



Universidad del  
**Rosario**

**Trasplante pulmonar en condiciones de hipoxemia por altitud (2640 msnm.): Serie de casos en un Hospital de Bogotá**

**Autor**

Jorge Alberto Herrera Vásquez

**Directora**

Laura María Castillo Morales

Trabajo presentado como requisito para optar por el título de **Especialista en Medicina Crítica y Cuidado Intensivo**

Bogotá, Colombia  
2026

**Trasplante pulmonar en condiciones de hipoxemia por altitud (2640 msnm.): Serie  
de en un Hospital de Bogotá**

Autor

Jorge Alberto Herrera Vásquez

Tutor

Laura María Castillo Morales

Medicina Crítica y Cuidado Intensivo  
Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud  
Universidad del Rosario  
Bogotá, Colombia  
2026

## **Identificación del proyecto**

Institución académica: Universidad Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario

Dependencia: Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Departamento de Medicina Crítica y Cuidado Intensivo

Título de la investigación: Trasplante pulmonar en condiciones de hipoxemia por altitud (2640 m.s.n.m.): Serie de casos en un Hospital de Bogotá

Instituciones participantes: Hospital Universitario Fundación Santa Fe de Bogotá

Tipo de investigación: Serie de Casos Descriptiva

Investigador principal: Jorge Alberto Herrera Vásquez

Investigadores asociados: Laura María Castillo Morales

Asesor clínico o temático: Laura María Castillo Morales

Asesor metodológico: Jorge Iván Alvarado Sánchez



# **Tabla de Contenido**

1. Abstract .....	pág. 6
2. Resumen.....	pág. 7
3. Introducción .....	pág. 8
4. Marco teórico.....	pág. 11
5. Pregunta de investigación .....	pág. 15
6. Objetivos .....	pág. 16
7. Metodología.....	pág. 18
8. Aspectos éticos.....	pág. 33
9. Trayectoria de los investigadores.....	pág. 35
10. Resultados .....	pág. 36
11. Discusión.....	pág. 46
12. Conclusiones.....	pág. 49
13. Gastos del proyecto .....	pág. 50
14. Referencias.....	pág. 51
Anexo 1. Datos del proyecto	

## 1. Abstract

### **Background:**

Donor oxygenation, commonly assessed using the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio (P/F ratio), is a key criterion for lung donor selection, with traditional thresholds requiring values ≥300 mmHg. However, these standards were established at sea level and may not accurately reflect the physiological oxygenation in high-altitude environments where barometric oxygen pressure is reduced. This discrepancy may unnecessarily limit donor utilization in transplant centers located at altitude.

### **Methods:**

We conducted a descriptive case series of the first ten adult patients undergoing lung transplantation at a tertiary referral center located at 2640 meters above sea level. Clinical, respiratory, and perioperative variables were collected from donor procurement through the first 72 hours after transplantation. Donor oxygenation indices, intraoperative variables, early postoperative gas exchange, and clinical outcomes were analyzed to explore their association with early recipient outcomes and mortality at 30 and 90 days by all causes.

### **Results:**

Ten lung transplant recipients were included. Donor P/F ratios frequently fell below the conventional 300 mmHg threshold expected at sea level. Despite this, donor oxygenation indices were not associated with early mortality or major postoperative complications. Similarly, donor P/F ratio, ischemia time, surgical duration, and recipient P/F ratios at 0, 24, and 48 hours were not associated with early outcomes. One mortality occurred in a patient with reduced respiratory system compliance and requirement for extracorporeal support. Preoperative physical deconditioning appeared to be associated with prolonged mechanical ventilation and increased need for tracheostomy.

### **Conclusions:**

In this initial high-altitude lung transplant experience, donor P/F ratios below traditional thresholds did not appear to adversely affect early postoperative outcomes. These findings suggest that oxygenation criteria derived from sea-level populations may require contextual adjustment in high-altitude transplant programs. Larger studies are needed to refine donor selection criteria and optimize donor utilization in this setting.

## 2. Resumen

### **Antecedentes:**

La oxigenación del donante, evaluada mediante la relación  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  (PAFI), constituye uno de los criterios principales para la selección de donantes pulmonares, con valores tradicionales  $\geq 300$  mmHg. Sin embargo, estos criterios fueron establecidos a nivel del mar y pueden no reflejar adecuadamente la fisiología respiratoria en entornos de gran altitud, donde la presión barométrica del oxígeno es menor. Esta discrepancia podría limitar innecesariamente la utilización de donantes en centros de trasplante ubicados en altitud.

### **Métodos:**

Se realizó una serie de casos descriptiva de los primeros diez pacientes adultos sometidos a trasplante pulmonar en un centro de referencia ubicado a 2640 metros sobre el nivel del mar. Se recolectaron variables clínicas, respiratorias y perioperatorias desde la procuración del donante hasta las primeras 72 horas posteriores al trasplante. Se analizaron los índices de oxigenación del donante, variables intraoperatorias, intercambio gaseoso postoperatorio temprano, desenlaces clínicos y mortalidad a los 30 y 90 días.

### **Resultados:**

Se incluyeron diez receptores de trasplante pulmonar. Las  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ s de los donantes con frecuencia fueron inferiores al umbral convencional de 300 mmHg descrito a nivel del mar. A pesar de ello, la oxigenación del donante no se asoció con mortalidad temprana ni con complicaciones postoperatorias relevantes. De igual forma, la  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ s del donante, los tiempos de isquemia, la duración quirúrgica y la  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  del receptor a las 0, 24 y 48 horas no mostraron asociación con los desenlaces tempranos. Se registró un fallecimiento en un paciente con baja distensibilidad del sistema respiratorio y requerimiento de soporte extracorpóreo. El desacondicionamiento físico preoperatorio se asoció con ventilación mecánica prolongada y mayor necesidad de traqueostomía.

### **Conclusiones:**

En esta corte inicial de trasplante pulmonar en gran altitud, valores de  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  del donante inferiores a los umbrales tradicionales no parecieron afectar negativamente los desenlaces tempranos. Estos hallazgos sugieren que los criterios de oxigenación derivados de poblaciones a nivel del mar podrían requerir ajustes contextuales en programas de trasplante ubicados en altitud. Se requieren estudios con mayor tamaño para optimizar los criterios de selección de donantes en este contexto.

### 3. Introducción

#### a. Planteamiento del problema y Justificación

El trasplante pulmonar se ha consolidado como la intervención terapéutica más efectiva para pacientes con enfermedades pulmonares terminales, permitiendo una supervivencia a un año cercana al 85% y una supervivencia a cinco años alrededor del 59%, con mejores desenlaces en receptores de trasplante bipulmonar que unipulmonar (1). A pesar de estos avances, el éxito del procedimiento continúa dependiendo de la estricta selección del donante y del receptor, siendo la oxigenación del donante uno de los pilares centrales definidos por los criterios clásicos que exigen una relación  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  mayor a 300 mmHg para considerar un pulmón apto para procuración. Sin embargo, estos criterios fueron establecidos y validados a baja altitud, en contextos donde la presión barométrica permite niveles de oxigenación sustancialmente mayores a los observados de manera fisiológica a 2640 metros sobre el nivel del mar.

En ciudades como Bogotá, donde la presión parcial de oxígeno está significativamente reducida, la oxigenación del donante se encuentra limitada por factores ambientales que no reflejan necesariamente disfunción pulmonar intrínseca, sino la adaptación normal a la altitud. Valores de  $\text{PO}_2$  normales entre 63–67 mmHg y saturaciones alrededor del 92%, completamente fisiológicos para la altitud, generan  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ s naturalmente por debajo de 300 mmHg, aun en pulmones sanos, lo que se traduce en una disminución sustancial en el número de órganos considerados aptos para trasplante (2,3). Este fenómeno contribuye directamente a la crítica escasez de donantes en Bogotá, donde la lista de espera supera con amplitud el número de trasplantes realizados, con tiempos promedio de espera que pueden alcanzar más de 600 días.

Este desajuste entre criterios internacionales establecidos a nivel del mar y las condiciones fisiológicas propias de la altitud genera un dilema clínico significativo: ¿los pulmones descartados por no alcanzar un  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \geq 300$  mmHg en Bogotá reflejan mala calidad o simplemente las condiciones ambientales de la altura? La evidencia internacional cuestiona el valor absoluto del  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  del donante como marcador de mortalidad o falla del injerto. Estudios con miles de trasplantes no han encontrado asociación entre un  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 300$  mmHg y peores desenlaces, y algunas intervenciones, como maniobras de reclutamiento, han demostrado mejorar la oxigenación en donantes con baja  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  sin deterioro clínico del injerto posterior (4). Sumado a ello, la literatura específica sobre trasplante pulmonar en altura es prácticamente inexistente, salvo un reporte preliminar en pacientes trasplantados cerca de los 2600 metros que mostró desenlaces similares a los reportados por centros

internacionales, sugiriendo que la altitud podría no comprometer la supervivencia inicial tras el trasplante (5).

En este contexto, surge un vacío crítico de conocimiento: no se han descrito sistemáticamente las características clínicas, hemodinámicas y respiratorias de donantes y receptores en un programa de trasplante pulmonar realizado en altura, ni se ha documentado cómo se comporta la oxigenación del injerto en los primeros días posteriores al procedimiento en estas condiciones únicas. Tampoco existe una caracterización clara de los retos que plantea la hipoxia ambiental en la adaptación temprana del injerto, el soporte ventilatorio inicial ni la evolución hemodinámica del receptor en un entorno donde la presión barométrica condiciona el intercambio gaseoso desde el primer momento.

La falta de evidencia local y la extrapolación inapropiada de criterios establecidos en otros contextos geográficos hacen urgente un análisis sistemático y detallado de los casos realizados en ciudades de gran altitud. Comprender este escenario permitirá determinar si los criterios internacionales son aplicables tal como existen, si requieren adaptaciones o si deben interpretarse de forma diferente a nivel local. Asimismo, ofrecerá información valiosa sobre la interacción entre el injerto pulmonar, la fisiología del huésped y las condiciones ambientales, con implicaciones directas en la selección de donantes, la toma de decisiones clínicas y la optimización de protocolos perioperatorios.

El desarrollo de un estudio que describa de manera detallada los parámetros de oxigenación, ventilación y evolución clínica en pacientes sometidos a trasplante pulmonar en Bogotá se justifica por múltiples razones clínicas, científicas y de salud pública. En primer lugar, la altitud introduce condiciones fisiológicas particulares que modifican la oxigenación tanto del donante como del receptor. Aunque los donantes pueden presentar  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ s menores a 300 mmHg por efecto de la hipobarometría, esto no implica necesariamente un pulmón enfermo. Sin embargo, los criterios de selección de donantes actualmente aplicados en Colombia y derivados de guías internacionales continúan exigiendo valores que fisiológicamente no corresponden a la realidad de la altura, llevando a la exclusión de órganos que potencialmente serían funcionales y seguros. Esto contribuye de manera relevante a la baja disponibilidad de donantes en Bogotá y, en consecuencia, al prolongado tiempo en lista de espera y la mortalidad asociada a la falta de oportunidad.

En segundo lugar, aunque la fisiología de la adaptación crónica a la altura está bien descrita —incluyendo el aumento del 2,3-DPG, el incremento del volumen minuto y la vasoconstricción pulmonar crónica (6,7)— su interacción con un injerto pulmonar

recién implantado es prácticamente desconocida. No existen estudios que documenten cómo se comportan los índices respiratorios y hemodinámicos durante las primeras 72 horas postrasplante en esta altitud, ni cómo responden los pacientes al soporte ventilatorio, las maniobras de reclutamiento o el soporte extracorpóreo. Esta ausencia de información limita la capacidad de diseñar estrategias de manejo ajustadas al contexto local y obliga a extrapolar protocolos desarrollados en condiciones fisiológicas distintas, lo cual puede no ser óptimo.

En tercer lugar, la evidencia internacional ha cuestionado el valor absoluto de la  $PaO_2/FiO_2$  del donante como predictor de supervivencia y éxito del injerto, incluso en estudios con más de 12.000 trasplantes. Esto hace aún más necesario evaluar si, en un entorno de altura como Bogotá, este parámetro debe interpretarse con mayor flexibilidad, ajustarse por presión barométrica o complementarse con otras medidas funcionales. La información generada por este estudio podría aportar elementos objetivos para discutir potenciales modificaciones en los criterios nacionales de selección de donantes y contribuir a un uso más eficiente y racional de los órganos disponibles.

Por último, desde una perspectiva de salud pública, este estudio tiene el potencial de influir de manera positiva en la organización y operación del programa de trasplante pulmonar en Bogotá. La mejor comprensión de los retos clínicos específicos de la altitud permitirá mejorar la selección de donantes, optimizar la atención perioperatoria, reducir complicaciones tempranas, fortalecer la toma de decisiones y mejorar los desenlaces. Dada la escasez estructural de donantes en Colombia y el impacto significativo que los tiempos prolongados en lista de espera tienen sobre la morbimortalidad, cualquier avance que permita expandir el número de órganos utilizables o mejorar la eficiencia del proceso tendrá beneficios directos para la población.

En síntesis, este estudio no solo responde a un vacío evidente en la literatura científica, sino que también constituye una necesidad clínica y social. Su aporte será fundamental para comprender la interacción entre trasplante pulmonar y altura, contextualizar adecuadamente los criterios de selección de donantes y contribuir al fortalecimiento del programa de trasplante pulmonar de la Fundación Santa Fe de Bogotá, con impacto potencial a nivel nacional.

