

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE MEDICINA



**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS ÍNDICES DE  
RESISTENCIA Y PULSATILIDAD RENAL VERSUS ESCALAS  
CLÍNICAS EN LA PREDICCIÓN DE LESIÓN RENAL AGUDA EN  
PACIENTES PEDIÁTRICOS CRITICAMENTE ENFERMOS.**

**POR:**

**DRA. GRISELDA DEL CARMEN TOBÍAS ÁVILA**

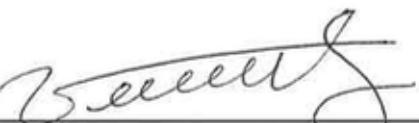
**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

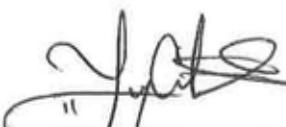
**SUBESPECIALISTA EN MEDICINA CRÍTICA PEDIÁTRICA**

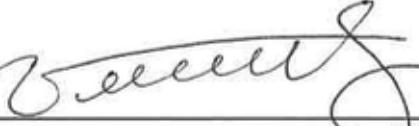
**DICIEMBRE, 2025**

“EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS ÍNDICES DE RESISTENCIA Y  
PULSATILIDAD RENAL VERSUS ESCALAS CLÍNICAS EN LA PREDICCIÓN  
DE LESIÓN RENAL AGUDA EN PACIENTES PEDIATRICOS CRITICAMENTE  
ENFERMOS”.

Aprobación de la tesis:

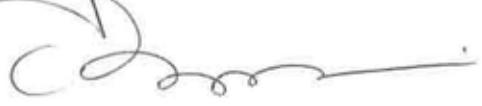
  
**Dra. Verónica Rodríguez Martínez**  
Directora de la tesis

  
**Dra. Yanyn Ameyaly Cabrera Antonio**  
Coordinadora de Investigación

  
**Dra. Verónica Rodríguez Martínez**  
Coordinadora de Enseñanza

  
**Dr. med. Arturo Gerardo Garza Alatorre**  
Jefe de Servicio

  
**Dr. med. Fernando Felix Montes Tapia**  
Jefe del Departamento de Pediatría

  
**Dr. med. Felipe Arturo Morales Martinez**  
Subdirector de Estudios de Posgrado

## DEDICATORIA

A mi familia por su apoyo incondicional durante todos mis años de formación, porque desde la distancia se encargaron de acompañarme hasta donde estoy el día de hoy. A mis sobrinos que son la motivación para superarme todos los días. A mi manada.

## AGRADECIMIENTOS

Al equipo de trabajo que integra el servicio de Medicina Crítica Pediátrica, por su dedicación y entrega diaria en el manejo de los pacientes en estado critico. A los profesores por acompañamiento y proporcionar las herramientas y el entorno para brindar atención médica. Gracias a Elizabeth Blackwell por abrirnos camino en la medicina hace 176 años, hoy poco a poco el terreno de la terapia intensiva pediatrica esta más dominada por las mujeres.

## **ABREVIATURAS**

AKIN: Acute Kidney Injury Network

AUC: Area bajo la curva

BUN: Nitrogeno de la urea en sangre

ebSCR: Creatinina Basal Estimada

IPR: Indice de pulsatilidad renal

IRR: Indice de resistencias renal

KDIGO: Kidney Disease Improving Global Outcomes

LRA: Lesión renal aguda

N-GAL: Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin

No LRA: Sin lesión renal aguda

NTA: Necrosis Tubular Aguda

PRF: Frecuencia de Repetición de Pulso

pRIFLE: Pediatric Risk, Injury, Failure, Loss, End-stage Renal Disease

sCr: Creatinina sérica

TFG: Tasa de filtrado glomerular

UTIP: Unidad de cuidados intensivos pediátricos

## Tabla de contenido

<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>CAPITULO I RESUMEN.....</b>	<b>VIII</b>
<b>CAPITULO II INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
Lesión renal aguda (LRA) .....	10
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>22</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO IV HIPÓTESIS.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPITULO VI OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
Objetivo principal:.....	26
Objetivos específicos:.....	26
<b>CAPITULO V MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
Diseño de investigación:.....	27
Tipo de estudio: .....	27
Población de estudio:.....	29
Sitio de investigación:.....	29
· Criterios de selección de la muestra:.....	29
Inclusión:.....	29
Exclusión: .....	30
Calculo de muestra: .....	30
Tamaño de la muestra: .....	30
Análisis estadístico:.....	31
Definición de variables.....	32
Aspectos éticos: .....	36
<b>CAPITULO VI RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>Características generales de la población .....</b>	<b>39</b>
Índices Doppler renales y LRA .....	42
Comparación de IRR e IPR entre pacientes con y sin LRA .....	42
Evolución temporal de IRR e IPR (días 1-3).....	44
Desempeño diagnóstico: análisis ROC.....	46
IRR e IPR .....	46
Comparación con criterios clínicos establecidos.....	48
Curvas ROC para predicción de lesión renal aguda .....	49
<b>CAPITULO VII DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>CAPITULO VII CONCLUSIONES .....</b>	<b>54</b>

<b>CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>56</b>
<b>CAPITULO IX RESUMEN AUTOBIOGRAFICO .....</b>	<b>60</b>

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Tipo y codificación de variables	31
Tabla 2. Comparación de variables demográficas y clínicas	38

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Clínica y demografía de pacientes con y sin LRA	39
Figura 2. Distribución de IRR e IPR según presencia de LRA (KDIGO)	42
Figura 3. Evolución de IRR e IPR en los primeros tres días de estancia	44
Figura 4. Curvas ROC de IRR e IPR para diagnóstico de LRA	46
Figura 5. Curvas ROC comparativas entre pRIFLE, IRR e IPR.	47
Figura 6. Curvas ROC comparativas entre MRAI, IRR e IPR	49

## CAPITULO I RESUMEN

**Objetivo:** Comparar el desempeño de los indices de resistencia y pulsatilidad renal contra las escalas clínicas de predicción de lesión renal aguda en los pacientes pediátricos críticamente enfermos que ingresan a la unidad de terapia intensiva.

**Diseño de estudio:** Observacional, transversal, retrospectivo y descriptivo (serie de casos retrospectiva).

**Material y métodos:** Muestra no probabilística, por casos consecutivos de pacientes pediátricos que ingresaron a la unidad de cuidados intensivos pediátricos del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” durante un periodo de

**Análisis estadístico:** Análisis descriptivo con frecuencias absolutas, porcentajes, medianas y rangos. Análisis inferencial con la prueba de  $X^2$  o de la probabilidad exacta de Fisher para variables cualitativas, y la prueba U de Mann-Whitney y ANOVA de Kruskal-Wallis para variables cuantitativas. Se consideró significativo un valor de  $p < 0.05$ .

**Ética:** El estudio fue aprobado por el Comité de Ética Institucional.

**Resultados:** Se incluyeron 54 pacientes pediátricos críticamente enfermos, de los cuales 26 (48%) desarrollaron lesión renal aguda (LRA) durante su estancia en terapia intensiva. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en cuanto a sexo ni distribución por grupos etarios. Los pacientes con LRA presentaron mayor peso corporal, mayor uso de apoyo aminérgico, mayor exposición a nefrotóxicos y uso más frecuente de diuréticos ( $p < 0.05$ ).

Los valores de índice de resistencia renal (IRR) e índice de pulsatilidad renal (IPR) no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre pacientes con y sin LRA en el análisis global ni durante la evolución temprana (días 1 a 3). El análisis de desempeño diagnóstico mostró una capacidad discriminativa baja para IRR e IPR, con áreas bajo la curva (AUC) cercanas a 0.5. En comparación, los criterios clínicos mostraron mejor rendimiento, destacando pRIFLE (AUC 0.643) y mRAI (AUC 0.577) como predictores moderados de LRA.

**Conclusiones:** En esta cohorte de pacientes pediátricos críticamente enfermos, los índices Doppler renales IRR e IPR no demostraron una adecuada capacidad diagnóstica temprana para la identificación de LRA, en contraste con criterios clínicos establecidos como pRIFLE y mRAI. La alta proporción de pacientes con LRA desde el ingreso podría limitar la utilidad de estos índices como herramientas predictivas. Se requieren estudios prospectivos con mediciones seriadas y estandarizadas para definir con mayor precisión el papel del Doppler renal en la evaluación temprana de la lesión renal aguda en la población pediátrica crítica.

## **CAPITULO II INTRODUCCIÓN**

### **Lesión renal aguda (LRA)**

La lesión renal aguda (LRA) es una condición clínica caracterizada por la disminución abrupta de la función renal, que puede llevar al desarrollo de desequilibrios severos en el equilibrio hidroelectrolítico y acidobásico, acumulación de metabolitos nitrogenados, regulación de la presión arterial, así como la homeostasis de otros órganos del cuerpo, por lo que infiere un aumento de riesgo de mortalidad en pacientes hospitalizados en especial en los críticamente enfermos(1). En el contexto pediátrico, su incidencia es particularmente elevada en unidades de terapia intensiva pediátrica, con tasas que oscilan entre el 5% y el 26.9% dependiendo de la severidad de los casos y la población estudiada (2). Algunos estudios reportan incidencias superiores al 50% en niños que requieren soporte ventilatorio o fármacos vasoactivos, lo que subraya su alta frecuencia en entornos críticos (3).

La etiología de la LRA en la terapia intensiva es multifactorial y puede clasificarse en tres categorías principales:

1. LRA prerrenal: Causada por hipoperfusión renal debido a estados de hipovolemia, hipotensión o insuficiencia cardíaca. Esta forma es reversible si se restablece el flujo sanguíneo renal de manera oportuna.
2. LRA intrínseca: Se presenta como resultado de daño directo al parénquima renal como necrosis tubular aguda (NTA), glomerulonefritis o nefritis intersticial. En la UTIP, la NTA es una causa común y suele estar

relacionada con isquemia prolongada o exposición a conocidos agentes nefrotóxicos.

3. LRA posrenal: Asociada con obstrucciones en el tracto urinario, aunque suele ser la causa menos frecuente en los pacientes pediátricos criticamente enfermos.

Los factores contribuyentes más comunes observados en la población pediátrica incluyen sepsis, cirugías mayores (especialmente cardíacas), uso de medicamentos nefrotóxicos como aminoglucosidos y agentes de contraste, así como estados de hipoxemia severa o hipercatabolismo (4). La fisiopatología subyacente varía según la causa que lo haya desencadenado, pero en todos los casos se presenta una disminución en la tasa de filtración glomerular (TFG), alteraciones en la reabsorción tubular y daño celular tanto directo como indirecto mediado por inflamación y estrés oxidativo (5).

