventilación con protección pulmonar y diafragmática. *Current Opinion in Critical Care*, 2025;31. doi:10.1097/MCC.0000

39. Santana PV, Albuquerque ALP, Caruso P. Diaphragmatic ultrasound: a review of its methodological aspects and clinical uses. *J Bras Pneumol.* 2020;46(6):e20200064. doi:10.36416/1806-3756/e20200064

## **AGRADECIMIENTOS**

Extiendo mi agradecimiento a mi tutor, Klgo. Jorge Molina, quien desde el primer día potenció mis habilidades académicas y laborales, acompañó pacientemente mi crecimiento como alumna de posgrado, guio íntegramente este proyecto y me apoyó para fortalecer mi participación en la comunidad científica del área intensiva, reivindicando mi rol femenino en este espacio.

Agradezco a los colegas kinesiólogos/as de los centros participantes por su disposición y compromiso durante los meses de trabajo en terreno, y a las autoridades respectivas por facilitar la ejecución del estudio.

Mi profundo agradecimiento a los pacientes y familiares por confiar en nuestro profesionalismo y consentir para ser parte de este estudio. Los resultados obtenidos son gracias a ustedes, con el fin de contribuir en la mejora rehabilitación intrahospitalaria.

Finalmente, agradezco a mis colegas de la cohorte por haber creado juntos un ambiente académico respetuoso, con pensamiento crítico desde la humildad y colaborativo, enriquecido por el director del programa a cargo el Klgo. MSC. PhD (c) Jaime Leppe. Como se lo expresé al finalizar las clases, este magíster fue una motivación importante para continuar viviendo esta maravillosa y desafiante realidad llamada vida.

**Tabla con todas las abreviaciones del escrito.**

<b>UCI</b>	Unidad de cuidados intensivos
<b>VMI</b>	Ventilación mecánica invasiva
<b>CMS</b>	Centímetros
<b>SOFA</b>	Evaluación Secuencial de la Insuficiencia Orgánica
<b>SAPS II</b>	Puntuación simplificada de fisiología aguda (SAPS) II
<b>MUS</b>	Ecografía muscular esquelética
<b>ICC</b>	Coeficiente de correlación intraclase
<b>CPAP</b>	Presión positiva al final de la espiración
<b>IMC</b>	Índice de masa corporal
<b>APACHE II</b>	Fisiología Aguda y Evaluación de la Salud Crónica II
<b>HT</b>	Hospital del Trabajador
<b>HMET</b>	Hospital Metropolitano