#### 4. Marco Teórico

El trasplante pulmonar consiste en la colocación de 1 o 2 pulmones de un donante cadavérico dado que este procedimiento no se puede realizar con donante vivo. Dentro de las opciones existe la consecución de un donante por muerte en cefálica o en asistolia controlada, sin embargo, en Colombia solo se encuentra de manera legal la obtención de donante bajo muerte encefálica (8). El éxito de la cirugía incluye tanto la selección del donante como el receptor y en esto juega un papel importante la adecuada selección del donante dado que los criterios de selección son estrictos y se mantienen para disminuir riesgo de complicaciones al momento de la cirugía y el posterior proceso del receptor (9). A lo largo del tiempo el procedimiento ha sufrido muchas variaciones tanto en su técnica como el manejo del postoperatorio y la recuperación y rehabilitación de los receptores, sin embargo, la selección del donante se mantiene como pilar fundamental del procedimiento (10). La supervivencia a 1 año se calcula en el 85% y una supervivencia cercana al 59% a 5 años y con un seguimiento a 20 años del 16.4% siendo mayor en pacientes con trasplante bipulmonar que unipulmonar (1,11).

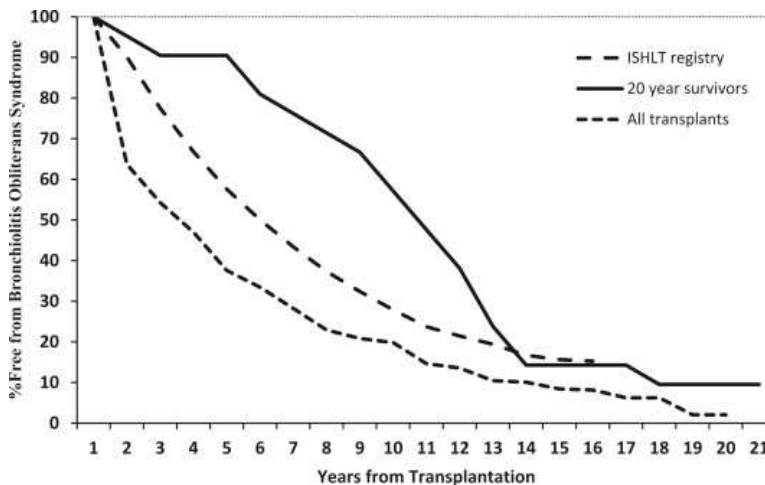


Ilustración 1. Supervivencia a 20 años de una cohorte comparada con los datos de la Sociedad Internacional de Trasplante de Corazón y Pulmón. Tomado de Sithamparanathan S, Thirugnanasothy L, Clark S, Dark JH, Fisher AJ, Gould KF, et al (1).

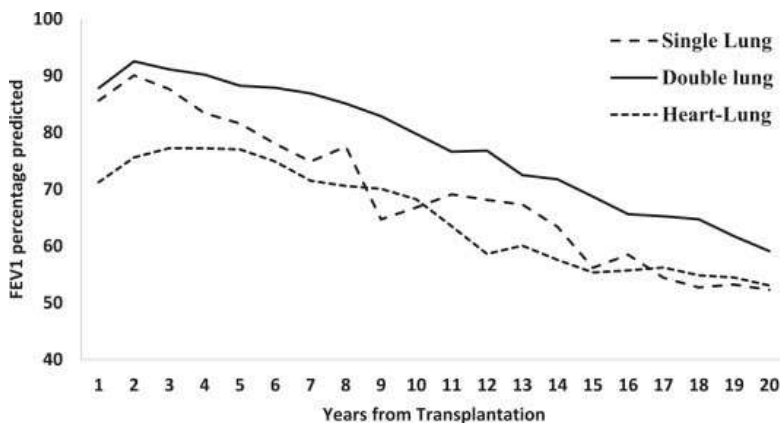


Ilustración 2. Supervivencia a 20 años de una cohorte comparando pacientes con trasplante unipulmonar vs bipulmonar vs corazón + pulmones (en bloque). Tomado de Sithamparanathan S, Thirugnanasothy L, Clark S, Dark JH, Fisher AJ, Gould KF, et al (1).

En Colombia los últimos datos reportados a la fecha por el Instituto Nacional de Salud reportan una tasa de donación de 7.4 donantes por cada millón de habitantes en 2024 comparado con 52.6 donantes por cada millón de habitantes en España; entre el 1 de enero y el 30 de septiembre de 2025 se realizaron 33 trasplantes de pulmón en Colombia y en el mismo rango de fechas 48 personas se encontraban en lista de espera para trasplante de este órgano (11). Más específicamente en Bogotá donde la limitación de los donantes se encuentra por la altura, en el 2024 se realizaron 15 trasplantes con una lista de espera al 30 de diciembre de este mismo año de 37 personas y una espera promedio de 621 días (24). En cuanto a Estados Unidos, para el año 2024 finalizaron 4270 pacientes en lista de espera con un total de 3080 trasplantes en el mismo año (12).

Dentro de la literatura para la selección de receptor y donante, existe una gran lista de indicación y contraindicación del receptor y solo 5 criterios de selección del donante. En cuanto a los criterios de selección de los receptores, el consenso de la Sociedad Internacional de Trasplante de Corazón y Pulmón (International Society for Heart and Lung Transplantation [ISLTH]) establecen dentro de las contraindicación absolutas se incluye malignidad o alto riesgo de recaída, tasa de filtración glomerular menor a 40 mililitros/minuto/1.73 m<sup>2</sup> (excepto en caso de trasplante combinado), infarto agudo de miocardio menor a 30 días, infección extrapulmonar diseminada, infección por Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH) con carga viral detectable, deterioro cognitivo progresivo, entre otras y dentro de las relativas edad mayor a 70 años, índice de masa corporal mayor a 35 kg/m<sup>2</sup> o menor a 16 kg/m<sup>2</sup>, infección por hepatitis B y/o C con carga viral detectable, fragilidad, hipoalbuminemia, entre otras (13). Ahora bien, los criterios de selección del donante fueron descritos en 1993 por Sundersan y colaboradores, hasta la fecha no han sufrido variación y se mantienen dentro de los que se encuentran: edad menor a 55 años, compatibilidad ABO, ausencia de

alteraciones en radiografía de tórax del parénquima pulmonar, ausencia de trauma de tórax, tabaquismo con índice paquetes-año menor a 20 y relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> mayor a 300 mmHg (14). Este último, a la altura de Bogotá, implica una limitación para la obtención de donantes dado que a 2640 metros sobre el nivel del mar la presión parcial de oxígeno es menor lo que limita alcanzar este valor y así, limita la obtención y aceptación de donantes. Por lo anterior, en el 2019 se reunieron en el Instituto Nacional de Salud una comisión para objetivar los criterios de trasplante de pulmón en el país creando así el documento técnico nacional de donación de pulmón (8) donde así mismo establece una meta de relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> mayor a 300 mmHg y en caso de no conseguir esta meta, establece una medida de reclutamiento por 2 horas con toma de gases control y de persistir una relación menor a 300 mmHg, queda a criterio del médico coordinador del rescate la aceptación o no de los pulmones. Dentro de las estrategias para aumentar la tasa de donantes se ha descrito maniobras de reclutamiento, diferentes modos ventilatorios e incluso ventilación en prono en pacientes con muerte encefálica (15).

La relación de la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> mayor a 300 mmHg es un indicador del intercambio gaseoso en cuanto a que muestra la relación del oxígeno aportado con respecto al que alcanza el torrente sanguíneo. Descrito por primera vez en 1974 por Horowitz y colaboradores en 49 pacientes con trauma mayor admitidos al servicio de trauma del Parkland Memorial Hospital (16), hospital ubicado en Dallas, Texas, Estados Unidos, ciudad que se encuentra entre 137 a 168 metros sobre el nivel del mar, y en 1994 Bernard y colaboradores validaron el valor inferior de la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> en 300 mmHg como marcador de lesión pulmonar aguda (17) encaminado en la definición y clasificación del síndrome de distrés respiratorio agudo del adulto (SDRA). Desde ahí, múltiples estudios han respaldado la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> como una medida objetiva del intercambio gaseoso en el pulmón estableciendo así una relación directa con su funcionamiento hasta el 2012 en donde se publican los Criterios de Berlín (18) estableciendo la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> menor de 300 mmHg como SDRA leve. Dicho esto, se considera que los pulmones sanos deben tener una relación mayor a 300 mmHg para establecer un adecuado intercambio gaseoso. Sin embargo, estos criterios y estudios han sido realizados a baja altura lo cual no impacta la presión parcial de oxígeno generando un sesgo en la altura. De igual manera, ha sido estudiada como un marcador temprano de rechazo y/o disfunción del injerto que conlleva a aumento de la mortalidad y/o retrasplante al igual que de tiempo de estancia en UCI y tiempo de ventilación (19).

Al encontrarse en altura se evidencia la disminución de la presión parcial de oxígeno lo que conlleva a que en la presión en la cascada posterior sea menor y pueda conllevar a hipoxemia e hipoxia. Con el tiempo, la adaptación lleva a un aumento de

la hemoglobina al igual que el 2-3 difosfoglicerato (2,3-DPG por sus siglas en inglés) lo que aumenta la liberación del oxígeno en los tejidos, aumento del volumen minuto por aumento del volumen corriente y vasoconstricción crónica y en casos específicos, el aumento de la mioglobina lo que aumenta la reserva de oxígeno en los tejidos, principalmente en el musculo (6,7). Por la cronicidad de estos cambios, no se presentan síntomas ni edema pulmonar el cual esta descrito en cambios abruptos de altura y que puede ser potencialmente mortal (20). Múltiples estudios se han realizado en contexto de la oxigenación del donante como marcador de mortalidad en trasplante unipulmonar y/o bipulmonar pero la evidencia es controversial.

La evidencia en contra de la  $PaO_2/FiO_2$  como marcador de mortalidad se viene describiendo desde 1999 cuando Gabbay y colaboradores no encontraron un aumento de la mortalidad y si una disminución de los posibles donantes cuando el criterio de oxigenación por  $PaO_2/FiO_2$  era tenido en cuenta y la necesidad de flexibilizar dicho criterio aumentando así la cantidad de donantes (21), Whitford y colaboradores realizaron un estudio clínico aleatorizado donde en 93 donantes de muerte encefálica y trasplante bipulmonar encontraron que no había diferencia en la mortalidad y rechazaba potenciales donantes con el resto de los criterios aceptados al igual que el aumento de la perfusión ex vivo y ausencia de alteración de pruebas de función pulmonar a 6 y 12 meses (22). De igual manera, Zafar y colegas en 12.45 trasplantes evidenciaron de la  $PaO_2/FiO_2$  y la  $PaO_2$  del donante no son marcadores de mortalidad ni de éxito del injerto y que aproximadamente un quinto de los trasplantes hechos entre enero 2000 y noviembre de 2009 se realizó con una  $PaO_2/FiO_2$  menor a 300 mmHg del donante (4). Fuera de Estados Unidos, Okamoto y compañía realizaron trasplantes con pacientes con  $PaO_2/FiO_2$ s menores a 300 mmHg u obesos y evidenciaron mejoría de la oxigenación con maniobras de reclutamiento dado que dentro de las posibles causas de disminución de la oxigenación es el aumento del espacio muerto por atelectasias (23).

A la fecha, solo se encuentra un único poster con reporte de trasplante pulmonar en altitud cercana a los 2640 metros con 50 pacientes con sobrevidas similares sin ser estadísticamente diferentes de las reportadas por la ISHLT (5). Esto, teniendo en cuenta la variación reportada en los índices de oxigenación y gases arteriales estándar en altura de 2640 metros donde una  $PO_2$  normal acorde a la edad puede variar entre 67 y 63 mmHg y una saturación normal alrededor de 92%, esto llevando a valores de  $PaO_2/FiO_2$  normales menores de 300 mmHg entendiendo la limitación de donantes como algo relacionado a la altura y la adaptación de los valores a la misma (2,3).

pH	7,43 ± 0.02 [7,39 – 7,47]			Hombres
PaCO <sub>2</sub>	33,5 ± 2,6 [28,3 – 38,7]			
HCO <sub>3</sub>	21,9 ± 1,4 [19,1 – 24,7]			
PaO <sub>2</sub>	67,3 ± 4,3	66,2 ± 4,9	63,3 ± 4,7	
P(A-a)O <sub>2</sub>	8,7 ± 4,5	10,2 ± 4,7	12,2 ± 4,8	
SaO <sub>2</sub>	93,3 ± 1,3	92,9 ± 1,6	91,7 ± 2,0	
pH	7,43 ± 0.02 [7,39 – 7,47]			Mujeres
PaCO <sub>2</sub>	31,1 ± 2,4 [26,3 – 35,9]	34,6 ± 2,6 [29,4 – 39,8]		
HCO <sub>3</sub>	20,6 ± 1,3 [18,0 – 23,2]	22,6 ± 1,5 [19,6 – 25,6]		
PaO <sub>2</sub>	68,5 ± 4,7	64,6 ± 4,8	60,1 ± 5,5	
D(A-a)O <sub>2</sub>	9,9 ± 4,6	12,1 ± 4,5	15,2 ± 4,8	
SaO <sub>2</sub>	93,7 ± 1,5	92 ± 1,8	90,1 ± 2,9	
Edad, años	18 - 39	40 - 59	≥ 60	

Ilustración 3. Valores normales de gases arteriales a 2640 metros sobre el nivel del mar. Tomado de Lasso Apráez, Md. JI (3).

## **5. Pregunta de Investigación**

En pacientes adultos sometidos a trasplante pulmonar en la Fundación Santa Fe de Bogotá, expuestos a condiciones de hipoxemia por altitud a 2640 m s. n. m., ¿cuáles son las características clínicas, hemodinámicas y respiratorias observadas en el perioperatorio y el seguimiento temprano en contexto de una  $PaO_2/FiO_2$  menor dada por la altura?

## 6. Objetivos

### a. Objetivo Principal:

Describir de manera detallada y sistemática las características clínicas, hemodinámicas y respiratorias de los pacientes adultos sometidos a trasplante pulmonar en la Fundación Santa Fe de Bogotá, un centro ubicado a 2640 metros sobre el nivel del mar, donde la hipoxemia ambiental generada por la altitud plantea condiciones fisiológicas particulares.