La importancia de un diagnóstico temprano en la LRA radica en la posibilidad de intaurar medidas terapéuticas oportunas que prevengan la progresión hacia la necrosis tubular aguda (NTA) o insuficiencia renal irreversible (6). Sin embargo, las herramientas diagnósticas convencionales, basadas principalmente en la creatinina sérica (sCr) y el volumen urinario, presentan limitaciones significativas.

La elevación de sCr puede retardarse hasta 48 horas tras el inicio del daño renal y puede no ser evidente en pacientes pediátricos debido a que la mayoría carecen de un nivel basal previo al evento agudo y sus niveles basales de creatinina suelen ser bajos (4). Esto subraya la necesidad de métodos complementarios para la detección precoz de LRA sobre todo en entornos críticos.

## **Escalas para la valoración de la función renal: KDIGO, pRIFLE, AKIN e indice de creatinina corregida por balance hidrico.**

Actualmente hay escalas que se han implementado para valorar la función renal inicialmente desarrollado para la valoración de adultos que posteriormente fueron adaptado a la población pediátrica, entre ellas:

### **KDIGO (Kidney Disease: Improving Global Outcomes)**

La clasificación KDIGO es ampliamente utilizada en la práctica clínica para el diagnóstico y la estadificación de la LRA. Se basa en cambios en la creatinina sérica y la reducción de volumen urinario. Define tres estadios de severidad:

- **Estadio 1:** Incremento en la creatinina sérica  $\geq 0.3$  mg/dl o aumento del 1.5 a 1.9 veces del valor basal, o volumen urinario  $<0.5$  ml/kg/h durante un periodo de 6-12 horas.
- **Estadio 2:**  $\geq$  Aumento de la creatinina 2 a 2.9 veces el valor basal o un volumen urinario  $<0.5$  ml/kg/h durante  $\geq 12$  horas.
- **Estadio 3:** Incremento de la creatinina  $\geq 3$  veces del valor basal, creatinina  $\geq 4$  mg/dL, necesidad de terapia de reemplazo renal, o un volumen urinario  $<0.3$  ml/kg/h durante  $\geq 24$  horas (4).

### **pRIFLE (Pediatric Risk, Injury, Failure, Loss, End-stage Renal Disease)**

El sistema pRIFLE utiliza como marcador el cambio en TFG estimada y la diuresis, cabe destacar que es la única de las escalas que predice riesgo para lesión renal y no solo estadifica el grado de daño. Sus categorías incluyen:

- **Riesgo (Risk):** Reducción de la TFG en un 25% o diuresis <0.5 ml/kg/h en 8 horas.
- **Daño (Injury):** Reducción en la TFG en un 50% o diuresis < 0.5 ml/kg/h en 16 horas.
- **Fallo (Failure):** Reducción de TFG de un 75% o diuresis <0.3 ml/kg/h en 24 horas.
- **Perdida (Lost):** Perdida persistente de la función renal >4 semanas.
- **Enfermedad terminal (End-stage):** Perdida de la función renal >3 meses(2).

### **AKIN (Acute Kidney Injury Network)**

El sistema AKIN es similar al KDIGO, pero introduce un tiempo mas corto para identificar cambios en la creatinina (48 horas). Se clasifica en tres estadios que reflejan severidad creciente, basandise igualmente en aumento de la creatinina y reducción de la diuresis(7).

### **Fórmula de Schwartz para la estimación de la TFG**

La fórmula de Schwartz es la mas utilizada para estimar TFG en niños y se basa en la creatinina sérica, la longitud corporal y un coeficiente constante (k), que varía según la edad y el sexo:

Donde:

- $k= 0.33$  en recien nacidos prematuros,  $0.45$  en neonatos a término y niños de hasta 12 años y  $0.7$  en adolescentes varones.

Aunque esta formula es útil en la practica pediátrica, presenta limitaciones, como la variabilidad en la producción de creatinina según la masa muscular (8).

#### **Indice de creatinina corregica por balance hidrico.**

Este índice tiene en cuenta la dilución hemodinamica secundaria a la administración de fluidos intravenosos, como un factor que puede alterar los niveles de creatinina sérica. En comparación con las escalas KDIGO, pRIFLE y AKI, la corrección de la creatinina por balance hídrico ha demostrado mejorar la detección de LRA temprana en pacientes con sobrecarga de volumen, guardando especial importancia en los menores en fase aguda de reanimación donde el manejo con líquidos es alto y de no ser optimizado a tiempo puede establecerse como un determinante de riesgo también para el desarrollo de lesión renal aguda, una situación común en la terapia intensiva pediátrica (9).

Si bien el índice de creatinina corregida por balance hidrico ofrece una evaluación más dinámica de la función renal en escenarios de fluidoterapia agresiva, los parámetros de Doppler como el RRI y el RPI proporcionan información adicional sobre la perfusión renal en tiempo real (10). La combinación de estos métodos podría optimizar la estratificación de riesgo en pacientes pediátricos con sospecha de LRA, permitiendo una intervención más temprana y dirigida (11).

#### **Biomarcadores emergentes para la detección temprana de LRA**

Dado que la creatinina sérica es un marcador tardío de disfunción renal, en años recientes se ha investigado del uso de biomarcadores emergentes como la lipocalina asociada a gelatinasa de neutrófilos (N-GAL) y cistatina C, los cuales permiten detectar la lesión renal en fases más tempranas, incluso antes de que se alteren los niveles de creatinina o el volumen urinario (12).

N-GAL (Neutrophil Gelatinase-Associated Lipocalin es una pequeña proteína, de la familia de las lipocalinas, es liberada por las células epiteliales tubulares como respuesta a la exposición a daño, ya sea isquémico o tóxico, y puede ser detectada tanto en sangre como en orina pocas horas después del inicio de la lesión renal. Estudios han demostrado que sus niveles aumentan significativamente dentro de las primeras 2 a 6 horas de LRA, lo que lo convierte en uno de los biomarcadores más prometedores para la detección temprana de pacientes criticamente enfermos, incluidos los pediátricos(13). Otra de sus peculiaridades es su funcionalidad en pacientes con una falla renal ya establecida que curse con agudización del deterioro y daño renal.

Por su parte, cistatina C es una proteína de bajo peso molecular producida por todas las células nucleadas. A diferencia de la creatinina, su producción no está influenciada por la masa muscular ni por la dieta, y se filtra libremente por el glomerulo sin secreción tubular. Sus niveles plasmáticos aumentan rápidamente tras una disminución de la tasa de filtración glomerular (TFG), lo que hace más sensible para detectar disfunción renal leve o incipiente (14).

Si bien ambos biomarcadores han mostrado buen desempeño en estudios clínicos, su uso rutinario suele ser limitado por factores como el costo, la

disponibilidad en laboratorios hospitalarios y la falta de estandarización universal. Por ello, aunque son útiles como herramientas complementarias, aún no han remplazado a las escalas clínicas y parámetros clásicos, ni a técnicas como el Doppler renal que ofrecen la ventaja de evaluar en tiempo real y de forma no invasiva la perfusión.

### **Metodos complementarios para la predicción de lesión renal aguda en pediatría.**

Debido al impacto que tiene la lesión renal aguda en la morbilidad de los pacientes pediátricos se han desarrollado diversas estrategias y herramientas clínicas que buscan mejorar la predicción temprana de la lesión renal aguda (LRA) en pacientes pediátricos críticamente enfermos. Estos métodos emplean tanto valores bioquímicos y clínicos para determinar la lesión renal. Entre ellas destacan los siguientes:

#### **Índice de Angina Renal**

Es una herramienta clínica diseñada inicialmente para identificar a pacientes pediátricos en riesgo de desarrollar LRA dentro de las primeras 72 horas de ingreso a la unidad de cuidados intensivos. El índice original combina factores de riesgo (como la necesidad de ventilación mecánica o vasopresores), además de alteraciones en la cantidad de creatinina y cambios en el balance hídrico(15).

El índice de angina renal modificado introduce ajustes para mejorar su rendimiento en poblaciones diversas y en presencia de condiciones específicas como sepsis o cirugía cardíaca.

Este indice ha demostrado un buen valor predictivo negativo, lo que significa que es útil para descartar el riesgo de LRA, y puede orientar la necesidad de monitoreo estrecho o de biomarcadores adicionales. Es una herramienta sencilla, no invasiva y disponible a pie de cama (16). Jugando un papel importante en su utilidad el adecuado conocimiento del medico que la emplea para poder identificar adecuadamente la variables y hacer un calculo correcto de las mismas. El valor de este indice se obtiene multiplicando el score de riesgo el cual depende necesidad de ingreso a la terapia, antecedente de transplante y necesidad de aminas. Por otros factores que pueden contribuir como la sobrecarga.

### **Creatinina Basal Estimada (ebSCR)**

Muchos de los pacientes pediátricos ingresados a la UTIP no se dispone de un valor basal de creatinina reciente, Para estos casos, se han propuesto formulas para estimar la creatinina sérica basal.

Una de las formulas más empleadas e la formula de Schwartz inversa, que calcula la ebSCR asumiendo una TFG estandar de 120 ml/min/1.73 o de 75 para que resulte más comparable con KDIGO.

$$\text{ebSCR} = k \times \text{talla(cm)} / 120$$

Donde  $k$  es el coeficiente dependiendo de edad y sexo. Esta estimación permite aplicar escalas diagnósticas con mayor precisión, evitando subestimaciones de la LRA en ausencia de datos previos.

### **Evaluacion de la perfusión renal mediante Ultrasonido Doppler**

El ultrasonido representa una herramienta clave para la evaluación de la perfusión renal en pacientes críticamente enfermos debido a su carácter no invasivo, su disponibilidad a pie de cama y su capacidad de proporcionar información en tiempo real sobre la hemodinámica renal. Dos de los parámetros más estudiados son el índice de resistencia renal (IRR) y el índice de pulsatilidad (IPR) que se obtienen mediante la evaluación de las arterias segmentarias, interlobares o arcuatas del riñón (18). El IRR se calcula utilizando la fórmula  $[(\text{velocidad sistólica}-\text{velocidad diastólica})/\text{velocidad sistólica}]$ , mientras que el IPR utiliza la media de las velocidades. Valores elevados de estos índices se correlacionan con resistencia vascular aumentada y una menor perfusión renal (19). Un estudio reciente realizado por Vasconcelos de Carvalho et al. (2023) demostró que el IRR es un predictor altamente eficaz de LRA severa en niños sometidos a ventilación mecánica invasiva. Con un área bajo la curva (AUC) de 0.94, el IRR presentó una sensibilidad del 91.7% y una especificidad del 84.7% para predecir LRA en el tercer día de hospitalización. Este hallazgo destaca el potencial del ultrasonido Doppler no solo para el monitoreo continuo de la función renal, sino también para guiar decisiones terapéuticas, como el ajuste de la administración de fluidos y el uso de diurético (20).

