

CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

**FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL
DISMINUIDO MEDIDO POR ECOGRAFÍA EN LACTANTES
DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES.**

TESIS

**PRESENTADA POR
Andrea Silva Rubalcava**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN
IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA**

ASESOR (ES)

Dr. Héctor David Calzada Gallegos

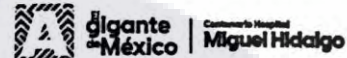
Dr. José Manuel Arreola Guerra

Aguascalientes, Ags, enero del 2026

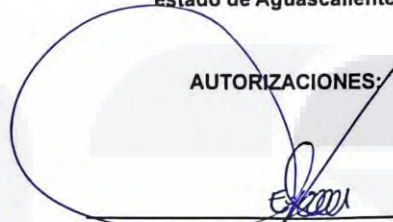


"Factores asociados a un volumen renal disminuido por ecografía en lactantes del estado de Aguascalientes"

AUTORIZACIONES:



**DIRECCIÓN DE ENSEÑANZA
E INVESTIGACIÓN**



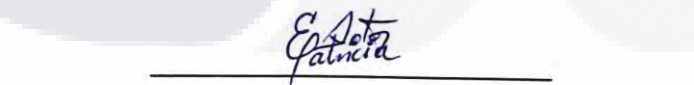
Dr. Edwin Oswaldo Vargas Ávila
Director del Área de Enseñanza e Investigación



Dr. Salvador Israel Macías Hernández
Encargado de la Presidencia del Comité de Investigación

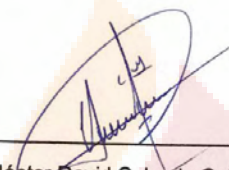


Dra. Ana Laura González López
Jefa del Departamento de Auxiliares Diagnósticos



Dra. Elvia Patricia Soto Toledo
Profesora Titular del Posgrado de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica




Dr. Héctor David Calzada Gallegos

Médico adscrito del Posgrado de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

Asesor de tesis


Dr. José Manuel Arreola Guerra

Asesor metodológico de tesis

GOBIERNO DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES



**El gigante
de México**

Centenario Hospital
Miguel Hidalgo

COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

CEI-CI/139/25

Aguascalientes, Ags., a 22 de Septiembre del 2025

DR. HÉCTOR DAVID CALZADA GALLEGOS
INVESTIGADOR RESPONSABLE
P R E S E N T E:

En cumplimiento con las Buenas Prácticas Clínicas y la Legislación Mexicana vigente en materia de investigación clínica, el Comité de Investigación y de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, han decidido **APROBAR** el proyecto de investigación para llevar a cabo en este Hospital, titulado:

"FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO MEDIDO POR ECOGRAFÍA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES"

Autores:

DR. JOSÉ MANUEL ARREOLA GUERRA
DRA. ANDREA SILVA RUBALCAVA

En virtud de que se cumplió con los requisitos establecidos por ambos comités por cual se otorga el número de registro: 2025-R-34

Con tiempo de vigencia: 6 meses de septiembre de 2025 a marzo de 2026

Sin otro particular, se solicita a los investigadores ajustarse a su periodo de vigencia del proyecto, reportar avance del proyecto de forma semestral en el mes de diciembre mediante el formato de "Avances de protocolos" y al concluirse, reportar estado del estudio, incidencias y eventos, además entregar resumen de resultados obtenidos y de los productos generados.

ATENTAMENTE

DR. SALVADOR ISRAEL MACÍAS HERNÁNDEZ
ENCARGADO DE LA PRESIDENCIA DEL COMITÉ
DE INVESTIGACIÓN

DR. JAIME ASael LOPEZ VALDEZ
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
VOCAL SECRETARIO DEL COMITÉ DE INVESTIGACIÓN



EOAV/SIM/JALV/DGPG*

449 9 94 67 20



www.issea.gob.mx



Av. Manuel Gómez Morín S/N, Col. Estación Alameda
C.P. 20259, Aguascalientes, Ags.

Aguascalientes, Ags., a 23 de octubre de 2025.

Dr. Edwin Oswaldo Vargas Ávila
Director del Área de Enseñanza e Investigación

P R E S E N T E

En respuesta a la petición hecha a la médico residente Andrea Silva Rubalcava, relacionado a presentar una carta de aceptación de su trabajo de tesis titulado:

"Factores asociados a un volumen renal disminuido medido por ecografía en lactantes del estado de Aguascalientes"

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

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE



Dr. Héctor David Calzada Gallegos
Asesor de tesis
Centenario Hospital Miguel Hidalgo

c.c.p. Coordinador de Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo
c.c.p. Secretaría de Investigación y Posgrado del Centro de Ciencias de la Salud, UAA
c.c.p. Archivo

Aguascalientes, Ags., a 23 de octubre de 2025.