Este estudio busca caracterizar el comportamiento clínico de los receptores en el periodo perioperatorio y durante el seguimiento temprano, incluyendo la evolución del intercambio gaseoso, los parámetros ventilatorios utilizados, la respuesta hemodinámica al procedimiento, la necesidad y tipo de soporte en la unidad de cuidados intensivos, y los desenlaces clínicos iniciales asociados a la adaptación del injerto pulmonar en un entorno de menor presión barométrica.

De manera integrada, este objetivo pretende generar una primera aproximación descriptiva a los retos clínicos derivados de realizar trasplante pulmonar en condiciones de hipoxemia por altitud, proporcionando información que permita formular hipótesis futuras, optimizar los protocolos de manejo, y aportar evidencia local relevante para centros de trasplante ubicados en regiones de altura.

### b. Objetivos Secundarios:

- Describir las características de oxigenación del donante previo a la procuración, incluyendo la relación  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , el nivel de PEEP administrado, las necesidades específicas de soporte ventilatorio y otros parámetros relevantes para evaluar la aptitud pulmonar del injerto.
- Describir los parámetros ventilatorios del donante al momento de la procuración, considerando el modo ventilatorio empleado, los volúmenes corrientes ajustados al peso predicho, niveles de PEEP, presión de conducción (driving pressure), fracción inspirada de oxígeno ( $\text{FiO}_2$ ) y medidas de distensibilidad estática y dinámica.
- Identificar la relación entre los parámetros ventilatorios del donante y los índices de oxigenación al momento de la procuración, explorando predictores de función inicial del injerto y posibles asociaciones con desenlaces respiratorios tempranos.
- Describir el comportamiento de los parámetros de oxigenación del receptor — incluyendo  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ , gradiente alveolo-arterial y  $\text{PaCO}_2$ — durante las primeras 72 horas posteriores al trasplante.
- Caracterizar el soporte ventilatorio del receptor en el perioperatorio y en las primeras 72 horas postoperatorias, evaluando modos ventilatorios, niveles de PEEP, presiones pico (PIP), presión de conducción, estrategias de ventilación protectora, uso de maniobras de reclutamiento y requerimiento de ECMO como soporte respiratorio.
- Identificar los parámetros ventilatorios del receptor asociados a los índices de oxigenación en el periodo temprano, incluyendo posibles predictores de disfunción primaria del injerto.

- Describir la severidad clínica preoperatoria del receptor, incorporando puntajes APACHE II y SOFA basal, la severidad de la enfermedad pulmonar subyacente, la presencia y grado de hipertensión pulmonar, así como los soportes ventilatorios o extracorpóreos previos al trasplante.
- Caracterizar el comportamiento hemodinámico perioperatorio y posoperatorio temprano, tomando en cuenta requerimientos de vasopresores e inotrópicos, mediciones de gasto cardíaco, necesidad de soporte circulatorio avanzado y hallazgos indicativos de falla ventricular derecha.
- Describir las complicaciones tempranas del injerto pulmonar, incluyendo la presencia y grado de disfunción primaria del injerto (PGD entre 0 y 72 horas), edema por reperfusión, atelectasias y complicaciones obstructivas tempranas.
- Describir el uso de soporte extracorpóreo (ECMO) en el perioperatorio, detallando tipo (veno-venoso o veno-arterial), indicación, duración, ajustes empleados y complicaciones asociadas.
- Caracterizar el soporte en la unidad de cuidados intensivos durante la primera semana, incluyendo requerimiento de terapia de reemplazo renal (RRT), estrategias de sedoanalgesia, uso de bloqueo neuromuscular, complicaciones infecciosas tempranas y otros soportes avanzados.
- Describir los desenlaces clínicos tempranos, tales como duración de la ventilación mecánica, tiempo de estancia en UCI, necesidad de reintubación o traqueostomía, y mortalidad a 30 y 90 días.

## 7. Metodología

### a. Diseño del Estudio

El presente estudio corresponde a una serie de casos descriptiva, desarrollada en la Fundación Santa Fe de Bogotá, un centro de referencia nacional ubicado a una altitud de 2640 metros sobre el nivel del mar. El propósito metodológico es caracterizar de manera detallada los aspectos clínicos, hemodinámicos y respiratorios de los pacientes adultos sometidos a trasplante pulmonar, así como evaluar las particularidades asociadas a la realización del procedimiento en condiciones de hipoxemia ambiental propias de la altitud.

El diseño descriptivo permite recopilar y analizar información clínica y fisiológica de manera exhaustiva, sin intervención adicional sobre el manejo de los pacientes. Se incluirán todos los pacientes adultos ( $\geq 18$  años) sometidos a trasplante pulmonar en la institución durante el periodo definido, independientemente del tipo de trasplante (unilateral o bilateral) y de la enfermedad pulmonar subyacente. La inclusión estará supeditada a la disponibilidad de registros clínicos completos en los momentos definidos para la extracción de datos. Se excluirán pacientes cuya información perioperatoria crítica no esté disponible o cuyo procedimiento haya sido suspendido antes de la implantación del injerto. Los datos se tomarán por el periodo comprendido entre enero de 2024 y diciembre de 2025, utilizando bases de datos institucionales y registros clínicos electrónicos, previa autorización del Comité Ético del Hospital Fundación Santa Fe de Bogotá.

*Desenlace primario:* El desenlace primario del estudio será la caracterización integral de los parámetros clínicos, hemodinámicos y respiratorios del receptor en el periodo perioperatorio y durante las primeras 72 horas posteriores al trasplante pulmonar, en el contexto de hipoxemia ambiental propia de la altitud de Bogotá (2640 m s. n. m.). Este desenlace se centra en describir de manera detallada la evolución del intercambio gaseoso, el comportamiento ventilatorio y los requerimientos hemodinámicos tempranos, con el fin de identificar patrones fisiológicos asociados a la adaptación inicial del injerto pulmonar en condiciones de presión barométrica reducida.

La evaluación incluirá como componentes principales:

- El comportamiento de la oxigenación del receptor, medido mediante la relación  $PaO_2/FiO_2$ , el gradiente alveolo–arterial de oxígeno, los niveles de  $PaCO_2$  y otros índices derivados.
- Los parámetros ventilatorios empleados, incluyendo modalidad ventilatoria, niveles de PEEP, presiones pico y de conducción, distensibilidad del sistema respiratorio y uso de estrategias de ventilación protectora.
- El comportamiento hemodinámico temprano, evaluando requerimientos de

vasopresores e inotrópicos, signos de disfunción ventricular derecha, gasto cardíaco y otros marcadores de estabilidad circulatoria.

- La necesidad de soporte extracorpóreo (ECMO) como estrategia respiratoria o circulatoria, en caso de presentarse hipoxemia, hipercapnia o inestabilidad hemodinámica refractaria.

Este desenlace primario permitirá establecer un perfil fisiológico inicial de los receptores trasplantados en un entorno de altura, proporcionando información esencial para comprender la respuesta del injerto y del paciente en las primeras horas críticas del postoperatorio y para generar hipótesis sobre el rol de la hipoxemia por altitud en los desenlaces tempranos del trasplante pulmonar.

Desenlace secundario:

1. Características de oxigenación del donante:  $PaO_2/FiO_2$  del donante (relación  $PaO_2$  [mmHg] /  $FiO_2$  [fracción decimal]) registradas en la gasometría más cercana a la hora de procuración; PEEP (cmH<sub>2</sub>O) y  $FiO_2$  (%) administrados inmediatamente antes de la procuración.
2. Parámetros ventilatorios del donante: modo ventilatorio, volumen corriente (mL) y volumen corriente por PBW (mL/kg PBW), PEEP (cmH<sub>2</sub>O), driving pressure (Pplat – PEEP; cmH<sub>2</sub>O cuando Pplat disponible),  $FiO_2$  (fracción), distensibilidad estática (mL/cmH<sub>2</sub>O) si está reportada.
3. Función inicial del injerto: correlación entre  $PaO_2/FiO_2$  del donante y  $PaO_2/FiO_2$  receptor a 0 y 24 h; correlación entre parámetros ventilatorios donante ( $V_t/kg$  PBW, PEEP, driving pressure,  $FiO_2$ ) y  $PaO_2/FiO_2$  receptor a 0 h.
4. Comportamiento de oxigenación del receptor (complementario al primario):  $PaO_2/FiO_2$  (mmHg), gradiente alveolo-arterial (A–a O<sub>2</sub>, mmHg) y PaCO<sub>2</sub> (mmHg) a 0, 24 y 72 h.
5. Parámetros ventilatorios del receptor: modo ventilatorio,  $V_t$  (mL y mL/kg PBW), PEEP (cmH<sub>2</sub>O), PIP (cmH<sub>2</sub>O), Pplat (cmH<sub>2</sub>O cuando disponible), driving pressure (Pplat – PEEP), distensibilidad (mL/cmH<sub>2</sub>O),  $FiO_2$  (%) a 0, 24 y 72 h.
6. Parámetros ventilatorios asociados a índices de oxigenación (exploratorio): asociación entre  $V_t/kg$  PBW, PEEP, driving pressure y  $PaO_2/FiO_2$  receptor a 24 y 72 h.
7. Severidad clínica preoperatoria: puntuaciones APACHE II y SOFA calculadas con los datos disponibles inmediatamente previos al trasplante; registro de terapia previa (VNI, VM invasiva, ECMO) y grado de hipertensión pulmonar (leve/moderada/severa según presión sistólica estimada o cateterismo si disponible), 24 horas previas al trasplante.
8. Comportamiento hemodinámico perioperatorio y posoperatorio temprano: necesidad de vasopresores/inotrópicos (sí/no), tipo (noradrenalina, vasopresina, dobutamina, epinefrina), dosis máxima registrada (mcg/kg/min),

- tiempo total de uso (horas), MAP promedio en las primeras 72 h, gasto cardíaco/índice cardíaco si disponible (L/min o L/min/m<sup>2</sup>), presencia clínica/ecocardiográfica documentada de falla ventricular derecha (sí/no), durante el intraoperatorio y primeras 72 h postoperatorias.
9. Uso de ECMO (perioperatorio): requerimiento de ECMO postoperatorio (sí/no), tipo (veno-venoso [VV] / veno-arterial [VA]), indicación principal (hipoxemia, falla derecha, inestabilidad hemodinámica), tiempo de inicio (horas desde ingreso UCI) y duración total en horas; complicaciones relacionadas (sangrado mayor, trombosis, infección).
  10. Disfunción primaria del injerto (PGD) a 72 horas: clasificación de PGD según ISHLT (grado 0–3) a 72 horas; registrar grado y criterios (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y radiografía de tórax).
  11. Complicaciones tempranas relacionadas con el injerto: edema por reperfusión documentado clínicamente o radiológicamente (sí/no), atelectasias (sí/no), requerimiento de broncoscopia o intervención (sí/no), obstrucción de la vía aérea o complicaciones quirúrgicas tempranas (sí/no), durante los primeros 30 días (énfasis 0–7 días).
  12. Soporte en UCI durante la primera semana: necesidad de RRT (sí/no), uso de bloqueo neuromuscular (bolos/infusión; duración horas), sedoanalgesia (tipo y duración), complicaciones infecciosas definidas (neumonía nosocomial, bacteriemia) en los primeros 7 días.
  13. Desenlaces de ventilación y estancia: duración total de ventilación mecánica invasiva (días), necesidad de reintubación (sí/no; días hasta reintubación), necesidad de traqueostomía (sí/no; día realizada), días de estancia en UCI y días de estancia hospitalaria total hasta alta hospitalaria o 90 días (lo que ocurra primero).
  14. Insuficiencia renal aguda y terapia de reemplazo renal: aumento de creatinina  $\geq 0.3$  mg/dL en 48 h o  $\geq 50\%$  de incremento en 7 días (KDIGO) y necesidad de RRT (sí/no; modalidad; días de RRT) durante los primeros 30 días postoperatorios.
  15. Complicaciones infecciosas tempranas. infección documentada (microbiología positiva y tratamiento dirigido) en los primeros 30 días; clasificar por sitio (pulmonar, sanguínea, catéter relacionada, otras).
  16. Rechazo agudo (biopsia confirmada): rechazo agudo confirmado por biopsia transbronquial y gradación según normativa local/ISHLT dentro de los primeros 90 días (sí/no; fecha; grado).
  17. Mortalidad por todas las causas: mortalidad a 30 días y a 90 días post trasplante (sí/no; fecha de fallecimiento; causa principal si disponible: respiratoria, infecciosa, cardiovascular, multiorgánica).
  18. Mortalidad intrahospitalaria: muerte ocurrida durante la misma hospitalización del trasplante (sí/no; fecha).

19. Compuesto de eventos adversos mayores (30 días): compuesto que incluye cualquiera de los siguientes en 30 días: muerte, ECMO, re-operación por causa torácica, RRT, sepsis con disfunción orgánica y choque refractario.
20. Relación donante-receptor sobre desenlaces respiratorios tempranos: análisis exploratorio que combine categorías de PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> donante (<200; 200–300; >300) con PGD grado a 72 h y necesidad de ECMO.
21. Medidas de calidad y seguridad: registro de eventos adversos relacionados al procedimiento (hemorragia mayor, trombosis vascular relacionada con injerto, infección nosocomial grave, complicaciones anestésicas relevantes) durante la hospitalización.

## **b. Muestra**

Población: pacientes adultos ( $\geq 18$  años) receptores de trasplante pulmonar (unilateral o bilateral) procedentes y atendidos en la Fundación Santa Fe de Bogotá, un centro situado a 2640 m s. n. m. Serán candidatos a inclusión todos los pacientes sometidos a trasplante pulmonar en el periodo de estudio que cumplan los criterios de inclusión y que dispongan de los registros clínicos mínimos requeridos para la extracción de datos (datos demográficos básicos, registro intraoperatorio y al menos una gasometría arterial y parámetros ventilatorios documentados en las primeras 24–72 h postoperatorias). Se incluirán tanto trasplantes simples como bilaterales, salvo aquellos casos que cumplan criterios de exclusión (p. ej., trasplante combinado corazón–pulmón, re-trasplantes según decisión investigadora).