### **Fisiopatología de la LRA y su relación con los índices Doppler**

La LRA se desarrolla como resultado de un continuum fisiopatológico que comienza con una hipoperfusión reversible (LRA prerrenal) y puede progresar hacia NTA cuando el flujo sanguíneo renal no se restablece de manera oportuna. En este contexto los parámetros Doppler reflejan cambios intrarrenales relevantes. El IRR, por ejemplo, aumenta debido a la combinación de vasoconstricción

intrarrenal, aumento de la presión intersticial y rigidez arterial (21). Estudio han mostrado correlaciones significativas entre el IRR y la disminución del índice de filtración glomerular estimado (eTFG), así como con el balance de fluidos y el uso de diureticos en pacientes criticamente enfermos (22).

### **Comparación entre escalas de valoración y parametros Doppler**

Estudios recientes han investigado la correlación entre parametros Doppler, como el indice de resistencia renal (IRR) y el indice de pulsatilidad renal (IPR), con las escalas clasicas de valoracion de la LRA. El IRR ha demostrado ser un marcador precoz y sensible de cambios hemodinámicos intrarrenales, con la ventaja de no depender de los niveles de creatinina sérica. En un estudio realizado por Vasconcelos de Carvalho et al (2023), el IRR mostró un area bajo la curva de 0.94 para predecir LRA severa, superando a los cambios en la TFG estimada por la fórmula de Schwartz en terminos de sensibilidad y especificidad (20).

El RPI, aunque menos estudiado, tambien ha demostrado correlaciones significativas con la diuresis y el balance hídrico, lo que lo convierte en un complemento valioso para la monitorización renal en la UTIP. Estos parámetros Doppler podrían integrarse a las escalas existentes para mejorar la detección temprana y guiar el tratamiento de la LRA.

En los estudios previos, realizados principalmente en población adulta, se han encontrado puntos de corte después de los cuales el riesgo de desarrollar LRA esrá aumentado cuando el paciente presenta IRR entre 0.75 y 0.95, así como Ipr de 0.86 hasta 1.63 (23).

### **Limitaciones y retos del ultrasonido Doppler en pediatría**

Aunque el ultrasonido Doppler ofrece múltiples ventajas, su aplicación enfrenta algunos desafíos. En primer lugar es una técnica altamente dependiente del operador, lo que requiere una capacitación adecuada para garantizar resultados reproducibles. Además los valores de referencia para los índices Doppler varían significativamente con la edad, siendo más altos en lactantes y en niños pequeños debido a la inmadurez fisiológica del riñón. Finalmente, la interpretación de los resultados debe considerar factores externos, como el estado hemodinámico general, el uso de fármacos vasoactivos y condiciones subyacentes como hipertensión arterial o enfermedades cardiovasculares.

### **Relevancia clínica y perspectiva**

El uso de ultrasonido Doppler para evaluar la función renal en la UTIP tiene un gran potencial para transformar el cuidado de los pacientes pediátricos críticamente enfermos (24). Al proporcionar una herramienta no invasiva y eficiente para la detección temprana LRA, permite a los clínicos tomar decisiones fundamentadas sobre el manejo de fluidos y el soporte hemodinámico. Además su capacidad para monitorear cambios dinámicos en la perfusión renal lo convierte en una herramienta invaluable en entornos de cuidados intensivos(25).

El ultrasonido Doppler representa una herramienta prometedora para la evaluación de la perfusión renal en niños críticamente enfermos. Los parámetros como el IRR e IPR ofrecen información detallada sobre el estado hemodinámico renal y pueden mejorar la detección temprana y el manejo de la LRA. LA

investigación futura debe centrarse en la estandarización de los protocolos y en la evaluación de su impacto en los resultados clínicos a largo plazo (26).

## ANTECEDENTES

El indice de resistencia renal (IRR) y el indice de pulsatilidad (IPR) han sido investigados como herramientas para la evaluación hemodinámica renal en pacientes criticamente enfermos, incluyendo la población pediátrica. Diversos estudios han demostrado su utilidad como predictores tempranos de lesión renal aguda (LRA), superando las limitaciones de los biomarcadores tradicionales como la creatinina sérica.

Vasconcelos de Carvalho et al (2023) evaluaron en niños con LRA en terapia intensiva y encontraron un área bajo la curva de 0.94 para predecir LRA severa, evidenciando su alta sensibilidad y especificidad. Ding et al, (2020) reportaron que el  $IRR >0.74$  se asocia con un mayor riesgo de progresión a falla renal en pacientes pediátricos con sepsis. Por su parte, Durand et al. (2017) identificaron que tanto el IRR como el IPR reflejan cambios en la perfusión renal y pueden anticipar un deterioro funcional antes de la elevación de creatinina sérica. A pesar de estos hallazgos, la evidencia en pediatría sigue siendo limitada en comparación con la población adulta, y no existe un consenso sobre los puntos de corte óptimos de estos índices en niños criticamente enfermos. Este estudio busca aportar datos adicionales sobre la utilidad del IRR y el IPR en la detección temprana de LRA en pacientes pediátricos en estado crítico.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La lesión renal aguda (LRA) es una complicación frecuente en pacientes pediátricos criticamente enfermos, asociada con un aumento en la morbilidad, la estancia hospitalaria y la mortalidad. Su diagnóstico temprano es fundamental para optimizar el tratamiento y evitar el deterioro progresivo de la función renal.

Sin embargo, las herramientas de evaluación actualmente utilizadas, como la creatinina sérica, presentan limitaciones, ya que su elevación ocurre tarde y no refleja de manera inmediata los cambios en la perfusión renal.

En este contexto, el índice de resistencia renal (IRR) y el índice de pulsatilidad renal (IPR), obtenidos a través de ultrasonido Doppler, han surgido como métodos alternativos para evaluar la hemodinamia renal en tiempo real. En adultos, diversos estudios han demostrado su utilidad como predictores tempranos de LRA, pero en pacientes pediátricos, la evidencia sigue siendo limitada y los valores de referencia varían considerablemente.

La falta de estudios concluyentes en población pediátrica y la ausencia de puntos de corte estandarizados dificultan la implementación clínica de estos índices. Por ello, es necesario determinar su utilidad y precisión en la identificación temprana de LRA en niños criticamente enfermos especialmente en unidades de terapia intensiva pediátrica, donde la detección oportuna puede influir significativamente en el pronóstico y en la toma de decisiones terapéuticas.

Este estudio busca evaluar la capacidad de IRR y del IPR como predictores de LRA en pacientes pediátricos críticos, contribuyendo a la identificación de

herramientas más sensibles y oportunas para el monitoreo de la función renal en esta población de alto riesgo.

**Magnitud:** Los pacientes pediátricos críticamente enfermos presentan un alto porcentaje de desarrollo de lesión renal aguda desde su ingreso y durante su estancia. Lo cual repercute en la estancia hospitalaria, comorbilidad y mortalidad de estos pacientes.

**Trascendencia:** No se han establecido puntos de corte en la población pediátrica de los índices de Doppler para la identificación temprana de LRA.

**Vulnerabilidad:** La población pediátrica es más suceptible al desarrollo de estas complicaciones por la inmadurez de sus riñones, además de la suceptibilidad de deterioro hemodinámico ante un padecimiento grave.

**Pregunta de investigación:** ¿El índice de resistencia y pulsatilidad renal tienen mayor sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de lesión renal aguda que las escalas usadas con frecuencia en pediatría?

## CAPITULO IV HIPÓTESIS

- Hipótesis alterna: Los indices de resistencia renal (IRR) y de pulsatilidad renal (IPR) presenta mayor sensibilidad y especificidad para el diagnóstico temprano de LRA en pacientes pediatricos críticamente enfermos en comparación con las escalas clínicas tradicionalmente utilizadas en pediatría (Indice de angina renal modificado, PRIFLE).
- Hipótesis nula: Los indices de resistencia renal (IRR) y la pulsatilidad renal (IPR) no presenta mayor sensibilidad ni especificidad para el diagnóstico temprano de LRA en pacientes pediátricos críticamente enfermos, en comparación con las escalas clínicas tradicionalmente utilizadas en pediatría.

## CAPITULO VI OBJETIVOS

### Objetivo principal:

- Comparar la utilidad diagnóstica de los indices de resistencia renal (IRR) y de pulsatilidad renal (IPR) con las escalas tradicionales en la predicción temprana de lesión renal aguda en pacientes pediátricos críticamente enfermos ingresados en una unidad de terapia intensiva.

### Objetivos específicos:

- Determinar la sensibilidad y especificidad del índice de resistencia renal (IRR) y del indice de pulsatilidad renal (IPR) para el diagnóstico temprano de LRA.
- Comparar el desempeño diagnóstico de los indices Doppler con las escalas clínicas convencionales utilizadas en pediatría.
- Describir la evolución temporal de los valores de IRR e IPR durante la estancia en terapia intensiva y su relación con la aparición o progresión de LRA.
- Explorar la correlación entre los índices Doppler renales y los niveles de creatinina sérica, creatinina corregida por balance hidrico y el indice de filtración glomerular estimado mediante la formula de Schwartz.
- Identificar factores clínicos asociados a la alteración de los indices Doppler renales en el contexto de pacientes pediátricos críticamente enfermos (como uso de vasopresores, ventilación mecánica, comorbilidades y estado hemodinamico).

## **CAPITULO V MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Diseño de investigación:**

**Tipo de estudio:** Observacional, analítico, ambispectivo, longitudinal y de tipo exploratorio.

Se incluirán pacientes ingresados en la Unidad de Terapia Intensiva Pediátrica durante el periodo del estudio, realizando seguimiento clínico, ecográfico y de laboratorio durante su estancia, y comparando el desempeño de los índices Doppler con escalas clínicas utilizadas en pediatría. Los pacientes seleccionados a retrospecto serán aquellos pacientes que cuenten con información acerca de índice de perfusión y pulsatilidad renal durante su estancia en la unidad intensiva adecuadamente incluida en su expediente clínico,

Para la valoración hemodinámica renal, se realizará un ultrasonido renal con técnica Doppler color en modo pulsado, con el fin de calcular el índice de resistencia renal (IRR) y el índice de pulsatilidad renal (IPR). El procedimiento será efectuado por médicos residentes de segundo año de la subespecialidad en Medicina Crítica Pediátrica, previamente capacitados en evaluación ecográfica renal.