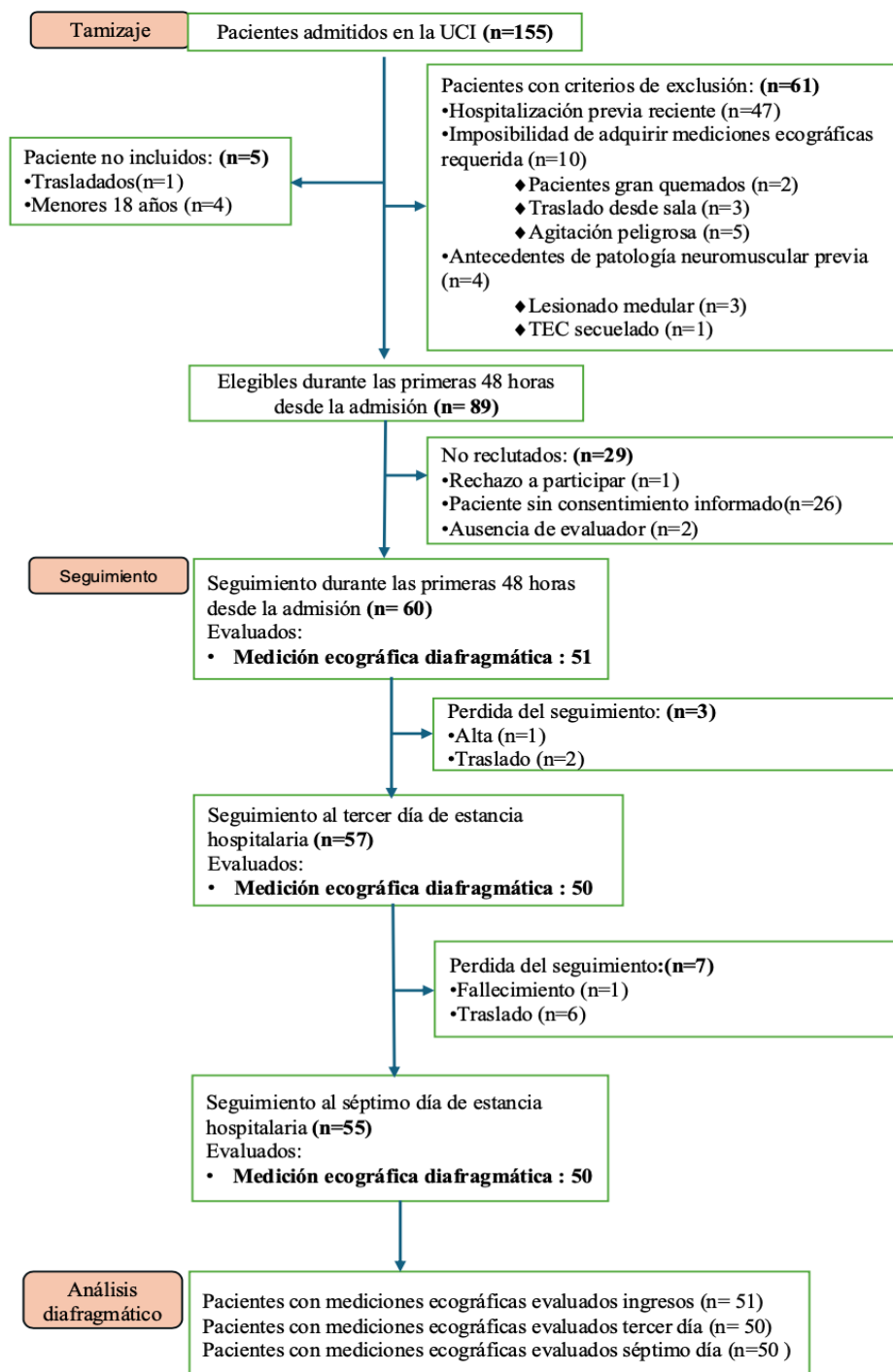
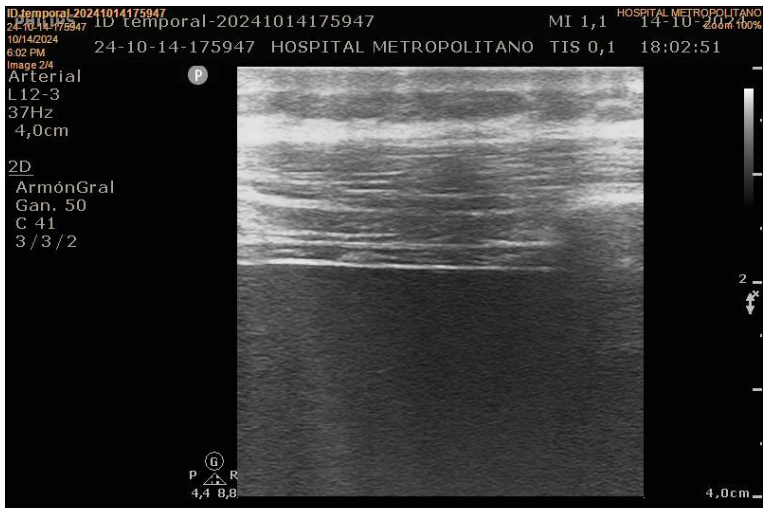
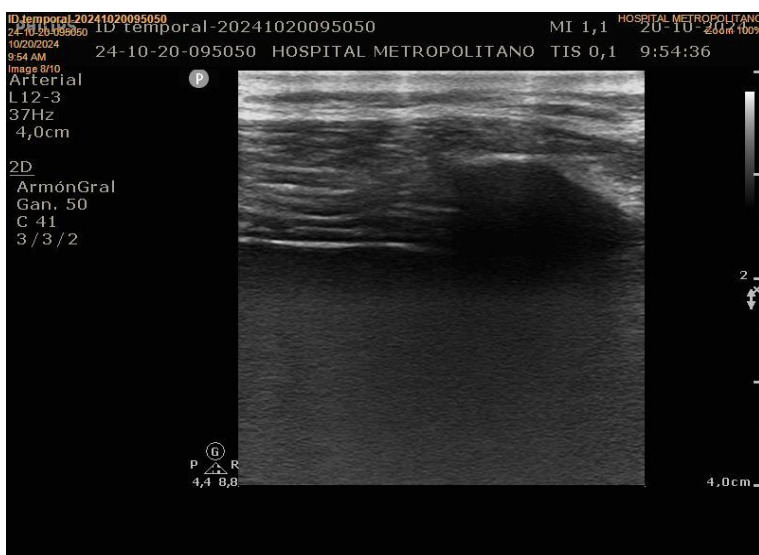


Figura 1. Diagrama de flujo de reclutamiento y seguimiento de mediciones de los pacientes.





**Figura 2.** Imágenes de tomas ecográficas. Imagen del registro del grosor del hemidiafragma derecho tras el ingreso, tercer y séptimo día de medición durante el estudio.