Se analizarán, además, los registros relacionados con los donantes correspondientes a cada injerto (parámetros de oxigenación y ventilación inmediatos previos a la procuración) para los análisis de asociación donante-receptor planteados en los objetivos secundarios.

Tamaño de la muestra: El tamaño de la muestra será de 10 casos ( $n = 10$ ), conformando una serie de casos consecutivos. Este número corresponde al diseño metodológico del escrito el cual es una serie de casos lo que limita el número a los primeros 10 trasplantes que cumplan los criterios de inclusión dentro del periodo temporal definido.

El propósito del estudio es descriptivo y exploratorio: caracterizar de manera detallada los parámetros clínicos, hemodinámicos y respiratorios en el perioperatorio y el seguimiento temprano en un centro de alta altitud. Dado el diseño (serie de casos) y la naturaleza de las variables (mediciones fisiológicas detalladas), el objetivo es generar hipótesis y describir patrones clínicos más que obtener estimaciones con precisión inferencial o realizar pruebas de hipótesis con poder estadístico. Por ello, una muestra de 10 casos es adecuada como primer acercamiento y para documentar la experiencia institucional basado en el tipo de escrito que se plantea realizar.

Aleatorización: Dado que el presente estudio corresponde a una serie de casos descriptiva, basada en una muestra por conveniencia de pacientes consecutivos sometidos a trasplante pulmonar en la Fundación Santa Fe de Bogotá, no se empleará ningún procedimiento de aleatorización. Este tipo de diseño no busca comparar intervenciones ni evaluar efectos causales, sino describir de manera exhaustiva las características clínicas, hemodinámicas y respiratorias de los pacientes en un contexto fisiológico particular como lo es la altitud (2640 m s. n. m.).

La inclusión de los casos se realizará de forma consecutiva y no probabilística, tomando todos los procedimientos de trasplante pulmonar que cumplan los criterios de inclusión dentro del periodo definido. Este enfoque es metodológicamente adecuado cuando el objetivo es documentar la experiencia institucional, caracterizar patrones clínicos y generar hipótesis exploratorias, sin pretender realizar comparaciones entre grupos ni inferencia causal.

#### **c. Criterios de Inclusión**

- Edad  $\geq$  18 años al momento del trasplante.
- Trasplante pulmonar (unilateral o bilateral) realizado en la Fundación Santa Fe de Bogotá durante el periodo de estudio definido.
- Receptor con expediente clínico disponible en la historia clínica electrónica.
- Gasometría arterial y soporte ventilatorio en las primeras 24–72 h postoperatorias
- Disponibilidad de datos del donante.
- Caso consecutivo durante el periodo seleccionado

#### **d. Criterios de Exclusión**

- Trasplante combinado corazón–pulmón u otro trasplante multiorgánico en el que el manejo hemodinámico y las complicaciones estén dominadas por la otra intervención.
- Re-trasplante pulmonar (pacientes que recibieron un segundo trasplante de pulmón)
- Ausencia de datos clave: expedientes con información incompleta que impida caracterizar las variables primarias.

#### **e. Recolección de la Información**

La fuente de datos es primaria. Las medidas se obtendrán de bases de datos históricas, historia clínica electrónica y bases administrativas de pacientes ingresado a la unidad de cuidado intensivo de la Fundación Santa Fe de Bogotá, los datos serán

transcritos por asistentes de investigación que tengan el curso de buenas prácticas clínicas serán subidos a la plataforma de RedCap.

#### f. Caracterización de las Variables

Variable	Definición	Tipo de variable	Definición
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> del donante	Valor de PaO <sub>2</sub> dividido por FiO <sub>2</sub> registrado en la última gasometría antes de la procuración.	Cuantitativa continua	mmHg
PaO <sub>2</sub> del donante	PaO <sub>2</sub> de la última gasometría pre-procuración	Cuantitativa continua	mmHg
FiO <sub>2</sub> del donante	Fracción inspirada de oxígeno al momento de la gasometría	Cuantitativa continua	Proporción (0-100%)
PEEP del donante	Nivel de PEEP ajustado en la última hora previa a procuración	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Modo ventilatorio del donante	Modalidad ventilatoria empleada	Categoría nominal	AC/VC, AC/PC, Bilevel, APRV, PRVC, CPAP, BiPaP, NAVA, PAV, PAV+, Intellivent, etc.
Volumen corriente ajustado	Volumen corriente dividido entre peso ideal del donante	Cuantitativa continua	mL
Presión de conducción del donante	P <sub>plat</sub> - PEEP inmediatamente antes de procuración	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Distensibilidad del sistema respiratorio del donante	Calculada como V <sub>t</sub> / (P <sub>plat</sub> - PEEP)	Cuantitativa continua	mL/cmH <sub>2</sub> O
Tiempo total de ventilación antes de procuración	Horas desde intubación hasta procuración	Cuantitativa continua	Horas

Edad del donante	Edad al momento del trasplante	Cuantitativa continua	Años
Sexo del donante	Sexo biológico	Cualitativa nominal	Masculino/Femenino
Edad del receptor	Edad al momento del trasplante	Cuantitativa continua	Años
Sexo del receptor	Sexo biológico	Cualitativa nominal	Masculino/Femenino
Diagnóstico pulmonar que motiva trasplante	Enfermedad pulmonar de base	Cualitativa nominal	Categorías (EPOC, fibrosis pulmonar, hipertensión pulmonar, etc.)
Severidad de la enfermedad de base	Clasificación según guías específicas (p. ej., GAP para fibrosis)	Cualitativa ordinal	Escalas
SOFA basal	Puntaje SOFA antes del trasplante	Cuantitativa discreta	0–24
APACHE II	Puntaje APACHE II previo al procedimiento	Cuantitativa discreta	0–71
Nivel de hipertensión pulmonar	Medición por ecocardiografía o cateterismo	Cuantitativa continua	mmHg
Uso de soporte ventilatorio previo	Necesidad de VM o VNI	Cualitativa nominal	Sí/No
Uso de ECMO preoperatorio	Presencia y tipo (VA/VV)	Cualitativa nominal	Sí/No
Requerimiento de oxígeno	Litros/min o FiO <sub>2</sub> previo a cirugía	Categoría nominal / Cuantitativa	Sí/No Proporción (0–1)
Tipo de trasplante	Unilateral o bilateral	Cualitativa nominal	Categoría correspondiente.
Tiempo de isquemia fría promedio de ambos pulmones	Tiempo entre procuración y perfusión inicial	Cuantitativa continua	Minutos
Tiempo de isquemia caliente promedio de ambos pulmones	Tiempo entre perfusión inicial y circulación de receptor	Cuantitativa continua	Minutos
Tiempo quirúrgico total	Desde incisión hasta cierre	Cuantitativa continua	Minutos

Uso de ECMO intraoperatorio	Tipo de ECMO, indicación	Cualitativa nominal	Sí/No VA/VV, ¿Por qué?
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> intraoperatorio	Índice obtenido durante reperfusión	Cuantitativa continua	mmHg
PEEP intraoperatorio	PEEP aplicada durante reperfusión	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Presión pico	PIP registrada durante ventilación durante reperfusión	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Driving pressure intraoperatorio	Pplat – PEEP durante reperfusión	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Requerimiento de vasopresores intraoperatorio	Dosis máxima de norepinefrina o equivalente	Cuantitativa continua	mcg/kg/min
Evento de falla ventricular derecha intraoperatoria	Determinado por hemodinamia/eco transoperatorio	Cualitativa nominal	Sí/No
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (0, 24, 72 h) del posoperatorio	Índice de oxigenación en tres puntos del posoperatorio	Cuantitativa continua	mmHg
PEEP (0, 24, 72 h) del posoperatorio	PEEP aplicada en cada ventana del posoperatorio	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
PaCO <sub>2</sub> (0, 24, 72 h) del posoperatorio	Valor de gasometría	Cuantitativa continua	mmHg
Gradiente A-a	Calculado cuando FiO <sub>2</sub> y parámetros son estables durante las primeras 72 horas.	Cuantitativa continua	mmHg
Modo ventilatorio durante el posoperatorio	Modalidad predominante	Cualitativa nominal	AC/VC, AC/PC, Bilevel, APRV, PRVC, CPAP, BiPaP, NAVA, PAV, PAV+, Intellivent, etc.
Driving pressure (0, 24, 72 h) del posoperatorio	Cálculo de Pplat – PEEP durante cada ventana	Cuantitativa continua	cmH <sub>2</sub> O
Distensibilidad del receptor (0, 24, 72 h) del	Vt/(Pplat – PEEP), calculado en cada ventana	Cuantitativa continua	mL/cmH <sub>2</sub> O

posoperatorio			
Necesidad de ECMO postoperatorio	Indicación, tipo y duración	Cualitativa nominal	Sí/No VA/VV, ¿Por qué? Horas
Falla ventricular derecha en posoperatorio	Por eco o hemodinamia invasiva	Cualitativa nominal	Sí/No
Requerimiento de vasopresores en el posoperatorio	Dosis máxima de norepinefrina o equivalente	Cuantitativa continua	mcg/kg/min
PGD	Clasificación PGD 0-3 en horas 0, 24, 48, 72	Cualitativa ordinal	0-3
Edema por reperfusión	Documentado por imagen o clínica	Cualitativa nominal	Sí/No
Atelectasias	Confirmadas por imagen	Cualitativa nominal	Sí/No
Inicio de terapia renal en posoperatorio	Requerimiento de RRT	Cualitativa nominal	Sí/No
Sedoanalgesia en posoperatorio	Tipo y dosis equivalentes en las primeras 72 horas	Cualitativa nominal / cuantitativa	Fentanilo, Remifentanilo, Midazolam, Propofol, Ketamina, Dexmedetomidina, etc. mg/kg/h o mcg/kg/h
Bloqueo neuromuscular en posoperatorio	Agente y duración	Cualitativa nominal / cuantitativa	Cisatracurio o rocuronio Horas
Complicaciones infecciosas tempranas	Neumonía, traqueobronquitis, bacteriemia	Cualitativa nominal	Categorías
Duración de ventilación mecánica	Desde ingreso a UCI hasta extubación	Cuantitativa continua	Días y horas.
Reintubación	Necesidad durante primeros 7 días posterior a la extubación	Cualitativa nominal	Sí/No
Traqueostomía	Necesidad en primeros 14 días	Cualitativa nominal	Sí/No

	desde inicio de la ventilación		
Estancia en UCI	Días desde ingreso hasta egreso	Cuantitativa continua	Días
Mortalidad	Mortalidad a 30 y 90 días	Cualitativa nominal	Sí/No

### **g. Calidad de Datos: Errores y Sesgos**

El presente estudio, al estar diseñado como una serie de casos descriptiva, no está orientado a la comparación entre grupos ni a la estimación de efectos causales; sin embargo, es susceptible a la presencia de diversos errores sistemáticos y aleatorios que pueden influir en la calidad y validez de la información recolectada. Con el fin de garantizar la rigurosidad metodológica, se establecen las siguientes consideraciones sobre los sesgos potenciales y las estrategias implementadas para su mitigación.

La muestra utilizada corresponde a casos consecutivos disponibles en el centro, por lo cual se trata de una muestra no probabilística. Esto puede limitar la generalización de los resultados y generar sesgos si la población incluida no es representativa de todos los pacientes sometidos a trasplante pulmonar en condiciones de altura, condicionando sesgo de selección. Para esto, se incluirán todos los casos consecutivos que cumplan criterios de inclusión dentro del periodo definido, evitando la selección discrecional o basada en disponibilidad de datos, también se llevará un registro de cribado (screening log) documentando todos los procedimientos realizados, así como motivos de exclusión, para asegurar transparencia y reducir la posibilidad de selección subjetiva. Finalmente, se describirán detalladamente las características basales de los pacientes incluidos y no incluidos, en caso de ser posible, para permitir evaluar la comparabilidad.

Dado que el estudio se basa en recolección retrospectiva y prospectiva de datos clínicos, puede existir error de medición, ausencia de datos o variabilidad en la forma en que ciertos parámetros fueron registrados (especialmente en contextos como cirugía, soporte ventilatorio y ECMO). Para esto se utilizarán definiciones operacionales estandarizadas para cada variable, evitando interpretaciones subjetivas y facilitando la reproducibilidad, priorizando registros que correspondan a momentos clínicos claramente definidos (por ejemplo, ventanas 0, 24 y 72 h), donde la disponibilidad de gasometrías y parámetros ventilatorios es más sistemática. Se documentarán explícitamente los casos con datos faltantes y se empleará análisis por disponibilidad (complete-case) para cada variable, especificando el denominador real en cada análisis. Finalmente, se utilizarán datos provenientes únicamente de fuentes institucionales oficiales,

como historia clínica electrónica, registros anestésicos y hojas de monitorización de UCI, minimizando errores derivados de reportes verbales o no estandarizados.

Aunque este diseño no busca evaluar causalidad, algunas asociaciones exploratorias (por ejemplo, entre parámetros ventilatorios del donante y oxigenación temprana del receptor) pueden estar afectadas por variables de confusión, como severidad basal, tipo de trasplante, necesidad de ECMO o presencia de hipertensión pulmonar. Las posibles variables de confusión serán explicitadas y discutidas en el análisis e interpretación, reconociendo que el diseño no permite controlarlas mediante aleatorización. Cuando sea metodológicamente factible, se realizarán análisis descriptivos estratificados (p. ej., según uso de ECMO o tipo de trasplante) para explorar variabilidad en subgrupos y se enfatizará en la discusión que los hallazgos son hipótesis-generadores, sin pretensión de establecer relaciones causales.

La clasificación de eventos clínicos, como disfunción primaria del injerto (PGD), falla ventricular derecha o complicaciones infecciosas, puede verse afectada por la variabilidad en la interpretación del personal clínico o por la calidad de los registros. Para esto se utilizarán definiciones basadas en guías internacionales (como ISHLT para PGD) para estandarizar la clasificación, cuando exista duda en la interpretación de un evento, la clasificación será revisada por al menos dos investigadores, buscando consenso y reduciendo la subjetividad, evitando la extrapolación de variables no registradas; si un ítem no está documentado, se clasificará como dato faltante y no como ausencia del evento.