El estudio se llevará a cabo empleando el equipo **Chinson Digital Color Doppler Ultrasound System**, modelo **EBit 50**, número de serie **SN 121091140**. El examen se realizará a pie de cama, bajo condiciones clínicas estables del paciente, preferentemente en decúbito supino.

Las mediciones se obtendrán a través de la visualización de las **arterias interlobares renales**, utilizando una ventana longitudinal a través del flanco. Se empleará el modo Doppler pulsado para obtener los parámetros espectrales del flujo sanguíneo intrarrenal. Se colocará el volumen de muestra (gate) en el centro de la arteria interlobar, con un ángulo de insonación inferior a 60 grados y una frecuencia de repetición de pulsos (PRF) ajustada para evitar aliasing.

De cada riñón se obtendrán al menos **tres mediciones consecutivas**, registrando la **velocidad máxima sistólica (Vmax)** y la **velocidad diastólica final (Vmin)**. Con estos valores se calcularán los siguientes índices:

$$IRR = \frac{V_{sistolica} - V_{diastolica}}{V_{sistolica}}$$

$$IPR = \frac{V_{sistolica} - V_{diastolica}}{V_{media}}$$

Los valores finales se obtendrán promediando las mediciones bilaterales para cada parámetro y serán comparados con los resultados de laboratorio obtenidos el mismo día del estudio ecográfico. Se incluirán los siguientes parámetros bioquímicos relacionados con la función renal: **creatinina sérica, nitrógeno ureico en sangre (BUN), urea y ácido úrico**.

Adicionalmente, se estimará la **tasa de filtración glomerular (TFG)** mediante la **fórmula de Schwartz**, utilizando los valores de creatinina sérica y talla del paciente al momento del estudio.

Para valorar el desempeño diagnóstico de los índices Doppler en la detección de lesión renal aguda (LRA), se calcularán también las siguientes escalas clínicas y biomarcadores indirectos:

- **Índice de angina renal modificado (mRAI)**, que integra factores clínicos y bioquímicos para predecir riesgo de LRA.
- **pRIFLE (Pediatric Risk, Injury, Failure, Loss, End-stage Renal Disease)**, basada en cambios en la TFG estimada y volumen urinario.

La comparación entre estos métodos permitirá analizar la **sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva temprana** de los índices Doppler frente a escalas clínicas validadas y marcadores de laboratorio tradicionalmente utilizados en pediatría crítica.

**Población de estudio:** Pacientes pediátricos de 0-15 años que ingresen a la Unidad de terapia intensiva pediátrica del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio Gonzalez.

**Sitio de investigación:** Unidad de terapia intensiva pediátrica del Hospital Universitario Dr. José Eleuterio Gonzalez.

- **Criterios de selección de la muestra:**

**Inclusión:**

- Pacientes de 1 mes a 15 años
- Ingresados a la unidad de terapia intensiva de enero a diciembre de 2025 que cuenten con valoración doppler renal.

**Exclusión:**

Estancia menor a 48 horas.

Pacientes con lesiones cutáneas que no permitan realizar ultrasonido

Pacientes con enfermedad renal previa.

Pacientes con cardiopatía.

**Calculo de muestra:**

**Tamaño de la muestra:** Dado el carácter exploratorio del presente estudio y las limitaciones en la población objetivo. Para el cálculo, se tomó como referencia una sensibilidad reportada del 85 % para el índice de resistencia renal en estudios previos<sup>20</sup>. Se establecieron un nivel de confianza del 95 % y un poder estadístico del 85 %, con una diferencia mínima esperada en sensibilidad del 15 % entre los métodos comparados. Se asumió una razón de no expuestos a expuestos de 1:1.

$$n = ((P1 - P2)^2 (Z1 - \alpha/2 + Z1 - \beta) \cdot [P1(1 - P1) + P2(1 - P2)]) / ((P1 - P2)^2)$$

- n: tamaño de muestra por grupo .
- Z1- $\alpha/2$ : valor Z para el nivel de confianza deseado (95% → 1.96).
- Z1- $\beta$  : valor Z para el poder estadístico deseado (85% → 1.036).
- P1: sensibilidad esperada del índice de resistencia renal (ej. 91.7% → 0.917).
- P2: sensibilidad esperada de la escala comparada (ej. 76.0% → 0.76).
- $\alpha$ : error tipo I (0.05 para 95%).
- $\beta$ : error tipo II (0.15 para 85% de poder).

Por lo tanto:

$$n = ((1.96 + 1.036)^2 \cdot [(0.917)(1 - 0.917) + (0.76)(1 - 0.76)]) / [(0.917 - 0.76)]^2$$

$$n = ((1.96 + 1.036)^2 \cdot [(0.917)(1 - 0.917) + (0.76)(1 - 0.76)]) / (0.157)^2$$

$$n = (8.976 \cdot 0.258) / 0.0246 \approx 2.316 / 0.0246 = 94.2$$

Dado que el número de pacientes pediátricos críticamente enfermos atendidos en la unidad de terapia intensiva es reducido, y considerando que se registran aproximadamente 25 ingresos anuales, con un periodo de recolección de datos estimado en 8 meses, se aplicó una corrección para población finita.

Con base en estos parámetros, el tamaño de muestra mínimo estimado fue de 44 pacientes, número que permitirá alcanzar la potencia estadística requerida para detectar diferencias significativas en la sensibilidad diagnóstica entre los métodos evaluados.

#### **Análisis estadístico:**

En la estadística descriptiva se reportaron frecuencias y porcentajes para variables categóricas. Para variables numéricas se reportaron medidas de tendencias central y dispersión (media/mediana; desviación estándar [DE]/rango intercuartil [RIC]). En la estadística inferencial se evaluó la distribución de la muestra por medio de la prueba de Shapiro-Wilk. Para comparar variables categóricas se utilizó la prueba exacta de Fisher. Se utilizó la prueba de la U de Mann-Whitney para comparar variables numéricas entre grupos independientes. Para determinar el grado de asociación entre variables numéricas se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman. Se utilizó la regresión logística como modelo predictivo. Se consideraron valores de  $p \leq 0.05$  y un intervalo de confianza al 95% como estadísticamente significativos. Para la realización del análisis se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS 29.

### Definición de variables

Variable	Definición	Unidades de medida	Tipo de variable
<b>Sexo</b>	Atributos socialmente construidos, roles, actividades, responsabilidades y necesidades predominantemente relacionadas con la pertenencia al sexo masculino y femenino.	Masculino, Femenino.	Cualitativa nominal
<b>Edad</b>	Tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento del ingreso a la UTIP.	Años o meses	Cuantitativa continua
<b>Talla</b>	Longitud del cuerpo del paciente desde la cabeza hasta los pies en posición supina o de pie.	Centímetros (cm)	Cuantitativa continua
<b>Peso</b>	Masa corporal del paciente al ingreso a la UTIP.	Kilogramos (kg)	Cuantitativa continua

<b>Estado nutricional</b>	Evaluación del estado de nutrición del paciente.	Desnutrición, Normal, Sobrepeso, Obesidad	Cualitativa ordinal
<b>Apoyo aminérgico</b>	Uso de fármacos vasoactivos para soporte hemodinámico.	Sí/No	Cualitativa dicotómica
<b>Lesión renal aguda (pRIFLE, KDIGO, AKIN)</b>	Clasificación de la disfunción renal según criterios establecidos.	pRIFLE, KDIGO, AKIN	Cualitativa ordinal
<b>Indice de angina renal modificada</b>	Puntaje que integra factores clínicos de riesgo para LRA, biomarcadores y datos de laboratorio para identificar pacientes con alto riesgo de LRA.	Puntuación (0 a n)	Ordinal
<b>ebSCr (estimated baseline Serum Creatinine)</b>	Valor estimado de creatinina sérica basal, calculado cuando no se dispone de una medición previa confiable, usando	mg/dL	De razón (rango numérico)

	métodos como la fórmula de Schwartz inversa.		
<b>Uso de nefrotóxicos</b>	Administración de fármacos con potencial nefrotóxico durante la estancia en UTIP.	Sí/No	Cualitativa dicotómica
<b>Comorbilidades</b>	Enfermedades crónicas o condiciones médicas previas que pueden influir en la evolución clínica del paciente.	Varias (diabetes, cardiopatías, etc.)	Cualitativa nominal
<b>Índice de pulsatilidad renal</b>	Parámetro obtenido por ultrasonido Doppler que evalúa el flujo sanguíneo renal.	Unidad arbitraria	Cuantitativa continua
<b>Índice de resistencia renal</b>	Parámetro Doppler que evalúa la resistencia al flujo en las arterias renales.	Unidad arbitraria	Cuantitativa continua
<b>Índice Pediátrico de Mortalidad (PIM)</b>	Escala de predicción de mortalidad basada en parámetros clínicos al ingreso.	Unidad de puntuación	Cuantitativa ordinal

<b>Diagnóstico principal</b>	Enfermedad o condición que motivó el ingreso a la UTIP.	Nombre del diagnóstico	Cualitativa nominal
<b>Ventilación mecánica</b>	Uso de soporte ventilatorio artificial.	Sí/No	Cualitativa dicotómica
<b>Creatinina sérica</b>	Biomarcador de función renal.	mg/dL	Cuantitativa continua
<b>Índice de creatinina corregida por balance hídrico</b>	Relación entre creatinina y balance hídrico para ajustar la función renal en pacientes críticos.	mg/dL ajustado	Cuantitativa continua
<b>Índice de filtración glomerular (Schwartz)</b>	Estimación del filtrado glomerular en pacientes pediátricos según la fórmula de Schwartz.	mL/min/1.73m <sup>2</sup>	Cuantitativa continua
<b>Lactato</b>	Biomarcador de perfusión tisular.	mmol/L	Cuantitativa continua
<b>Albúmina</b>	Proteína sérica con implicaciones en estado nutricional y función hepática.	g/dL	Cuantitativa continua

<b>pH</b>	Parámetro que refleja el equilibrio ácido-base del paciente.	Unidad de pH	Cuantitativa continua
<b>Estancia en UTIP</b>	Duración de la hospitalización en la unidad de terapia intensiva pediátrica.	Días	Cuantitativa continua
<b>Uso de terapia de reemplazo renal</b>	Aplicación de métodos de soporte renal como diálisis o hemofiltración.	Sí/No	Cualitativa dicotómica

### **Aspectos éticos:**

Durante la realización del estudio se respetará la privacidad y los datos personales del paciente. No habrá intervención sobre ellos, se recolectarán datos de los expedientes clínicos .El estudio se regirá por los principios éticos establecidos en el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación en Salud que se basa en la Declaración de Helsinki y lo estipula en el contenido de la Ley General de Salud, Título Quinto, Artículo 100, en la cual se establece que la investigación se debe adaptar a los principios éticos y científicos que justifican la investigación médica, refiriéndose a su posible contribución a la solución de problemas y al desarrollo de nuevos campos de la ciencia médica; que pueda realizarse solo cuando el conocimiento que se pretende producir no puede obtenerse por otro método idóneo; la investigación puede efectuarse solo cuando exista una razonable seguridad de que no expone

a riesgos ni daños innecesarios al sujeto en experimentación. Además, el estudio será sometido a revisión por el Comité de Ética y de Investigación del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”.