Dr. Edwin Oswaldo Vargas Ávila
Director del Área de Enseñanza e Investigación

P R E S E N T E

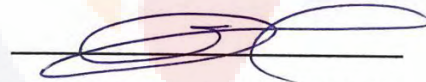
En respuesta a la petición hecha a la médico residente Andrea Silva Rubalcava, relacionado a presentar una carta de aceptación de su trabajo de tesis titulado:

"Factores asociados a un volumen renal disminuido medido por ecografía en lactantes del estado de Aguascalientes"

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

Sin más por el momento, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE



Dr. José Manuel Arreola Guerra
Asesor metodológico de tesis
Centenario Hospital Miguel Hidalgo

c.c.p. Coordinador de Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo
c.c.p. Secretaría de Investigación y Posgrado del Centro de Ciencias de la Salud, UAA
c.c.p. Archivo

CARTA DE VOTO APROBATORIO

DR. EN FARMACOLOGÍA SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

PRESENTE

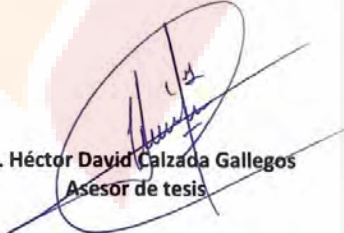
Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **ANDREA SILVA RUBALCAVA** con ID 178091 quien realizó el trabajo de tesis titulada: **FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO MEDIDO POR ECOGRAFÍA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 24 de octubre de 2025.


Dr. Héctor David Calzada Gallegos
Asesor de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25

CARTA DE VOTO APROBATORIO

DR. EN FARMACOLOGÍA SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **ANDREA SILVA RUBALCAVA** con ID 178091 quien realizó el trabajo de tesis titulada: **FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO MEDIDO POR ECOGRAFÍA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 24 de octubre de 2025.



Dr. José Manuel Arreola Guerra
Asesor metodológico de tesis

c.c.p.- Interesado

c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL
EXAMEN DE GRADO - ESPECIALIDADES MÉDICAS



Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 20/01/2026

NOMBRE: SILVA RUBALCAVA ANDREA ID 178091
ESPECIALIDAD: IMAGENOLOGIA DIAGNOSTICA TERAPEUTICA LGAC (del posgrado): EVALUACION POR IMAGEN DE ENFERMEDADES NEUROVASCULARES, CRONICO-DEGENERATIVAS, TRAUMATICAS, QUIRURGICAS E INFECCIOSAS
TIPO DE TRABAJO: (X) Tesis () Trabajo práctico
SEDE HOSPITALARIA: CENTENARIO HOSPITAL MIGUEL HIDALGO

TITULO: FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO MEDIDO POR ECOGRAFIA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

EVIDENCIA DE LOS FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO DETERMINADO POR ECOGRAFIA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):

INDICAR SI - NO - NA (No aplica) SEGÚN CORRESPONDA:

Ejemplos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

SI	El trabajo es congruente con las LGAC de la especialidad médica
SI	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI	Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)

El egresado cumple con lo siguiente:

SI	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Posgrado
SI	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios
SI	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial
SI	Cuenta con la aprobación del (la) Jefe de Enseñanza y/o Hospital
SI	Coincide con el título y objetivo registrado
SI	Tiene el CVU de la SECINTI actualizado
SI	Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

Sí X
No

FIRMAS

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

MCB.E SILVIA PATRICIA GONZÁLEZ FLORES

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

DR. EN FARM. SERGIO RAMÍREZ GONZÁLEZ

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 3.46 fracción I, inciso g) del Reglamento General de Posgrado, que a la letra señala: autorización de la persona titular del Decanato del Centro de Ciencias de la Salud.

contacto1@fmri.org.mx <contacto1@fmri.org.mx>
Para: med.silvarubalcava95@gmail.com

Estimada Dra. Silva Rubalcava

Agradecemos el envío de su trabajo y el interés en participar en el CIIS 2025, en esta ocasión su trabajo fue seleccionad

Quedo pendiente a su confirmación.

Saludos



DR. SILVA RUBALCAVA ANDREA.pdf
373K [Visualizar como HTML](#) [Descargar](#)

Agradecimientos.