Dado el pequeño tamaño muestral ( $n=10$ ), el estudio es vulnerable a que fluctuaciones aleatorias influyan en la interpretación de los hallazgos. Para esto, el análisis se centrará en tendencias descriptivas, evitando conclusiones inferenciales o generalizaciones no justificadas. Los resultados se presentarán con medidas de dispersión apropiadas (medianas y rangos intercuartílicos) para reflejar la variabilidad natural de la serie y se enfatizará en la sección de discusión que los resultados no buscan estimar parámetros poblacionales, sino caracterizar la experiencia inicial del centro.

El estudio se desarrolla en una ciudad situada a 2640 m s. n. m., lo cual genera condiciones fisiológicas de oxigenación que no son comparables con centros a nivel del mar. Esto podría sesgar la interpretación de parámetros como  $PaO_2/FiO_2$  o PGD en comparación con estándares internacionales. Se contextualizarán los resultados considerando la presión barométrica local y la fisiología propia de la altura, evitando comparaciones directas con series de otros centros sin ajustar por condiciones ambientales. Se incluirá una discusión explícita sobre la influencia de la altitud en la función inicial del injerto y la

necesidad de parámetros adaptados a esta condición.

En una serie de casos, los pacientes que sobreviven más tiempo pueden aportar más datos que los que presentan complicaciones tempranas o mortalidad precoz, lo cual puede distorsionar análisis longitudinales de oxigenación o ventilación. En los análisis temporales (0–24–72 h), se aclarará el número de datos disponible por ventana, evitando inferir cambios longitudinales donde no hay datos completos. Los eventos que limiten la obtención de mediciones (por ejemplo, ECMO precoz o paro cardíaco) se describirán como parte de la evolución clínica y no como ausencia de información.

Aunque el diseño de serie de casos no puede eliminar completamente los sesgos, la aplicación de estrategias de estandarización, documentación exhaustiva y análisis descriptivo transparente permitirá minimizar errores sistemáticos y fortalecer la validez interna y externa del estudio. La combinación de definiciones operacionales rigurosas, manejo explícito de datos faltantes y contextualización fisiológica por la altitud ofrece un marco sólido para interpretar los resultados y generar hipótesis robustas para investigaciones futuras.

#### **h. Plan de Análisis**

El análisis estadístico del presente estudio se estructurará bajo un enfoque estrictamente descriptivo y exploratorio, coherente con el diseño de serie de casos y con el tamaño muestral limitado ( $n=10$ ), el cual no permite inferencias poblacionales formales ni modelaciones multivariadas robustas. El objetivo central del análisis será caracterizar de manera detallada la evolución clínica, hemodinámica y respiratoria de los pacientes adultos sometidos a trasplante pulmonar en un centro ubicado a 2640 m s. n. m., enfatizando las repercusiones de la hipoxemia asociada a la altitud en el período perioperatorio y en el seguimiento temprano. De esta forma, la estrategia estadística se concibe como un proceso orientado a describir patrones, generar hipótesis y documentar tendencias fisiológicas y clínicas relevantes, más que a realizar comparaciones inferenciales o pruebas de significación.

El proceso analítico comenzará con la depuración y verificación rigurosa de los datos. Cada variable será revisada para asegurar consistencia interna, plausibilidad fisiológica, rangos esperados y compatibilidad de unidades. Para las variables continuas, se verificará que los valores se encuentren dentro de rangos clínicamente viables (por ejemplo,  $\text{PaO}_2$ , presiones ventilatorias, dosis de vasopresores, parámetros gasométricos), y para las categóricas se confirmará la correcta codificación de sus niveles. También se generará un diccionario de datos que especifique nombre, definición operativa, tipo de variable, unidades y fuente de extracción, garantizando trazabilidad y coherencia a lo largo del análisis. Se documentarán explícitamente los datos faltantes y se construirán matrices de ausencia

que permitan identificar patrones sistemáticos, reconociendo que en este tipo de investigación clínica retrospectiva los faltantes pueden provenir de variaciones en la documentación, diferencias en las prácticas asistenciales o limitaciones inherentes al contexto perioperatorio.

Una vez depurado el conjunto de datos, el análisis estadístico se centrará en la descripción de las características basales de los pacientes, sus condiciones preoperatorias, los parámetros del donante, las intervenciones intraoperatorias y la evolución en unidades críticas. Para las variables continuas se emplearán medidas de tendencia central y dispersión apropiadas para muestras pequeñas y distribuciones potencialmente no normales; por lo tanto, la mediana y el rango intercuartílico (IQR 25–75%) constituirán las estadísticas principales reportadas. En algunos casos, cuando sea útil para comparación con estudios previos o literatura de trasplante pulmonar, podrá reportarse adicionalmente la media y la desviación estándar, pero estas no serán las estadísticas rectoras. Para las variables categóricas se utilizarán frecuencias absolutas y porcentajes, siempre reportando el denominador real correspondiente a la disponibilidad de datos en cada variable. Esta insistencia en aclarar el denominador es fundamental en serie de casos, donde la ausencia de información completa puede distorsionar la interpretación.

El análisis del desenlace primario –la evolución del índice  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  en el período temprano postrasplante– se realizará a través de una descripción detallada por paciente y en conjunto. Para cada individuo se representará su comportamiento a las 0, 24 y 72 horas, destacando la magnitud y dirección de los cambios. En el análisis agregado se calcularán las medianas e IQR para cada punto temporal, así como el cambio absoluto y relativo entre las mediciones sucesivas (0→24 h, 0→72 h). Desde una perspectiva metodológica, esta aproximación permite captar la variabilidad interindividual y al mismo tiempo describir tendencias globales, sin recurrir a modelos longitudinales que resultarían inapropiados para un n tan reducido. La presentación gráfica mediante líneas individuales (spaghetti plots) complementará la descripción numérica, favoreciendo la visualización de trayectorias clínicas divergentes y posibles patrones fisiológicos.

Los parámetros ventilatorios y hemodinámicos se describirán de manera paralela, considerando que pueden relacionarse con el comportamiento del intercambio gaseoso. Se incluirán descripciones de PEEP, volumen corriente ajustado a peso ideal, presiones inspiratorias, presión de conducción, modos ventilatorios, dosis de vasopresores, requerimientos de fluidos y balance hídrico. Estos datos se presentarán de manera comparativa entre los mismos puntos temporales del análisis gasométrico, facilitando una lectura simultánea de soporte respiratorio y estabilidad hemodinámica. La metodología estadística para estos parámetros será igualmente descriptiva, empleando mediana e IQR, complementadas con gráficos de cajas y puntos individuales.

Se realizarán análisis exploratorios adicionales para investigar posibles asociaciones entre variables fisiológicas, reconociendo que estos análisis no buscan demostrar causalidad ni establecer relaciones estadísticamente robustas, sino únicamente generar hipótesis. Para ello se utilizarán medidas de correlación no paramétricas, especialmente el coeficiente de correlación de Spearman, que resulta adecuado para tamaños pequeños, distribuciones no normales y relaciones potencialmente monotónicas. Los coeficientes se presentarán junto con su magnitud, dirección y una discusión sobre su posible interpretación fisiológica. Cuando se considere pertinente, se complementará la estimación del coeficiente mediante intervalos de confianza generados por bootstrap no paramétrico, técnica que permite explorar la estabilidad del estimador bajo repetidas remuestras en datasets pequeños, aunque sin pretender otorgar significación formal.

Si durante los análisis se observan grupos naturales dentro de la muestra (por ejemplo, pacientes con hipertensión pulmonar vs sin ella, o pacientes que requirieron soporte ECMO postoperatorio vs quienes no lo requirieron), podrá realizarse una comparación exploratoria entre ellos. Dichas comparaciones utilizarán pruebas no paramétricas como Mann–Whitney U para variables continuas y prueba exacta de Fisher para variables categóricas. Sin embargo, estas pruebas se emplearán únicamente como apoyo exploratorio y no con intención de establecer diferencias concluyentes. En cada caso se enfatizará la magnitud del efecto (diferencia de medianas, odds ratios con intervalos exactos) más que los valores p, que en un estudio con tamaño tan limitado carecen de poder estadístico para apoyar interpretaciones firmes.

Debido al tamaño muestral y a la naturaleza descriptiva del diseño, no se contemplan análisis multivariantes ni modelos de regresión ajustada, que requerirían una relación entre número de eventos y número de predictores no alcanzable en esta serie. La ausencia de modelación multivariable no se considera una limitación del protocolo, sino una característica metodológica intrínseca a los estudios de serie de casos, donde la fuerza reside en la descripción exhaustiva y en la precisión contextual de los datos individuales.

El manejo de datos faltantes seguirá un enfoque completamente transparente. Dado que la imputación múltiple o técnicas similares son inapropiadas en muestras tan pequeñas, se adoptará un enfoque de análisis por caso disponible, reportando explícitamente el número de observaciones utilizadas en cada cálculo. La ausencia de datos será documentada, y se explorará si los faltantes siguen un patrón aleatorio o si parecen agruparse en torno a ciertos tiempos o tipos de medición, lo que permitirá contextualizar las interpretaciones. En caso de que algún desenlace o parámetro tenga un porcentaje elevado de datos faltantes (>30%), se incluirá una discusión narrativa resaltando cómo este fenómeno puede limitar la estimación de tendencias.

Finalmente, la presentación de resultados se realizará siguiendo principios de transparencia, reproducibilidad y estándares internacionales como STROBE. Se generarán tablas descriptivas completas, figuras temporales y anexos con datos individuales anonimizados cuando corresponda. Todo el análisis se ejecutará en un entorno reproducible R (versión 4.0 o superior) o Stata (versiones 16 o 17)), documentando versiones de software, paquetes y scripts utilizados. La interpretación final enfatizará la relevancia clínica, fisiológica y contextual de los hallazgos, evitando extrapolaciones más allá del alcance descriptivo del estudio.

Los datos se mostrarán y se representarán de manera transparente y completa. Se generarán las siguientes tablas/figuras como mínimo:

- ✓ Tabla 1. Características basales por caso y resumen agregado.
- ✓ Tabla 2. Parámetros del donante y tiempos de procuración.
- ✓ Tabla 3. Resumen intraoperatorio.
- ✓ Tabla 4. PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y parámetros ventilatorios 0/24/72 h por caso y mediana (IQR).
- ✓ Tabla 5. Desenlaces tempranos (ECMO, PGD, RRT, reintubación, mortalidad).
  
- ✓ Figura C. Scatterplots exploratorios con líneas de tendencia para correlaciones donante→receptor.
- ✓ Anexo. Tabla de datos individuales (sin identificadores) y tabla de missingness.

Cada tabla y figura incluirá el número observado y una nota sobre el manejo de mediciones múltiples por ventana (regla  $\pm 2$  h y selección de valor en condición estable).

## 8. Aspectos Éticos

El presente estudio se desarrollará en estricto cumplimiento de los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki, las Pautas Internacionales del CIOMS, el Informe Belmont y la normativa colombiana consagrada en la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud. Se trata de una serie de casos con recolección de información de historias clínicas, sin intervención adicional sobre los pacientes, lo cual clasifica esta investigación como riesgo mínimo. No obstante, por involucrar información clínica sensible, el manejo ético debe ser riguroso y respetar los principios fundamentales de la bioética: autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia.

**Principio de autonomía:** el estudio garantiza el respeto por la integridad y autodeterminación de los pacientes cuyos datos serán utilizados. Dado que la investigación se basa exclusivamente en información retrospectiva contenida en historias clínicas institucionales y que no implica contacto directo, procedimientos adicionales, ni intervención alguna sobre los participantes, el Comité de Ética podrá evaluar la aplicabilidad de un consentimiento informado exento o un consentimiento informado diferido, de acuerdo con las excepciones permitidas para estudios observacionales retrospectivos de riesgo mínimo. En cualquier caso, se evitará cualquier forma de vulneración a la privacidad y se implementará un proceso estricto de anonimizar para garantizar que la identidad de los pacientes no pueda ser reconocida. Toda la información será manejada de forma confidencial, con claves institucionales y en plataformas seguras con acceso restringido únicamente al equipo investigador autorizado.

**Principio de beneficencia:** el estudio busca generar conocimiento que contribuya al mejor entendimiento del trasplante pulmonar en condiciones de hipoxemia por altitud, una situación fisiológica poco estudiada pero altamente relevante para centros ubicados en regiones similares. La descripción detallada de los parámetros de soporte ventilatorio, hemodinámico y respiratorio, tanto del donante como del receptor, permitirá fortalecer la comprensión institucional del comportamiento perioperatorio y postoperatorio del injerto en altura, lo cual puede derivar en mejoras en la atención futura, optimización de protocolos clínicos y mayor seguridad para los pacientes. Aunque los participantes no obtendrán un beneficio directo e inmediato, el conocimiento derivado del estudio constituye un beneficio social legítimo y razonable, cumpliendo con el criterio de valor científico y social requerido para investigaciones en salud.

**Principio de no maleficencia:** se garantiza al evitar cualquier riesgo adicional más allá del inherente a la atención clínica habitual. El estudio no modifica conductas diagnósticas ni terapéuticas, no introduce intervenciones nuevas y no expone a los pacientes a procedimientos que no formen parte de su atención médica estándar. El manejo de datos se realizará minimizando al máximo cualquier riesgo de filtración, mal uso o revelación indebida. La anonimización estricta, la codificación de variables sensibles y el uso de bases de datos seguras respaldan el cumplimiento de este principio. El equipo investigador se compromete a reportar los resultados de forma agregada, evitando descripciones que puedan permitir la identificación indirecta de sujetos, especialmente

en un grupo pequeño como una serie de casos de trasplante pulmonar.