· **Protección de sujetos humanos y animales**

Los autores declaran que los procedimientos se adherirán a las normas éticas del comité responsable de la experimentación en seres humanos y están de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

· **Confidencialidad de los datos**

Los sujetos serán identificados por un número consecutivo, protegiendo la identidad de cada uno según las leyes vigentes en relación con la Confidencialidad del Expediente Clínico y a la NOM-004-SSA3-2012. Toda información recolectada será resguardada en un archivo bajo llave dentro de las instalaciones de la Oficina de Posgrado del Departamento de Pediatría y tendrá acceso a la misma solo los investigadores del Protocolo de Investigación.

· **Derecho a la privacidad y consentimiento informado**

Los autores esperan contar con la anuencia del comité de ética en investigación para la no obtención de consentimiento informado debido a que se trata de un estudio observacional retrospectivo.

· **Conflicto de intereses**

Ninguno de los investigadores declara tener conflicto de interés para la realización de este proyecto.

## CAPITULO VI RESULTADOS

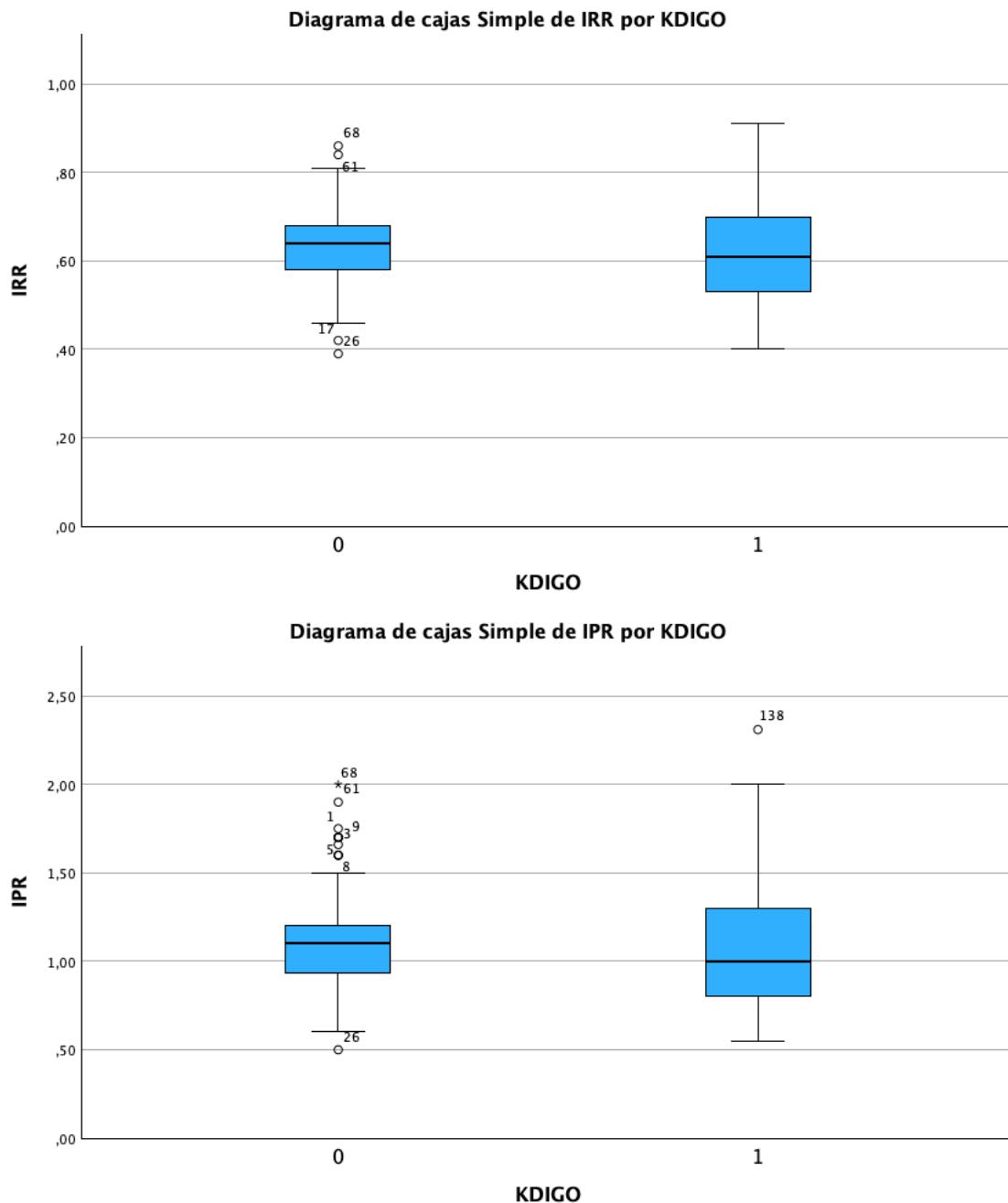
### Características generales de la población

Se incluyeron 54 pacientes pediátricos críticamente enfermos, de los cuales 26 (48%) desarrollaron lesión renal aguda (LRA) durante su estancia en la unidad de terapia intensiva pediátrica, mientras que 28 (52%) no presentaron LRA. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en cuanto al sexo ni a la distribución por grupos etarios. Sin embargo, los pacientes con LRA presentaron un mayor peso corporal al ingreso en comparación con aquellos sin LRA (mediana 31.1 kg vs 20.5 kg,  $p<0.001$ ). Asimismo, el grupo con LRA mostró una mayor exposición a factores clínicos asociados a disfunción renal, incluyendo mayor uso de apoyo aminérgico, diuréticos y fármacos nefrotóxicos, lo cual refleja un perfil de mayor complejidad clínica desde etapas tempranas de la hospitalización.

Variable	LRA (n=26)	No LRA (n=28)	<i>p</i>
<b>Sexo, n (%)</b>			
<b>Hombre</b>	15 (58%)	18 (64%)	0.619
<b>Mujer</b>	11 (42%)	10 (36%)	
<b>Edad</b>			
1-11 MESES	2 (8%)	7 (25%)	0.121
1-5 AÑOS	8 (31%)	6 (21%)	
6-10 AÑOS	7 (27%)	11 (39%)	
11 a 15 AÑOS	9 (35%)	4 (14%)	
<b>Peso (kg), mediana RIC</b>	31.16 (22.2-40.1)	20.5 (14.7-26.2)	<0.001
<b>Si</b>	24 (92%)	6 (21%)	0.156

<b>No</b>	2 (8%)	22 (79%)	
<b>Apoyo aminergico</b>			
<b>Si</b>	20 (63%)	14 (50%)	0.041
<b>No</b>	6 (23%)	14 (50%)	
<b>Diurético</b>			
<b>Si</b>	20 (77%)	10 (36%)	0.002
<b>No</b>	6 (23%)	18 (64%)	
<b>Nefrotóxico</b>			
<b>Si</b>	21 (81%)	15 (54%)	0.034
<b>No</b>	5 (19%)	13 (46%)	
<b>Edad</b> (meses), mediana (RIC)	50.5 (8 – 94.5)	66 (8 – 113)	0.655
<b>Peso</b> (kg), mediana (RIC)	16.4 (8.9 – 23)	16 (8 – 23)	0.978
<b>VMI</b> , mediana (RIC)	15.4 (11 – 19.7)	25 (23 – 74)	0.001
<b>Diurético</b> , mediana (RIC)	1.85 (0.97 – 2.55)	3.9 (2.2 – 7)	0.003

**Figura 1.** Características clínicas y demográficas de los pacientes con y sin LRA.



### **Incidencia y momento de presentación de la LRA**

Un hallazgo relevante fue que una proporción considerable de pacientes presentó LRA desde el ingreso o en los primeros días de estancia, lo que limitó la

identificación de cambios dinámicos posteriores mediante criterios convencionales.

Este patrón sugiere que, en esta cohorte, la LRA fue frecuentemente un evento temprano, más que una complicación progresiva tardía durante la evolución en terapia intensiva.