**Tabla 1.**

**Tabla 1 Datos demográficos y clínicos de pacientes admitidos en unidad de cuidados intensivos (n=60)**

Parámetro	Total (n=60)
Edad (años), promedio (DE)	53,7 (17,9)
Sexo Femenino/Masculino, n (%)	18 (30) /42 (70)
Peso (kg), mediana (RIQ)	72,5 (62,2 – 83)
Talla (m), promedio (DE)	1,66 (0,1)
IMC (kg/m <sup>2</sup> ), mediana (RIQ)	27,6 (23,3–30, 7)
Apache, mediana (RIQ)	13 (11 – 17)
Timing medición (horas)*, promedio (DE)	14,2 (11,3)
Estancia hospitalaria (días), promedio (DE)	17,4 (15)
Días VMI, mediana (RIQ)	3,2 (0 –4)
Glasgow de ingreso, n (%)	
- 3-8 grave	18 (30)
- 8-12 moderado	5 (8,3)
- 13-15 leve	37 (61,7)
Mortalidad, n (%)	18 (30)
Diagnóstico de ingreso, n (%)	
- Falla respiratoria aguda	25 (41,7)
- Enfermedad respiratoria crónica	7 (11,7)
- Trauma craneoencefálico	10 (16,6)
- Sepsis	8 (13,3)
- Poli trauma grave	3 (5)
- Otros	16 (26,7)
Comorbilidades, n (%)	
- Hipertensión arterial	15 (25)
- Diabetes	15 (25)

- Obesidad	7 (11,7)
- Respiratoria	15 (25)
- Cardiovascular	9 (15)
- Renal	4 (6,7)
- Otra/o	20 (33,3)

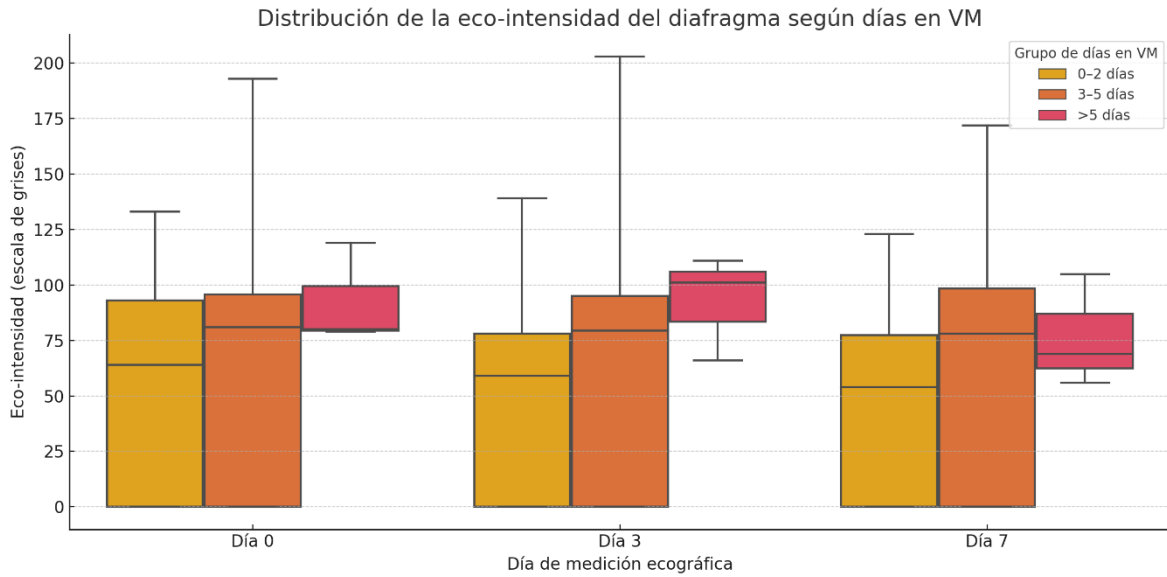
*Timing de medición = tiempo transcurrido entre la admisión y la primera medición ecográfica; Mortalidad = se obtuvo a partir del porcentaje proporcionado por la puntuación de Apache II.*

**Tabla 2**

**Tabla 2. Cambios de los valores ecográficos entre la admisión y el séptimo día de hospitalización**

Variable	Día 0 [RIQ]	Día 3 [RIQ]	Día 7 [RIQ]	% cambio Día 0 a Día 7	p valor (Wilcoxon)
Grosor muscular en reposo (cm)	1,46 [1,26–1,68]	1,40 [1,22–1,60]	1,33 [1,10–1,55]	-8.9%	< 0,001
Excursión diafragmática (cm)	0,80 [0,65–0,91]	0,77 [0,62–0,93]	0,68 [0,55–0,80]	-15.0%	< 0,001
Eco-intensidad (0–255)	50,6 [44,0–57,1]	54,8 [46,2–63,2]	60,6 [53,0–68,1]	19.8%	< 0,001
Fracción de engrosamiento (%)	30,6 [27,1–34,1]	28,0 [23,3–32,6]	23,1 [18,4–27,7]	-24.5%	< 0,001

*\*Eco-intensidad: evaluada con escala de grises desde 0 hasta 255 (histograma).*



**Figura 3. Distribución de la eco-intensidad del diafragma según días de ventilación mecánica. Grosor medio del diafragma con IC del 95 %, registrado mediante ecografía, desde el registro basal (día 0) hasta 7to días después del inicio.**