**Principio de justicia:** se refleja en la selección equitativa y no discriminatoria de los participantes. La inclusión se basará únicamente en criterios clínicos y temporales predefinidos, sin ningún tipo de preferencia por características individuales ajenas al proceso de trasplante. Todos los casos consecutivos que cumplan los criterios de inclusión serán incorporados, evitando sesgos que pudieran favorecer o excluir a ciertos individuos de manera injustificada. Asimismo, la distribución de cargas y beneficios es equitativa: los pacientes no asumen riesgos adicionales, mientras que la comunidad y la institución podrán beneficiarse del conocimiento generado. En coherencia con este principio, los resultados serán presentados con transparencia, reconociendo limitaciones metodológicas y evitando interpretaciones que sobrepasen la utilidad real de una serie descriptiva.

Adicionalmente, se cumplirán las obligaciones éticas y legales en materia de manejo de información sensible, conforme a la Ley 1581 de 2012 de protección de datos personales y a las políticas institucionales de la Fundación Santa Fe de Bogotá. Los datos serán almacenados únicamente durante el periodo necesario para el análisis y luego serán eliminados de forma segura. No se realizarán transferencias de información a terceros ni se utilizarán los datos para fines distintos de los aprobados por el Comité de Ética.

El estudio fue sometido a revisión y aprobación por el Comité de Ética en Investigación de la institución, garantizando que su ejecución respete los estándares éticos nacionales e internacionales, aprobado el 27 de enero de 2026 bajo el protocolo CCEI-19102-2026. La presentación de resultados se hará en espacios académicos y científicos de manera agregada, asegurando protección de la identidad, rigurosidad científica y compromiso moral con los pacientes, la institución y la comunidad investigadora.

## **9. Trayectoria de los Investigadores**

### **Jorge Alberto Herrera Vásquez**

Médico residente del programa de cuidados intensivos de la Universidad del Rosario y residente institucional de la Fundación Santa Fe de Bogotá.

### **Laura María Castillo Morales**

Médico especialista en Medicina Crítica y Cuidado Intensivo, líder de la sección de Cuidado Intensivo de sépticos / respiratorios de la Fundación Santa Fe de Bogotá, coordinadora del programa de Código Sepsis del mismo hospital e intensivista líder del programa de Trasplante Pulmonar.

## 10. Resultados

Se incluyeron 10 pacientes en esta serie de casos los cuales estuvieron hospitalizados entre noviembre 2024 y diciembre 2025 que fueron llevados a trasplante bipulmonar en la Fundación Santa Fe de Bogotá en el periodo previamente descrito y en quienes en todos se lograron obtener los datos demográficos, ventilatorios y de complicaciones asociadas en el postoperatorio. En el paciente 2 no se logró obtener los datos de tiempos de isquemia fría ni caliente ni los datos ventilatorios perioperatorios por parte de anestesia; en el caso 10 no se logró obtener la presión de conducción perioperatoria. En todos los casos excepto en el paciente 10 no se registró la distensibilidad estática ni dinámica del donante en el formato de presentación de posible donante.

Con respecto a los datos demográficos y basales de la corte la edad promedio fue 46.9 años (IQR 33 – 49) siendo estos seis mujeres y cuatro hombres. Dentro de los diagnósticos de base de los pacientes, tres fueron por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica, tres por neumonitis por hipersensibilidad fibrosante, dos por fibrosis quística y uno por hipertensión arterial pulmonar del grupo 1 siendo estas moderadas y severas con compromiso de la calidad de vida por lo fueron llevados a trasplante; el nivel de hipertensión pulmonar de los pacientes fue variable habiendo tres pacientes con cateterismo cardiaco derecho sin presencia de esta y tres pacientes con hipertensión pulmonar severa y cuatro con hipertensión pulmonar moderada sin registrarse pacientes con hipertensión pulmonar leve. Nueve de los diez pacientes requerían uso suplementario de oxígeno previo a la cirugía, dos de estos hospitalizados previamente con requerimiento de ventilación mecánica no invasiva y cánula nasal de alto flujo; tres de los casos requirieron Oxigenación por Membrana Extracorpórea (ECMO por sus siglas en inglés) confiriéndoles dentro de la legislación colombiana el grado de urgencia 0 para trasplante.

Variable	Valor
Edad (Años)	46 (IQR 33.25 - 48.75)
Sexo	Masculino (50%)
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	329.5 (IQR 308 - 386)
PaO <sub>2</sub> (mmHg)	91.5 (IQR 83 - 107)
Tiempo de Ventilación (Días)	3 (IQR 2.25 - 7.75)

Tabla 1. Datos demográficos y ventilatorios de los donantes.

Caso	Sexo	Edad	Diagnostico	Severidad	Nivel Hipertensión Pulmonar	Oxigeno Previo	ECMO Previo	VMNI/ VMI
1	M	64	EPOC	BODE 7	Moderado	S	N	N
2	H	38	NH	Severo	N	S	N	N
3	H	27	FQ	Severo	Moderado	S	N	N
4	M	38	HTP	Severo	Severo	S	N	N
5	M	18	FQ	Severo	Severo	S	S	S
6	M	53	NH	Severo	Moderado	S	S	S
7	M	65	FP	Moderada	N	N	S	N
8	H	63	EPOC	BODE 7	Moderado	S	N	N
9	M	65	EPOC	BODE 6	N	S	N	N
10	H	63	NH	Severo	Severo	S	N	N

Tabla 2 Datos demográficos basales de los casos. M: Mujer; H: Hombre; EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica; NH: Neumonitis por Hipersensibilidad Fibrosante; FQ: Fibrosis Quística; HTP: Hipertensión Arterial Pulmonar del Grupo 1; FP: Fibrosis Pulmonar; S: Si; N: No; VMNI: Ventilación Mecánica No Invasiva; VMI: Ventilación Mecánica Invasiva; ECMO: Oxigenación por Membrana Extracorpórea.

Variable	Valor
<b>Datos Demográficos</b>	
Edad (Años)	49 (IQR 33 – 49)
Sexo	Femenino (60%)
<b>Antecedentes Clínicos</b>	
Uso de Oxígeno Preoperatorio (Si)	9
Nivel de Hipertensión Pulmonar Severo (Número de pacientes)	3
ECMO Preoperatorio (Si)	3
Ventilación Invasiva / No Invasiva Preoperatoria (Si)	2

Tabla 3. Datos demográficos y antecedentes clínicos de los receptores.

Con respecto a los donantes, estos fueron rescatados 9 en altura (2640 MSNM) y 1 en Villavicencio, Meta (467 MSNM). Los parámetros para aceptación de estos fueron basados en una radiografía de tórax sin infiltrados, correlación antropométrica donante – receptor y relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> mayor a 300 mmHg según guías, sin embargo, por altura se determinó un punto de corte 240 en vaso de cumplir con los criterios previamente descritos. Por protocolo nacional se debe realizar una maniobra de reclutamiento para alcanzar una PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> mayor a 300 mmHg y se logró en 8 de los 10 donantes con una PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> promedio 346 mmHg (IQR 308 – 386 mmHg) y los que estuvieron por debajo de esto fueron los casos 2 y 10 siendo 271 mmHg la más baja. Con respecto a los parámetros ventilatorios de los donantes, nueve de los diez estaban ventilados por volumen y uno por volumen, con presiones de conducción y volúmenes corrientes dentro de parámetros ventilatorios protectores, la presión positiva al final de la espiración promedio fue 8 cmH<sub>2</sub>O (IQR 6.5 – 8.0 cmH<sub>2</sub>O) y todos presentados con fracciones inspiradas de oxígeno menores a 35% (IQR 24.5 – 33.75%, mediana 29%) excepto en el caso 5 donde los gases fueron tomados con fracción inspirada de oxígeno de 100% obteniendo presiones arteriales de oxígeno mayores a 60 mmHg (IQR 83 – 107) esperable con los parámetros previamente descritos. Solo se obtuvo la distensibilidad pulmonar en el caso diez con una distensibilidad estática dentro de la normalidad. La proporción del sexo de los donantes fue cinco hombres y cinco mujeres con una edad promedio de 43 años (mediana 46, IQR 33 - 42) y un tiempo de ventilación promedio de 4 días (IQR 2.2 – 7.7).

Caso	Sexo	Edad	Tiempo de ventilación	PaO <sub>2</sub> / FiO <sub>2</sub>	PO <sub>2</sub>	FiO <sub>2</sub>	PEEP	Modo Ventilatorio	Presión de Conducción	Distensibilidad Estática
1	M	32	5	428	150	35	6	AC-V	9	NR
2	M	37	4	271	81	30	8	AC-V	7	NR
3	M	59	3	393	110	28	8	AC-V	12	NR
4	H	48	9	304	91	30	8	AC-V	8	NR
5	H	45	6	332	337	100	8	AC-V	10	NR
6	H	49	1	320	90	35	6	AC-V	12	NR
7	M	62	2	327	98	24	6	AC-P	NA	NR
8	H	31	3	419	92	22	8	AC-V	11	NR
9	H	22	3	367	77	21	10	AC-V	8	NR
10	M	47	2	296	76	26	8	AC-V	7	54

*Tabla 4 Información de los donantes. M: Mujer; H: Hombre; PEEP: presión positiva al final de la espiración; PO<sub>2</sub>: presión arterial de oxígeno; FiO<sub>2</sub>: Fracción inspirada de oxígeno; NR: No Reportado; NA: No Aplica; AC-V: Controlado por volumen; AC-P: Controlado por presión*

Durante el perioperatorio se recolectaron múltiples datos; por protocolo de la institución todos los procedimientos de trasplante pulmonar se hacen con canulación central de ECMO veno-arterial basado en el soporte del paciente mientras se realiza la neumonectomía. Basado en lo anterior, el total de los pacientes fueron llevado a

trasplante pulmonar con soporte extracorpóreo en modo veno-arterial con canulación central y en los casos que venían con canulación periférica en modo veno-venoso se reconfiguraba el sistema. El promedio de isquemia fría fue 420 minutos promedio bipulmonar (IQR 361 – 434 minutos) y tiempo promedio de isquemia caliente bipulmonar 95 minutos (IQR 80 – 100 minutos) que se encuentra dentro de lo definido por guías internacionales para el tiempo máximo de isquemia tolerable del órgano; esto en consideración que siempre el primer pulmón trasplantado tendrá tiempos de isquemia más cortos dado que solo se realiza una neumonectomía y una anastomosis a la vez un pulmón a la vez. Lo anterior en contexto de que los tiempos de isquemia fríos fueron altamente variables sin embargo esto se podría asociar con el sitio de rescate del órgano, la distancia con el hospital donde se encuentra el receptor, el tráfico y el tiempo requerido para la preparación del receptor. El tiempo quirúrgico promedio fue 656 minutos (IQR 516 – 708 minutos) desde el inicio de la prima incisión hasta de la cirugía hasta la finalización dado por el cierre de piel.

Variable	Valor
<b>Datos Perioperatorios</b>	
Tiempo de Isquemia Fría (Minutos)	400 (IQR 361 – 434)
Tiempo de Isquemia Caliente (Minutos)	87 (IQR 80 – 100)
Tiempo Quirúrgico Total (Minutos)	632 (IQR 516 – 708)
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> Perioperatoria (mmHg)	284 (IQR 159 - 289)
Presión de Conducción Perioperatoria (cmH <sub>2</sub> O)	12 (IQR 9.75 – 15.75)
Falla Ventricular Derecha Perioperatoria (Si)	1
<b>Severidad Clínica Postoperatoria</b>	
SOFA de ingreso a UCI	12 (IQR 9 - 13)
APACHE II de ingreso a UCI	14.5 (IQR 12 - 16)

*Tabla 5 Datos perioperatorios.*

En cuanto a los parámetros ventilatorios perioperatorios hubo un sesgo dada la alta variabilidad de los mismos durante la cirugía dado que estos variaban con respecto al momento de tomarlos por lo que los datos registrados fueron inmediatamente la intubación de los pacientes; se manejaron presiones positivas al final de la espiración bajas durante todos los procedimientos sin embargo estos son decididas acorde al concepto del anestesiólogo que realiza el procedimiento con un promedio de 6 cmH<sub>2</sub>O (4-8 cmH<sub>2</sub>O) todos siendo ventilados en modo controlado por volumen con presiones picos al final de la cirugía registradas en promedio 22 cmH<sub>2</sub>O (mediana 22, IQR 17 – 26

cmH<sub>2</sub>O) y presiones de conducción variables algunas estando fuera del rango de seguridad en los casos 4 y 7 (IQR 9.75 – 15.75 cmH<sub>2</sub>O). La PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> perioperatoria al inicio del procedimiento fue así mismo altamente variable dado que 3 de los casos ingresaron con soporte extracorpóreo veno-venoso y otro de los casos ingreso como urgencia siendo esta en 111 mmHg lo que genera imposibilidad para comparar las poblaciones. Por el antecedente de hipertensión pulmonar y riesgo de falla derecha perioperatoria el inotrópico usado en 8 de los 10 casos fue milrinone, dos de los casos solo requirieron soporte con noradrenalina, seis con noradrenalina y vasopresina y dos de los casos con noradrenalina, vasopresina y adrenalina. Solo el caso cuatro desarrolló falla ventricular derecha perioperatoria.