### **Índices Doppler renales y LRA**

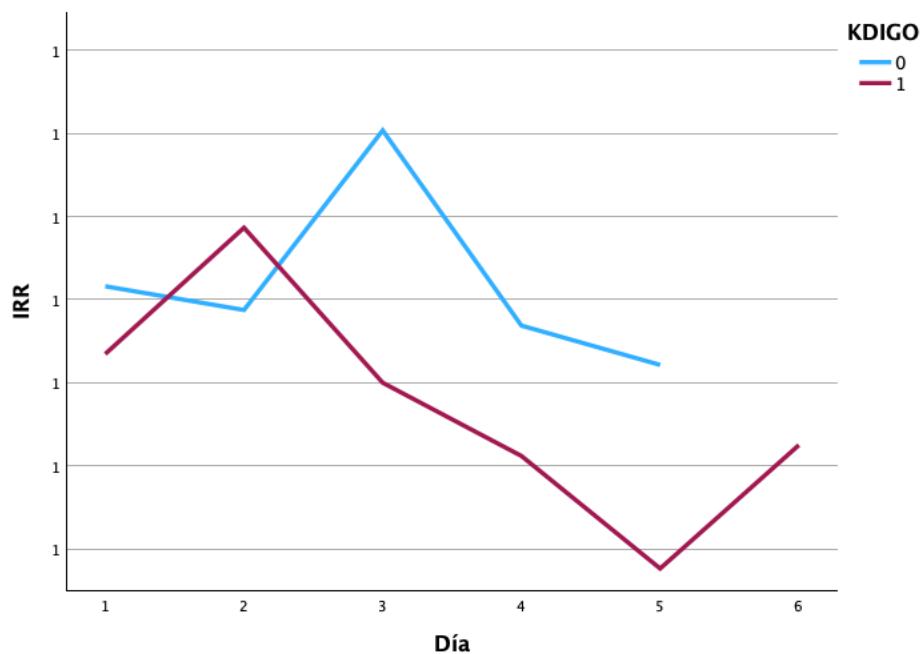
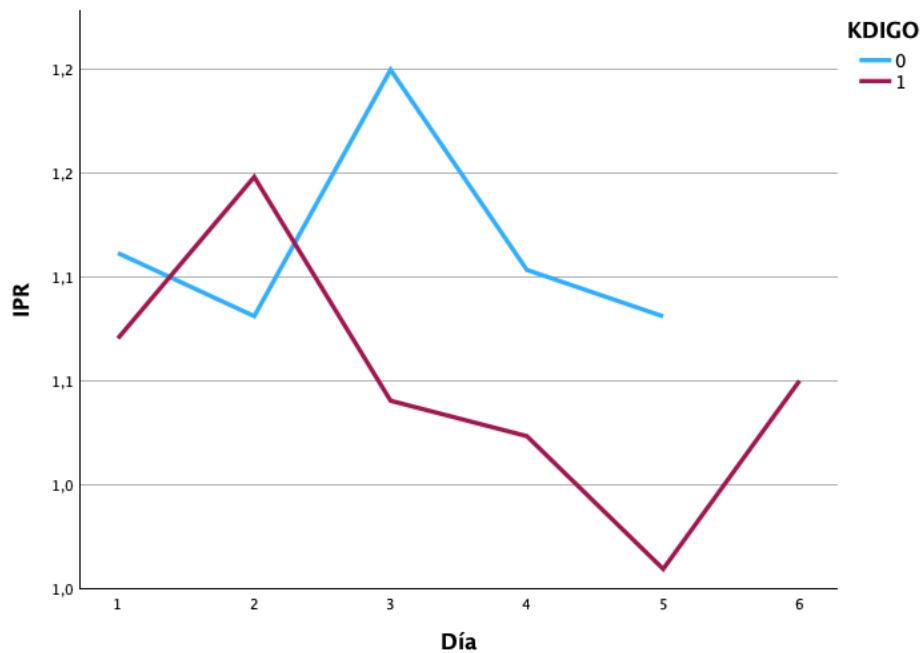
#### **Comparación de IRR e IPR entre pacientes con y sin LRA**

Los valores de **índice de resistencia renal (IRR)** y **índice de pulsatilidad renal (IPR)** mostraron diferencias discretas entre pacientes con y sin LRA; sin embargo, dichas diferencias **no alcanzaron significancia estadística**.

Las pruebas no paramétricas demostraron:

- IRR:  $p = 0.192$
- IPR:  $p = 0.199$

Estos resultados indican que los valores absolutos de IRR e IPR **no permitieron una discriminación clara de LRA**, particularmente cuando el daño renal ya estaba establecido.



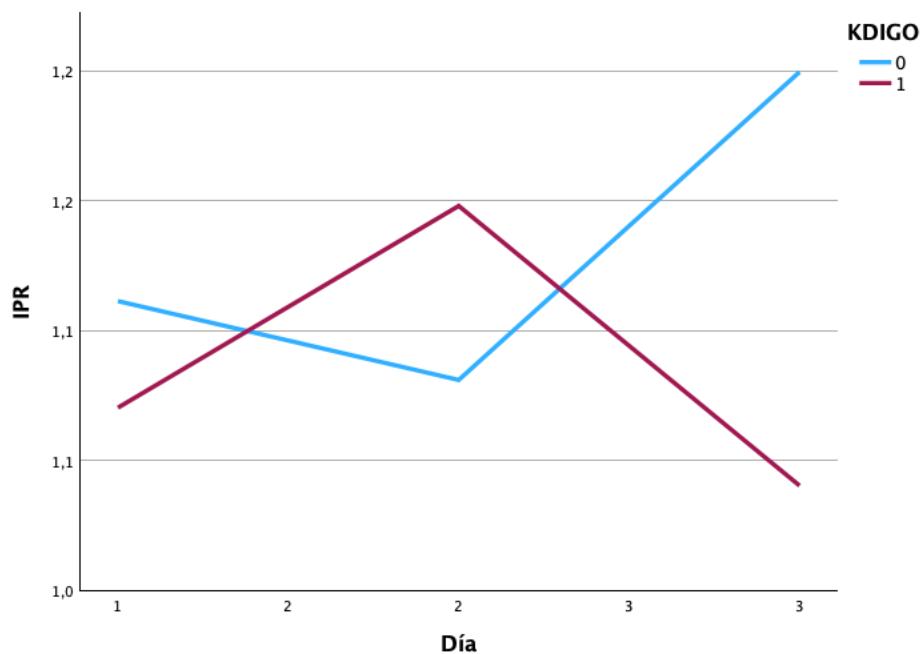
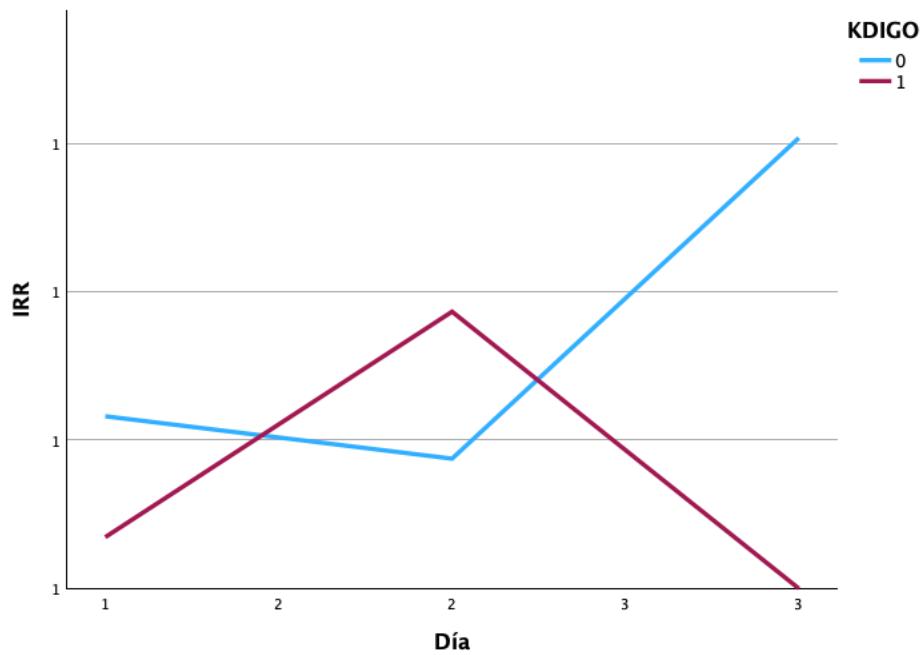
**Figura 2.** Distribución de IRR e IPR según presencia de LRA (KDIGO).

### **Evolución temporal de IRR e IPR (días 1–3)**

Al analizar la evolución temporal de IRR e IPR durante los **primeros tres días de estancia**, no se identificaron trayectorias claramente diferenciadas entre pacientes con y sin LRA.

En pacientes sin LRA, los índices Doppler mostraron variaciones leves compatibles con cambios hemodinámicos fisiológicos, mientras que en el grupo con LRA los valores permanecieron relativamente estables o con variaciones no consistentes.

Este comportamiento es congruente con el hecho de que muchos pacientes **ya presentaban LRA desde el ingreso**, lo cual limita la capacidad de los índices Doppler para reflejar cambios progresivos posteriores.



**Figura 3.** Evolución temporal de IRR e IPR durante los primeros tres días de estancia, estratificada por KDIGO.

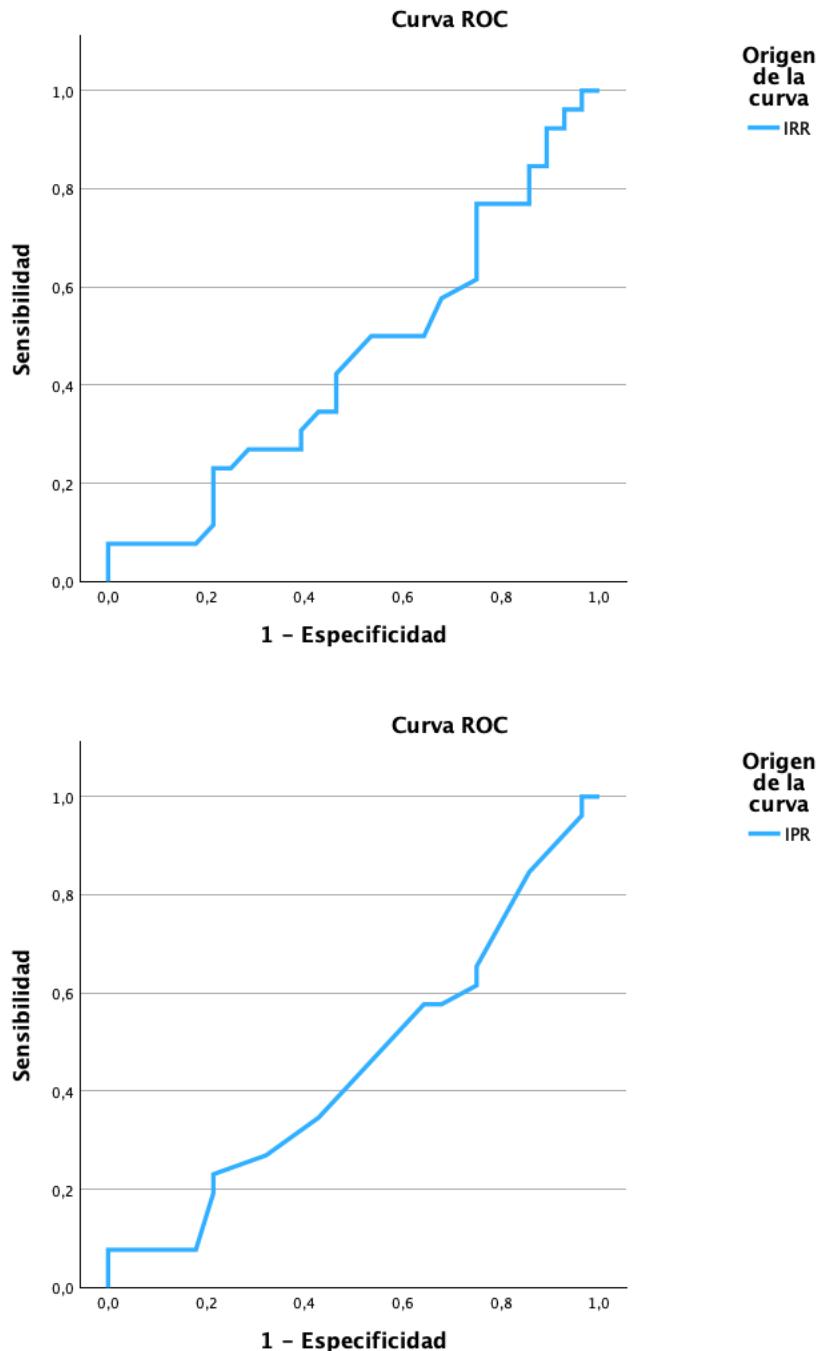
## Desempeño diagnóstico: análisis ROC

### IRR e IPR

Las curvas ROC mostraron un **desempeño diagnóstico limitado** de los índices Doppler para identificar LRA definida por KDIGO.

- IRR: AUC  $\approx$  0.40–0.53
- IPR: AUC  $\approx$  0.42–0.53

Estos valores indican una capacidad discriminativa cercana al azar, especialmente cuando la medición se realizó en días posteriores al ingreso.

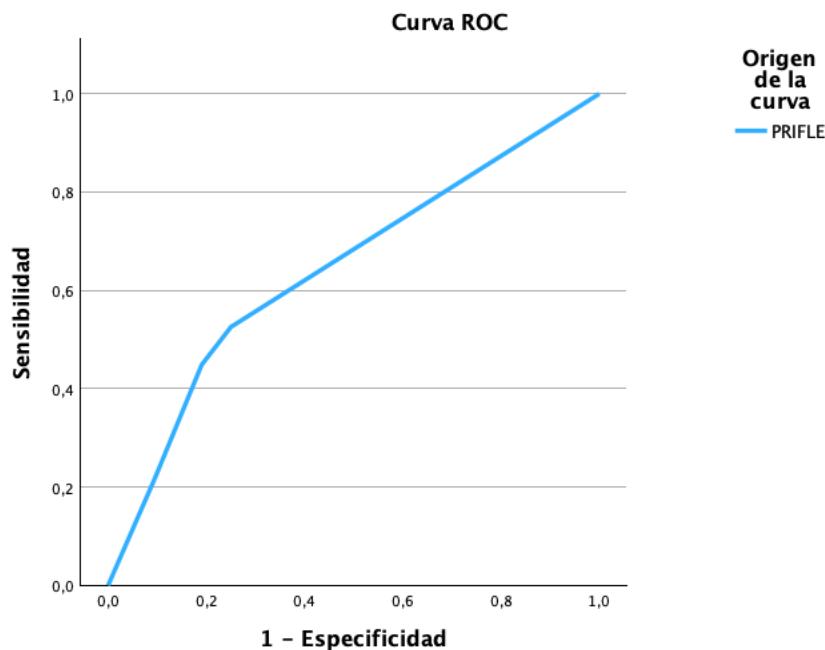


**Figura 4.** Curvas ROC de IRR e IPR para diagnóstico de LRA.

## Comparación con criterios clínicos establecidos

En contraste, los criterios clínicos tradicionales mostraron un mejor desempeño diagnóstico. El puntaje **pRIFLE** presentó un AUC de **0.643**, superior al observado para IRR e IPR.

Estos hallazgos sugieren que los índices Doppler renales **no deben considerarse herramientas diagnósticas aisladas**, sino **marcadores fisiológicos complementarios**, particularmente útiles en fases tempranas previas al establecimiento del daño renal.



**Figura 5.** Curvas ROC comparativas entre pRIFLE, IRR e IPR.

## Curvas ROC para predicción de lesión renal aguda

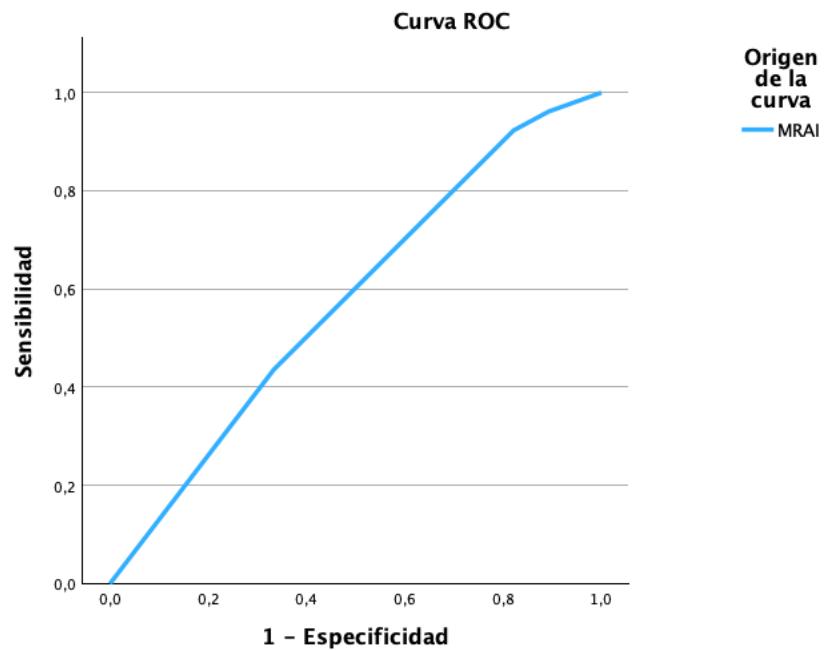
Al evaluar el desempeño diagnóstico de los distintos criterios clínicos y ecográficos para la identificación de lesión renal aguda (LRA), se construyeron curvas ROC utilizando como estándar de referencia la clasificación KDIGO.

El **Modified Renal Angina Index (mRAI)** mostró un área bajo la curva (AUC) de 0.577, lo que indica una capacidad discriminativa baja, aunque ligeramente superior a la observada para los índices Doppler renales.

Por su parte, los índices ecográficos, incluyendo el índice de resistencia renal (IRR) y el índice de pulsatilidad renal (IPR), presentaron áreas bajo la curva cercanas a 0.5, lo que sugiere un desempeño limitado para discriminar entre pacientes con y sin LRA cuando se analizan de forma aislada.

En contraste, los criterios clínicos basados en función renal (pRIFLE/KDIGO), mostraron un mejor rendimiento diagnóstico, con áreas bajo la curva superiores a las observadas para los parámetros Doppler y el mRAI, lo cual era esperable al tratarse del estándar clínico utilizado para la definición de LRA.

Estos hallazgos sugieren que, si bien el **mRAI presenta un desempeño discretamente superior al Doppler renal**, ninguno de estos métodos, de forma aislada, alcanza una capacidad diagnóstica adecuada para la detección temprana de LRA, reforzando la necesidad de una **interpretación multimodal** que integre criterios clínicos, bioquímicos y hemodinámicos.



## CAPITULO VII DISCUSIÓN

La lesión renal aguda (LRA) continúa siendo una complicación frecuente en pacientes pediátricos críticamente enfermos y se asocia a mayor morbilidad, prolongación de la estancia en la unidad de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) y aumento de la mortalidad. La identificación temprana de pacientes en riesgo sigue siendo un reto clínico, lo que ha motivado la búsqueda de herramientas complementarias a los criterios clásicos basados en creatinina y diuresis.

En este estudio se evaluó el desempeño de distintos enfoques diagnósticos, incluyendo **criterios clínicos (pRIFLE/KDIGO, mRAI)** y **parámetros hemodinámicos renales obtenidos por Doppler (IRR e IPR)**, con el objetivo de explorar su utilidad para la detección de LRA en una cohorte de pacientes pediátricos críticamente enfermos.

Los índices Doppler renales evaluados (IRR e IPR) mostraron un **bajo desempeño diagnóstico**, con áreas bajo la curva cercanas a 0.5, lo que indica una capacidad discriminativa limitada para diferenciar entre pacientes con y sin LRA cuando se analizan de forma aislada.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado en la literatura pediátrica y adulta, donde el Doppler renal ha mostrado resultados heterogéneos. Estudios previos han sugerido que el IRR puede reflejar cambios en la resistencia vascular renal; sin embargo, este parámetro está influido por múltiples factores no renales, como la presión arterial, el gasto cardíaco, la ventilación mecánica y el uso de aminas vasoactivas, todos ellos frecuentes en pacientes críticos. Esto limita su especificidad como marcador temprano de LRA.

En el contexto de pacientes críticamente enfermos, el IRR y el IPR parecen comportarse más como **marcadores de alteración hemodinámica sistémica** que como predictores específicos de daño renal estructural, lo que podría explicar su bajo rendimiento diagnóstico observado en este estudio.

Como era esperable, los criterios basados en función renal (pRIFLE/KDIGO) mostraron un mejor desempeño diagnóstico, al tratarse del estándar clínico utilizado para la definición de LRA. No obstante, su principal limitación sigue siendo la **detección tardía**, dado que la creatinina sérica es un marcador retardado del daño renal.

El **Modified Renal Angina Index (mRAI)** presentó un área bajo la curva de 0.577, mostrando un rendimiento discretamente superior al observado para los índices Doppler renales, aunque aún limitado. Este hallazgo concuerda con estudios previos que describen al mRAI como una herramienta útil para la **estratificación de riesgo**, más que como un método diagnóstico definitivo.

La capacidad moderada del mRAI podría explicarse por su naturaleza multifactorial, ya que integra variables clínicas y de gravedad del paciente. Sin embargo, su utilidad puede verse afectada cuando una proporción significativa de los pacientes ya presenta LRA al ingreso, como ocurrió en esta cohorte, reduciendo su capacidad para predecir nuevos eventos.

El análisis de la evolución temporal de los índices IRR e IPR durante los primeros días de estancia mostró **variaciones limitadas y no significativas** entre los grupos con y sin LRA. Este hallazgo sugiere que, en pacientes que ya presentan compromiso renal desde el ingreso, los cambios hemodinámicos renales pueden no reflejar una progresión clara del daño renal.

Este comportamiento temporal podría estar influido por la alta carga de enfermedad basal, el uso de soporte vasoactivo y ventilación mecánica, así como por intervenciones terapéuticas que modifican la perfusión renal de forma dinámica, independientemente del estado estructural del riñón.

En conjunto, los resultados de este estudio refuerzan la idea de que **ninguna herramienta aislada es suficiente** para la detección temprana de LRA en pacientes pediátricos críticamente enfermos. Si bien los índices Doppler renales ofrecen una evaluación no invasiva y en tiempo real de la hemodinamia renal, su bajo desempeño diagnóstico limita su uso como predictores independientes de LRA.

El mRAI, aunque muestra un rendimiento ligeramente superior, debe interpretarse como parte de una **estrategia multimodal**, complementando los criterios clínicos tradicionales y no como un sustituto de estos.

Entre las principales fortalezas del estudio destaca la evaluación integral de criterios clínicos, bioquímicos y hemodinámicos en una cohorte real de pacientes pediátricos críticos. Asimismo, el análisis temporal aporta información relevante sobre el comportamiento dinámico de los índices Doppler.