Caso	Isquemia Fria (Minutos)	Isquemia Caliente (Minutos)	Tiempo Quirurgico (Minutos)	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	PEEP	Presión Pico	Presion de Conducción
1	275	87	490	285	5	22	15
2	NR	NR	670	NR	NR	NR	NR
3	361	85	595	367	6	16	12
4	400	158	960	111	4	26	19
5	546	92	900	159	5	17	10
6	423	111	690	284	8	15	4
7	357	74	495	135	6	30	18
8	361	66	460	167	6	22	9
9	623	100	715	446	6	30	12
10	434	80	580	289	6	21	NR

*Tabla 6 Datos perioperatorios. PEEP: Presión Positiva al Final de la Espiración; NR: No Reportado*

Durante el postoperatorio se evaluaron diferentes parámetros dentro de los que se encuentra la oxigenación dado por PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, ventilación con presión arterial de CO<sub>2</sub> e intercambio con gradiente alveolo-arterial; parámetros ventilatorios incluyendo distensibilidad estática, presión positiva al final de la espiración y presión de conducción; requerimiento de soporte extracorpóreo postoperatorio; requerimiento de vasopresor y bloqueo neuromuscular. Con respecto a estos datos, todos fueron adquiridos sin embargo el caso 4 fallece antes de las 72 horas por lo que no se encuentran registrados. Con respecto a la oxigenación la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> al ingreso a unidad de cuidado intensivo fue promedio 258 mmHg con una media 267 (IQR 208 – 313 mmHg), con un evento en el caso con el valor inferior que requirió reclutamiento con presión y que se correlacionó con un hematoma izquierdo con mejoría posterior al drenaje, con una PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> que si bien desciende a las 24 horas (230 mmHg) y 72 horas (205 mmHg). La ventilación dada por valor de CO<sub>2</sub> al inicio estaba comprometida (mediana 40.5 IQR 36 – 44mmHg) en todos los casos si se toma en cuenta el valor normal de la presión arterial de CO<sub>2</sub> en altura sin embargo esta fue corregida con ajuste de parámetros ventilatorios y se consideraba normal a las 24 (mediana 32.5, IQR 31 - 36 mmHg) y 72 horas (mediana 35,

IQR 32 - 43 mmHg); este cambio a las 72 horas con tendencia a ser no favorable se considera puede estar relacionado con paso a modos espontáneos o extubación de los pacientes; los gradientes alveolo arteriales de todos los casos fueron medidos en la hora 0 siendo elevados en todos los casos (IQR 36 – 67.5 mmHg) excepto el caso dos (6 mmHg) y el mayor en el caso 4 que se correlacionó con disfunción primaria del injerto temprana.

Caso	PEEP Hora 0	PEEP Hora 24	PEEP Hora 72	Distensibilidad Hora 0	Distensibilidad Hora 24	Distensibilidad Hora 72	DP Hora 0	DP Hora 24	DP Hora 72
1	8	10	NA	33	31	NA	11	12	NA
2	8	12	12	33	37	27	10	12	15
3	8	8	NA	40	45	NA	10	11	NA
4	10	12	NA	6.8	9	NA	24	13	NA
5	8	10	5	21	29	27	16	16	17
6	9	10	NA	24	27	NA	16	12	NA
7	10	10	NA	30	AC-P	NA	12	11	NA
8	10	10	NA	50	46	NA	12	12	NA
9	7	11	10	28	29	23	16	14	14
10	8	8	8	46	57	AC-P	11	13	AC-P

*Tabla 7 Parámetros ventilatorios hora 0, 24 y 72. PEEP: Presión Positiva al Final de la Espiración; DP: Presión de Conducción; NA: No Aplica; AC-P: Controlado por Presión*

Los parámetros ventilatorios fueron medidos a la hora 0, 24 y 72 sin embargo algunos no lograron llegar a la hora 72 dado que eran extubados de manera temprana. La presión positiva al final de la espiración medida a la hora 0 fue 9 cmH<sub>2</sub>O (mediana 8 < IQR 8 – 9.75 cmH<sub>2</sub>O) sin embargo por protocolo de la institución todos los pacientes eran titulados al ingreso basados en mecánica (presión de conducción y presión meseta con presiones entre 6 y 14 cmH<sub>2</sub>O) teniendo en cuenta el bloqueo neuromuscular residual de la cirugía. Se ve un aumento de la presión positiva al final de la espiración a la hora 24 la cual se encuentra en 10 cmH<sub>2</sub>O promedio (IQR 10 – 10.75 cmH<sub>2</sub>O) y a la hora 72 solo cuatro pacientes permanecían ventilados, uno en cánula nasal de alto flujo, uno en ventilación mecánica no invasiva y tres con cánula nasal de bajo flujo. Sobre la mecánica ventilatoria, a la hora 24 la presión de conducción y la distensibilidad estática fueron altamente variables; la presión de conducción a la hora 0 fue 14 cmH<sub>2</sub>O promedio (IQR 11 - 16 cmH<sub>2</sub>O) sin embargo esta está asociada a los casos cuatro, cinco, seis y ocho quienes tenían presiones de conducción elevadas, a la hora 24 ya con una presión de conducción homogénea y dentro de parámetros de ventilación protectora 13 cmH<sub>2</sub>O (IQR 12 – 13 cmH<sub>2</sub>O) y a la hora 72 solo se obtuvieron 3 mediciones dado que el caso diez se encontraba ventilado por presión lo que limitaba la realización de mecánica ventilatoria siendo en promedio 15 cmH<sub>2</sub>O. Con respecto a la distensibilidad a la hora 0 fue promedio 31 ml/cmH<sub>2</sub>O (IQR 25 – 38.2 ml/cmH<sub>2</sub>O), a la hora 24 de 34 ml/cmH<sub>2</sub>O (IQR 29 - 45 ml/cmH<sub>2</sub>O) y a la hora 72 de 26 ml/cmH<sub>2</sub>O (IQR 25 – 27 ml/cmH<sub>2</sub>O), esta última con la misma limitación previamente descrita.

Caso	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> Hora 0 (mmHg)	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> Hora 24 (mmHg)	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> Hora 72 (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> Hora 0 (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> Hora 24 (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> Hora 72 (mmHg)	Gradiente Alveolo-Arterial (mmHg)
1	299	238	206	45	33	35	30
2	387	239	<u>197</u>	53	37	43	6
3	314	247	234	41	38	31	57
4	369	260	NA	53	33	NA	381
5	71	136	206	42	51	43	402
6	230	256	180	35	31	40	55
7	313	275	174	40	25	30	34
8	163	210	283	36	32	32	49
9	201	165	125	33	26	44	71
10	235	272	236	37	31	34	42

*Tabla 8 Parámetros gasométricos. PaO<sub>2</sub>: Presión arterial de Oxígeno; FiO<sub>2</sub>: Fracción Inspirada de Oxígeno; PaCO<sub>2</sub>: Presión arterial de CO<sub>2</sub>; mmHg: milímetros de mercurio*

Dentro del manejo en unidad de cuidado intensivo, se usaron múltiples esquemas de sedación basados en analgesia y en donde predominó a la hora 24 el uso de opioide en todos los casos excepto el caso 7 por tiempo de ventilación, el cual se asoció a Propofol en 3 casos, dexmedetomidina en dos casos y Propofol y dexmedetomidina en dos casos. Solo el caso cuatro requirió bloqueo neuromuscular postoperatorio a la hora 48. El manejo de vasopresores se hace acorde la evolución del paciente garantizando presiones de perfusión con tensiones arteriales medias mayores a 70 mmHg; cinco casos requirieron noradrenalina exclusivamente a la hora 24 postoperatoria, cuatro casos noradrenalina y vasopresina y el caso 4 requirió soporte con noradrenalina, vasopresina, adrenalina y azul de metileno.

Posterior a la revisión de la literatura se establecieron cinco complicaciones a evaluar siendo estas: falla ventricular derecha postoperatoria, requerimiento de soporte extracorpóreo postoperatorio, disfunción primaria del injerto a la hora 0, 24 y 48, terapia de reemplazo renal en el postoperatorio e infecciones tempranas. Dentro de nuestra serie de casos el caso cuatro presentó falla ventricular derecha postoperatoria sin lograr decanulación en salas de cirugía por lo que se mantuvo el soporte extracorpóreo posteriormente y presentó así misma disfunción primaria del injerto de manera temprana lo que la llevo a mortalidad temprana al igual que el uso de terapia de reemplazo renal. Ningún otro caso presentó disfunción primaria del injerto sin embargo el caso nueve requirió terapia de reemplazo renal y siendo las infecciones menores a 14 días la complicación más común de nuestra serie de casos.

Caso	TRR	PGD 0 Horas	PGD 24 Horas	PGD 48 Horas	PGD 72 Horas	ECMO Postoperatorio	Traqueostomía Día 14	Reintubación	Infección temprana	Mortalidad a 30 días	Mortalidad a 90 días
1	N	N	N	N	N	N	S	S	N	N	N
2	N	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N
3	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4	S	S	S	S	NA	S	N	N	N	S	S
5	N	N	N	N	S	N	N	N	S	N	N
6	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
7	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
8	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	S
9	S	N	N	N	N	N	S	N	N	N	N
10	N	N	N	N	N	N	N	N	S	N	N

*Tabla 9 Desenlaces tempranos y mortalidad. TRR: Terapia de Reemplazo Renal; PGD: Disfunción Primaria del Injerto; ECMO: Oxigenación por Membrana Extracorpórea; S: Si; N: No; NA: No Aplica*

El último bloque de resultados se asocia con la estancia, la duración de ventilación mecánica, necesidad de reintubación o traqueostomía al día 14 y la mortalidad. Tres casos requirieron traqueostomía al día 14 y solo el caso uno requirió reintubación. La duración promedio de ventilación mecánica se calculó con respecto a la extubación o al cumplir más de 24 horas en tienda de traqueostomía, con un resultado de 10 días promedio (mediana 2.5, IQR 2.0 – 9.5 días) siendo altamente variable en contexto de que 6 de los casos requirió menos de 7 días de ventilación y 5 requirieron 3 días o menos. Solo un caso presentó mortalidad temprana al día 30 y 2 casos en total al día 90.

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
<b>Desenlaces</b>	
Estancia en UCI (Días)	22 (IQR 11 - 40)
Mortalidad a 30 días	1 (10%)
Mortalidad a 90 días	2 (20%)
Tiempo de Ventilación (Días)	2.5 (2.0 – 9.5)
Reintubación	1 (10%)
Traqueostomía Día 14	3 (30%)
Terapia de Reemplazo Renal	2 (20%)
PaO <sub>2</sub> /FIO <sub>2</sub> Hora 0 (mmHg)	267 (IQR 208 – 313)
CO <sub>2</sub> Hora 0 (mmHg)	40.5 (IQR 36 – 44)
Presión de Conducción Hora 0 (cmH <sub>2</sub> O)	12 (11 - 16)

Tabla 10. Desenlaces. Los valores tomados a la hora 0 por el retiro de la ventilación temprana de los pacientes.

## 11. Discusión

Con respecto a los resultados previamente descritos se debe tener en cuenta las características del escrito y es un análisis descriptivo, sin embargo, se pueden hacer correlaciones con respecto a los datos observados.

La serie de casos previamente descrito es la cohorte 2024 – 2025 de trasplante pulmonar de la Fundación Sata Fe de Bogotá con el reinicio del programa de trasplante. Los datos muestran resultados prometedores en contexto de una mortalidad temprana en contexto de una mortalidad del 10% a 30 días (caso 4) en comparación con una mortalidad esperada 5.5% con respecto a Banga y colaboradores (25) en su cohorte de 25389 pacientes la cual viene en descenso posterior a la implementación del Lung Allocation Score (LAS por sus siglas en inglés) para objetivar y clasificar mejor los posibles receptores y mejorar el match entre el receptor y el órgano donado. En nuestra serie el caso cuatro falleció a las 48 horas postoperatorias en contexto de falla cardíaca aguda derecha y coagulopatía asociada que en conjunto con la disfunción temprana del injerto conllevo a su muerte. Desde la salida de salas de cirugía no se logró el retiro del sistema extracorpóreo el cual se mantuvo en configuración veno-arterial y que; adicional a lo anterior, presentó anuria temprana con requerimiento de terapia de reemplazo renal. Dentro del análisis de esta mortalidad se encuentra la presencia de falla cardíaca crónica derecha evidenciado en ecocardiograma transtorácico prequirúrgico con una velocidad de excursión del anillo tricúspideo (TAPSE) de 12 milímetros y un cambio de área fraccional (FAC por sus siglas en inglés) del 22% que se correlacionaba con la hipertensión arterial pulmonar severa del grupo 1 que presentaba la paciente y por lo que fue llevada a trasplante sin embargo dentro de los valores que no contraindican trasplante pulmonar ni requiere raspante en bloque (corazón – pulmonar). En cuanto a la configuración del soporte extracorpóreo en este caso no se consideró configurarlo veno-pulmonar o veno-venoso dado que se encontraba con canulación central y la configuración de este no impacta en mortalidad lo que no habría cambiado el desenlace del caso (26). La otra mortalidad evidenciada en nuestra serie fue el caso 10 con una muerte a 90 días sin embargo a causa de esta fue secundario a una ruptura de aneurisma de aorta abdominal infrarrenal la cual no se asocia con el trasplante sin embargo se tiene en cuenta por los días en los que presenta la mortalidad. Cabe resaltar que dentro de los estudios prequirúrgicos no se realiza angiotomografía de abdomen, solo se realiza tomografía de tórax para evaluar las medidas antropométricas y la condición de los pulmones de manera objetiva en el receptor.

Dentro de las complicaciones previamente descritas se encuentra el uso de terapia de reemplazo renal en nuestra serie la cual lo requirió el caso cuatro y el caso nueve, esta última secundario al uso de tacrolimus. Hauber y colaboradores describieron la cercana relación entre los niveles séricos de tacrolimus, la lesión renal aguda y la disfunción del injerto bien sea aguda o crónica. Ellos describen una relación mayor hacia la disfunción crónica del injerto sin embargo, se asocia con la disminución de las dosis de tacrolimus en presencia de lesión renal (27). En nuestra institución se realiza seguimiento a niveles séricos de tacrolimus cada 48 horas para ajuste buscando niveles entre 5 y 10 ng/ml.