Sin embargo, este estudio presenta limitaciones importantes. La presencia de LRA desde el ingreso en un número considerable de pacientes pudo haber limitado la capacidad de las herramientas evaluadas para identificar cambios tempranos. Además, el tamaño muestral y la naturaleza observacional del estudio restringen la generalización de los resultados.

En pacientes pediátricos críticamente enfermos, los índices Doppler renales (IRR e IPR) y el mRAI mostraron un desempeño diagnóstico limitado para la detección

de LRA cuando se utilizaron de forma aislada. Estos hallazgos respaldan la necesidad de enfoques integrados que combinen criterios clínicos, bioquímicos y hemodinámicos, así como el desarrollo de estrategias que permitan una identificación más temprana y precisa del daño renal en este grupo vulnerable de pacientes.

## **CAPITULO VII CONCLUSIONES**

En esta cohorte de pacientes pediátricos críticamente enfermos, la lesión renal aguda fue un evento frecuente y, en un número considerable de casos, estuvo presente desde el ingreso a la unidad de cuidados intensivos pediátricos. Este hallazgo subraya la importancia de contar con herramientas que permitan una identificación temprana y precisa del daño renal, más allá de los criterios tradicionales basados en creatinina sérica y diuresis.

Los índices Doppler renales, índice de resistencia renal (IRR) e índice de pulsatilidad renal (IPR), mostraron un desempeño diagnóstico limitado para la detección de lesión renal aguda, con áreas bajo la curva cercanas al azar. Estos resultados sugieren que, en el contexto del paciente crítico pediátrico, dichos índices reflejan predominantemente alteraciones hemodinámicas sistémicas y no de manera específica daño renal estructural, lo que restringe su utilidad como marcadores diagnósticos aislados.

El Modified Renal Angina Index (mRAI) presentó un rendimiento diagnóstico discretamente superior al de los índices Doppler, aunque igualmente limitado. Esto respalda su papel como herramienta de estratificación de riesgo más que

como un método diagnóstico definitivo, particularmente en poblaciones donde una proporción relevante de pacientes ya presenta lesión renal desde fases tempranas de la enfermedad.

El análisis de la evolución temporal de IRR e IPR durante los primeros días de estancia no evidenció cambios significativos entre los grupos con y sin lesión renal aguda, lo cual puede explicarse por la alta complejidad clínica de los pacientes, la presencia de lesión renal al ingreso y la influencia de múltiples intervenciones terapéuticas sobre la hemodinamia renal.

En conjunto, los resultados de este estudio indican que ni los índices Doppler renales ni el mRAI deben emplearse de forma aislada para el diagnóstico de lesión renal aguda en pacientes pediátricos críticamente enfermos. Su mayor valor podría encontrarse como parte de una evaluación integral, complementando los criterios clínicos y bioquímicos tradicionales dentro de un enfoque multimodal.

Futuros estudios con mayor tamaño muestral, diseño prospectivo y evaluación temprana desde el ingreso podrían ayudar a definir con mayor precisión el papel de estas herramientas en la detección precoz de lesión renal aguda y en la estratificación de riesgo en la población pediátrica críticamente enferma.

## CAPITULO VIII BIBLIOGRAFÍA

1. Rodriguez, C. (n.d.). Enfermedades trasmitidas por garrapatas más frecuentes en Pediatría. In J. A. Sotelo (Ed.), Guia ABE. essay.
2. Sahni A, Fang R, Sahni SK, Walker DH. Pathogenesis of Rickettsial Diseases: Pathogenic and Immune Mechanisms of an Endotheliotropic Infection. *Annu Rev Pathol*. 2019 Jan 24;14:127-152. doi: 10.1146/annurev-pathmechdis-012418-012800. Epub 2018 Aug 27. PMID: 30148688; PMCID: PMC6505701.
3. Valbuena G, Patogénesis de las infecciones producidas por rickettsias en las Américas. *Revista MVZ Córdoba* [Internet]. 2010;15(1):2004-2006. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69319041015>
4. Martínez-Medina MÁ, Rascón-Alcantar A. Complicaciones y causa de muerte en niños mexicanos con fiebre manchada de las Montañas Rocosas (FMMR). *Gac Med Mex*. 2016;152(6):789-795.
5. Eisen RJ, Kugeler KJ, Eisen L, Beard CB, Paddock CD. Tick-borne zoonoses in the United States: Persistent and emerging threats to human health. *ILAR Journal*. 2017;58(3):319–35. doi:10.1093/ilar/ilx005
6. Dye-Braumuller KC, Rodríguez Aquino MS, Self SC, Kanyangarara M, Nolan MS. Spotted fever group rickettsioses in Central America: The research and public health disparity among socioeconomic lines. *Insects*. 2022;13(8):674. doi:10.3390/insects13080674

7. Jurado Bañuelos H. A. Factores asociados y situación actual de la infección por Rickettsia rickettsii en México. Elementos 120 (2020) 47-51.
8. López-Castillo DC, Vaquera-Aparicio D, González-Soto MA, Martínez-Ramírez R, Rodríguez-Muñoz L, Solórzano-Santos F. Fiebre Manchada de Montañas rocosas: Experiencia en 5 años de vigilancia activa en un hospital pediátrico de Segundo Nivel en el Noreste de México. Boletín Médico del Hospital Infantil de México. 2019;75(5). doi:10.24875/bmhim.m18000034
9. Dirección General de Epidemiología (2022). Boletín Epidemiológico Semana 52 2022. DGE, 2022 México.
10. Estrada-Mendizabal RJ, Tamez-Rivera O, Vela EH, Blanco-Murillo P, Alanis-Garza C, Flores-Gouyonnet J, et al. Rickettsial disease outbreak, Mexico, 2022. Emerging Infectious Diseases. 2023;29(9). doi:10.3201/eid2909.230344
11. Cano-Rangel MA, Buzani-Peña AE, Páez-Douriet D, Ramón-Ríos A, Ramírez-Mexía A, Ramírez-Mexía MR. Complicaciones de rickettsiosis debido Al Diagnóstico tardío en el Paciente Pediátrico. REMUS - Revista Estudiantil de Medicina de la Universidad de Sonora. 2023; doi:10.59420/remus.8.2022.113
12. Chiranth SB, Ashwini KR, Gowda VK, Sanjay KS, Ahmed M, Basavaraja GV. Profile of neurological manifestations in children presenting with rickettsial

disease. Indian Pediatrics. 2022;59(3):222–5. doi:10.1007/s13312-022-2473-

x

13. Norma Oficial Mexicana NOM-032-SSA2-2014 [en línea]. Para la Vigilancia Epidemiologica, promocion, prevención y control de las enfermedades transmitidas por vector. Diario Oficial de la Federación. 16 de abril 2015 [consulta: 30 nov 2023]. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5389045&fecha=16/04/2015#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5389045&fecha=16/04/2015#gsc.tab=0)
14. Manual de Procedimientos Estandarizados para la Vigilancia Epidemiológica de las Enfermedades Transmitidas por Vectores. Dirección General de Epidemiología, 2015.
15. Levin ML, Snellgrove AN, Zemtsova GE. Comparative value of blood and skin samples for diagnosis of spotted fever group rickettsial infection in model animals. Ticks Tick Borne Dis. 2016;7:1029-34.
16. Tripathi CDP, Singh M, Agarwal J, Kanta C, Atam V. Seroepidemiology of Spotted Fever Rickettsiosis in Uttar Pradesh: A Prospective Study. J Clin Diagn Res. 2017;11:DC04-9
17. Biggs HM, Behravesh CB, Bradley KK, Dahlgren FS, Drexler NA, Dumler JS, et al. Diagnosis and management of Tickborne Rickettsial Diseases: Rocky Mountain Spotted Fever and other spotted fever group Rickettsioses,

- Ehrlichioses, and anaplasmosis — United States. MMWR Recommendations and Reports. 2016;65(2):1–44. doi:10.15585/mmwr.rr6502a1
18. Rangel, M. A. C., Peña, A. E. B., Douriet, D. P., Ríos, A. R., Mexía, A. R., & Mexía, M. R. R. (2022). Complicaciones de Rickettsiosis debido al Diagnóstico Tardío en el Paciente Pediátrico. REMUS: Revista estudiantil de Medicina de la Universidad de Sonora, (8), 9-18.
  19. Rodríguez-Muñoz L, Barrera-Salinas R, Sánchez-García C, Solórzano-Santos F, Vaquera-Aparicio DN, López-Castillo D. Rickettsiosis de Fiebre Manchada. Estudio de Casos Notificados en UN Hospital Pediátrico de Segundo Nivel en el Noreste de México, 2012-2022. Gaceta Médica de México. 2023;159(2). doi:10.24875/gmm.22000354.

## CAPITULO IX RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

Mi nombre es Griselda Tobías, hija menor de Carmen Ávila y Juan Tobías, reconocidos profesores del municipio de Matehuala, que han formaron multiples generaciones de niños y jovenes. Nací en diciembre de 1995, en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. Siendo la menor de una familia numerosa, 3 hermanas y 3 hermanos. Yudith, Miriam, Paloma, Moises, Juan Luis y Edgardo.

Crecí en Matehuala con una infancia complicada entre laboratorios, hospitales, estancias largas, procedimientos y multiples punciones que de alguna u otra forma fueron experiencias fundamentales para llegar al lugar donde me encuentro hoy. Curse la educación primaria en la escuela Ignacio M. Altamirano donde además incursione en actividades extracurriculares destacando en futbol, lectura y literatura. Posteriormente curse la educación secundaria en la Escuela Gral. Francisco Zarco. Donde comparti conocimientos, actividades, aprendizajes y mucha risa y diversión a lado de gente increible. Continue mi formación teniendo que mudarme a Dr. Arroyo, ingresé a la Preparatoria No.10 de la UANL periodo fundamental para mi crecimiento, desarrollo personal y social. Representé a la institución en concursos de Biología e Ingles. Y al graduarme fui acredora al merito academico de la generación.

Decidí que queria estudiar medicina y logré ingresar a la facultad de la UANL, donde poco a poco descubrí que queria dedicarme a ver a los pacientes pediátricos. Al concluir elegí realizar mi pasantía en el departamento de Pediatría del Hospital Dr. Jose Eleuterio Gonzalez, institución que hasta el día de hoy continua formandome.

Aunque ha sido una aventura difícil estar lejos de casa, siempre es un honor voltear hacia atrás y ver la sonrisa de mis padres orgullosos, ver la admiración de mis pequeños sobrinos y saber que a cada paso que doy ellos están conmigo.