En cuanto a los días de ventilación mecánica si bien los datos son heterogéneos por la alta variabilidad de de los tiempos sin embargo, 5 de los casos lograron tiempos de ventilación menor o igual a 3 días que cuando se correlaciona con lo reportado en la literatura médica este se encuentra dentro de los 3 a 5 días lo que evidencia tiempos de ventilación cortos, que promueven la temprana rehabilitación y recuperación de los pacientes (28). Cabe resaltar que la alta variabilidad se dio principalmente en 2 de los casos, estos con ventilaciones prolongadas por desaacondicionamiento físico, esto ya bien descrito en la literatura de trasplante como marcador de éxito del mismo. Lo anterior se da, dado que si bien la condición pulmonar de los pacientes mejoran con los pulmones trasplantados, ellos vienen de un desaacondicionamiento físico crónico el cual permanece posterior a la cirugía por lo que se promueve la rehabilitación temprana (29) (30). El único caso que requirió reintubación fue secundario a mal manejo de dolor. Este fue el caso uno que presentó dicha complicación sin embargo es algo que en la literatura viene en descenso dado mejores esquemas de analgesia, rehabilitación temprana y retiro temprano de la ventilación mecánica sin embargo, esto no es inocuo como lo demuestra Banga y colaboradores quienes del registro UNOS reportan la reintubación como un factor independiente de mortalidad (31). Así mismo, la estancia en unidad de cuidado intensivo fue altamente variable yendo de los 8 días a los 100 días esta último en el paciente 9 dado de esa acondicionamiento físico severo difícil retiro de la ventilación mecánica y depresión que se asoció a un resultado desfavorable esto con relación a la importancia del manejo y del examen del estado psiquiátrico y anímico de los pacientes; el caso cuatro tuvo una estancia de 2 días por mortalidad.

Dentro de los parámetros a evaluar la mecánica ventilatoria fue la presión de conducción, presión positiva al final de la espiración y distensibilidad estática; esto procurando evaluar la necesidad de presión para permeabilizar el pulmón. Los resultados demuestran homogeneidad en la presión positiva al final de la espiración en contexto de maniobras de reclutamiento que se hacían al ingreso de los pacientes buscando presiones bajas con mecánicas adecuadas ante el riesgo de lesión o ruptura de las anastomosis por la presión. Algo que no evidencia homogeneidad es la presión de conducción la cual en el caso cuatro se correlaciona con mortalidad superando el valor de 15 cmH<sub>2</sub>O como corte mientras que en el caso 5, si bien no hubo mortalidad, tuvo presiones altas dado que el presentó un hematoma intratorácico que requirió drenaje lo que prolongó levemente la ventilación y disminuyó la capacidad de aireación de los pulmones predominantemente el izquierdo. Al hablar de la distensibilidad estática nos referimos a la capacidad de cambio de volumen con respecto a cambio de presión, que los datos evidencian a la hora cero una distensibilidad estática severamente disminuida en el caso cuatro secundaria las complicaciones quirúrgicas, tórax abierto, sangrado y canulación central de soporte extracorpóreo y en en la hora 72 los pocos casos que permanecen bajo ventilación mecánica vemos disponibilidades disminuidas generalizadas que se correlacionan con la persistencia del requerimiento del soporte ventilatorio. Lo anterior cobra relevancia dado que una disminución de la distensibilidad pulmonar habla de una falla más no una disfunción primaria del injerto, esto con respecto a que una distensibilidad disminuida muestra un pobre acople ventilatorio del pulmón con respecto al paciente teniendo en cuenta que no existan procesos extra pulmonares que limiten la distensibilidad y que se

ha evidenciado como un marcador independiente de mortalidad cuando se cumple esta regla (32) (32).

## 12. Conclusiones

El trasplante pulmonar es una cirugía como última medida en los pacientes con enfermedad pulmonar avanzada que no logran un control médico ni sintomático con medicamentos y o terapias médicas avanzadas, esto en contexto de que si bien el pronóstico y la mortalidad vienen en descenso con el avance de la tecnología, sigue siendo un procedimiento mórbido para los pacientes. Dentro de la serie de casos en altura encontramos que la  $PaO_2/FiO_2$  de los donantes no tuvo asociación con la mortalidad, que la  $PaO_2/FiO_2$  Menor a 300 mmHg es una opción de donación sin que esto impacte en los desenlaces fuertes de los pacientes. Más allá de la  $PaO_2/FiO_2$  de los donantes podemos encontrar que ni los tiempos quirúrgicos ni la isquemia ni la  $PaO_2/FiO_2$  de los receptores a tiempos 0, 24 y 48 horas evidenciaron una posible relación sin embargo, una distensibilidad disminuida y el requerimiento de soporte extracorporeo si tuvieron evidencia con la mortalidad en uno de los casos y que el desacondicionamiento físico conlleva a más días de ventilación mecánica y requerimiento de traqueostomía por la no liberación de la misma. Por el tipo de estudio no podemos sacar conclusiones de correlación sin embargo lo que muestran los datos es que la alta heterogeneidad de los mismos conlleva a una limitación de análisis y se requiere recolección de más pacientes para lograr obtener estadísticas oportunas y certeras de los pacientes que son llevados a trasplante pulmonar en la Fundación Santa Fe de Bogotá.

### 13. Gastos del Proyecto

RUBROS	FUENTE DE FINANCIACIÓN	TOTAL
Honorarios Asesores	Fondos propios	\$ 5000000
Licencias de software adicional	FSFB	\$3000000
Administrativos	Fondos propios	\$2000000
Publicación	Fondos propios	\$1000000
TOTAL		\$11000000

## 14. Referencias

1. Sithamparanathan S, Thirugnanasothy L, Clark S, Dark JH, Fisher AJ, Gould KF, et al. Observational study of lung transplant recipients surviving 20 years. *Respir Med.* agosto de 2016;117:103-8.
2. Gonzalez-Garcia M, Maldonado D, Barrero M, Casas A, Perez-Padilla R, Torres-Duque CA. Arterial blood gases and ventilation at rest by age and sex in an adult Andean population resident at high altitude. *Eur J Appl Physiol.* diciembre de 2020;120(12):2729-36.
3. Lasso Apráez, Md. JI. Interpretación de los gases arteriales en Bogotá (2.640 msnm) basada en el nomograma de Siggaard-Andersen. Una propuesta para facilitar y unificar la lectura. *Rev Colomb Neumol [Internet].* 30 de marzo de 2014 [citado 21 de noviembre de 2025];26(1). Disponible en: <https://revistas.asoneumocito.org/index.php/rcneumologia/article/view/56>
4. Zafar F, Khan MS, Heinle JS, Adachi I, McKenzie ED, Schechter MG, et al. Does donor arterial partial pressure of oxygen affect outcomes after lung transplantation? A review of more than 12,000 lung transplants. *J Thorac Cardiovasc Surg.* abril de 2012;143(4):919-25.
5. Varon FA, Rincon R, Prada L, Gonzalez C, Tellez L. High-altitude Does Not Modify the Outcomes After Lung Transplantation. En: B39 ADVANCES IN LUNG TRANSPLANTATION [Internet]. American Thoracic Society; 2023 [citado 21 de noviembre de 2025]. p. A3272-A3272. Disponible en: [https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/ajrccm-conference.2023.207.1\\_MeetingAbstracts.A3272](https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/ajrccm-conference.2023.207.1_MeetingAbstracts.A3272)
6. Cogo A. The lung at high altitude. *Multidiscip Respir Med.* 28 de febrero de 2011;6(1):14-5.
7. San T, Polat S, Cingi C, Eskiizmir G, Oghan F, Cakir B. Effects of High Altitude on Sleep and Respiratory System and Theirs Adaptations. *Sci World J.* 17 de abril de 2013;2013:241569.
8. Arias Murillo Y, Zapata R, Palacio SJ, Jimenez A, Díaz AM, Pardo D, et al. Documento técnico nacional, comisión de pulmón. 2019.
9. Yu WS, Son J. Donor Selection, Management, and Procurement for Lung Transplantation. *J Chest Surg.* 5 de agosto de 2022;55(4):277-82.
10. Panchabhai TS, Chaddha U, McCurry KR, Bremner RM, Mehta AC. Historical perspectives of lung transplantation: connecting the dots. *J Thorac Dis.* julio de 2018;10(7):4516-31.
11. Instituto Nacional de Salud. Día Mundial de la Donación de Órganos y Tejidos, en Colombia: 4.338 personas buscan una oportunidad [Internet]. [citado 21 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Dia-Mundial-Donacion-Organos-Tejidos-Colombia-4338-personas-buscan-una-oportunidad.aspx>
12. Valapour M, Lehr C, Schladt D, Swanner K, Poff K, Handarova D, et al. Scientific Registry of Trasplant Recipients. 2023 [citado 21 de noviembre de 2025]. OPTN/SRTR 2023 Annual Data Report: Lung. Disponible en: <https://srtr.transplant.hrsa.gov/ADR/Chapter?name=Lung&year=2023>
13. Leard LE, Holm AM, Valapour M, Glanville AR, Attawar S, Aversa M, et al. Consensus document for the selection of lung transplant candidates: An update from the

International Society for Heart and Lung Transplantation. *J Heart Lung Transplant Off Publ Int Soc Heart Transplant*. noviembre de 2021;40(11):1349-79.

14. Sundaresan S, Trachiotis GD, Aoe M, Patterson GA, Cooper JD. Donor lung procurement: assessment and operative technique. *Ann Thorac Surg*. diciembre de 1993;56(6):1409-13.

15. Marklin GF, O'Sullivan C, Dhar R. Prone Ventilation in Brain-Dead Organ Donors Acutely Increases Oxygenation and Results in More Lungs Transplanted. *J Heart Lung Transplant*. 1 de abril de 2020;39(4):S375.

16. Horovitz JH, Carrico CJ, Shires GT. Pulmonary response to major injury. *Arch Surg Chic Ill 1960*. marzo de 1974;108(3):349-55.

17. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet J, Falke K, Hudson L, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med*. marzo de 1994;149(3 Pt 1):818-24.

18. ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA*. 20 de junio de 2012;307(23):2526-33.

19. Oto T, Levvey BJ, Pilcher DV, Bailey MJ, Snell GI. Evaluation of the oxygenation ratio in the definition of early graft dysfunction after lung transplantation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. julio de 2005;130(1):180-6.

20. Luks AM, Beidleman BA, Freer L, Grissom CK, Keyes LE, McIntosh SE, et al. Wilderness Medical Society Clinical Practice Guidelines for the Prevention, Diagnosis, and Treatment of Acute Altitude Illness: 2024 Update. *Wilderness Environ Med*. marzo de 2024;35(1\_suppl):2S-19S.

21. Gabbay E, Williams TJ, Griffiths AP, Macfarlane LM, Kotsimbos TC, Esmore DS, et al. Maximizing the utilization of donor organs offered for lung transplantation. *Am J Respir Crit Care Med*. julio de 1999;160(1):265-71.

22. Whitford H, Kure CE, Henriksen A, Hobson J, Snell GI, Levvey BJ, et al. A donor PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < 300 mm Hg does not determine graft function or survival after lung transplantation. *J Heart Lung Transplant Off Publ Int Soc Heart Transplant*. enero de 2020;39(1):53-61.

23. Okamoto T, Omara M, Ahmad U, Yun J, Bribriescio A, Unai S, et al. Utilization of Marginal Lung Donors With Low PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> Ratio and High Body Mass Index. *Ann Thorac Surg*. junio de 2020;109(6):1663-9.

24. Saludata Bogotá - Observatorio de Salud de Bogotá [Internet]. [citado 21 de noviembre de 2025]. Disponible en: [https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/indicadores/donacion\\_trasplantes\\_bogota](https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/indicadores/donacion_trasplantes_bogota)

25. Banga A, Mohanka M, Mullins J, Bollineni S, Kaza V, Huffman L, Peltz M, Bajona P, Wait M, Torres F. Incidence and variables associated with 30-day mortality after lung transplantation. *Clinical Transplantation*. 2019 Feb;33(2):e13468.

26. Lee SY, Ahn JH, Kim HC, Shim TS, Kang PJ, Lee GD, Choi SH, Jung SH, Park SI, Hong SB. Outcomes of lung transplantation in patients with right ventricular dysfunction: a single-center retrospective analysis comparing ECMO configurations in a bridge-to-transplant setting. *Transplant International*. 2024 May 23;37:12657.

27. Hauber R, Kohlhepp L, Briegel I, Veit T, Barton J, Meiser B, Schneider C, Kauke T, Hatz R, Hoechter DJ, Kneidinger N. The critical relationship between tacrolimus levels,

acute kidney injury, and early chronic lung allograft dysfunction. *Frontiers in Transplantation*. 2025;4:1704682.

28. Beer A, Reed RM, Bölükbas S, Budev M, Chaux G, Zamora MR, Snell G, Orens JB, Klesney-Tait JA, Schmidt GA, Brower RG. Mechanical ventilation after lung transplantation. An international survey of practices and preferences. *Annals of the American Thoracic Society*. 2014 May;11(4):546-53.

29. Wickerson L, Mathur S, Singer LG, Brooks D. Physical activity levels early after lung transplantation. *Physical therapy*. 2015 Apr 1;95(4):517-25.

30. Montgomery E, Macdonald PS, Newton PJ, Chang S, Wilhelm K, Jha SR, Malouf M. Reversibility of frailty after lung transplantation. *Journal of transplantation*. 2020;2020(1):3239495.

31. Banga A, Guenthart B, MacArthur JW, Dhillon GS, Banga N. Reintubation After Lung Transplant Surgery is Independently Associated with Worse Outcomes: An Analysis of UNOS Database. *American Journal of Transplantation*. 2025 Aug 1;25(8):S501.

32. Xuan C, Gu J, Chen J, Xu H. Respiratory compliance related to prognostic of lung transplant patients with veno-venous extracorporeal membrane oxygenation support. *Scientific Reports*. 2025 Mar 11;15(1):8421.

33. Veraar C, Schwarz S, Wohlrab P, Geilen J, Neugebauer T, Hoetzenecker K, Schultz MJ, Dworschak M, Tschernko E. STATIC COMPLIANCE AFTER LUNG TRANSPLANTATION AND EARLY MORTALITY. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2024 Dec 1;38(12):46-7.

## **Anexo 1. Datos Obtenidos**

Archivo Adjunto "BASE DE DATOS TRASPLANTE PULMONAR"