Primero quiero agradecer a Dios por darme fortaleza y sabiduría, por que como un milagro me ayudó a seguir caminando con paso firme cuando me sentí sin fuerza.

Quiero agradecer a mi familia por ser mis raíces, porque gracias a eso, se perfectamente quien soy y a donde voy. Gracias por creer en mí e impulsarme a crecer, si no fuera por toda la ayuda recibida durante estos años, nada de esto sería posible.

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis maestros, cuyas enseñanzas y experiencias, fungieron como guía durante mi formación. Me quedo con todo lo bueno que me brindaron a lo largo de este tiempo compartido. Haciendo mención especial de aquellos que confiaron en mí profesionalmente, de los que son un modelo a seguir en mi formación académica y profesional.

También quiero agradecer a aquellas personas que, dentro del mismo trabajo, compartieron algo de sí mismas conmigo, así como experiencias y charlas, haciendo más llevadero el camino y dejando en mi un profundo aprecio.

Eternamente gracias a mis niñas radiólogas, porque me acompañaron en este caminar lado a lado, entre trabajo, lágrimas y risas; gracias por estar, escuchar y comprender, porque aún que no estamos en circunstancias semejantes siempre hubo una amistad llena de empatía y mucho amor. Crecer juntas profesionalmente se convirtió en un regalo invaluable, que quedara guardado en mi corazón.

A mi esposo por recargarme de fuerza a cada día con su amor y más aún cuando estaba por darme por vencido. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Valoro profundamente todo el esfuerzo que imprimiste en sostener nuestro hogar y nuestra familia cuando tuve que estar ausente por cuestiones académicas y laborales. Eres uno de los motivos en mi vida, para que yo quiera llegar más allá, porque a tu lado vuelo más alto.

Finalmente, mi agradecimiento más personal, a mi hijo Luca, gracias por el amor tan puro, porque a pesar de tu corta edad, has comprendido y perdonado mi ausencia en muchos momentos de tu vida. Gracias también porque, con esa forma tan genuina que tienes de hacer y decir las cosas, estas contribuyendo a construirme integralmente. Quiero que sepas que mucho de este trabajo es por ti y para ti.

Dedicatoria.

A mi hijo Luca, con todo mi amor, quien es la inspiración de mi vida. Por eso, todos los frutos de mi esfuerzo y trabajo también son tuyos.

A mi esposo, que amo con el corazón, porque cuando no tuve nada que ofrecer más que mi cansancio, eso fue suficiente para ti.

Índice general.

Índice de tablas.....	3
Índice de imágenes y gráficos.....	4
Resumen.....	6
Abstract.	8
Introducción.	10
Capítulo I: Marco teórico.....	11
Maduración renal prenatal.	11
Maduración renal postnatal.	11
Fisiología renal postnatal.	12
Anatomía renal por ecografía en lactantes.	12
Tamaño y volumen renal bajo para SCT compatible con hipoplasia renal.....	15
Biomarcadores de la función renal en pediátricos.	17
Herramientas imagenológicas para la determinación del volumen renal.....	18
Asociación entre la volumetría y la función renal.....	20
Antecedentes.	22
Capítulo II: Metodología.	28
Definición del problema.....	28
Justificación.....	32
Objetivos.....	34
Objetivo general.	34
Objetivos específicos.....	34
Tipo de estudio.	35
Descripción del universo de trabajo.	35
Criterios de inclusión.	35
Criterios de eliminación.	35
Criterios de exclusión.	35
Tamaño de la muestra.....	36
Descripción de las variables del estudio.	37
Análisis estadístico propuesto.....	39
Capítulo III: Material, pacientes y métodos.....	40

Técnica de recolección de datos.	40
Procedimientos de la recolección de datos y descripción.	40
Instrumento de recolección de datos.	42
Descripción de los procedimientos.	42
Cronograma.	45
Recursos humanos.	46
Recursos materiales.	46
Capítulo IV: Resultados.	47
Generalidades.	47
Riñón.	53
Capítulo V: Discusión.	61
Capítulo VI: Conclusión.	65
Glosario.	67
Bibliografía.	69
Anexos.	74

Índice de tablas.

Tabla 1.Descripción de variables del estudio. 38

Tabla 2. Cronograma de los procedimientos realizados en el protocolo de investigación. 45

Tabla 3.Recursos humanos que participaron en el protocolo de investigación. 46

Tabla 4. Distribución de frecuencias y porcentajes de los antecedentes clínicos y heredofamiliares 48

Tabla 5. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas antropométricas e indicadores nutricionales..... 50

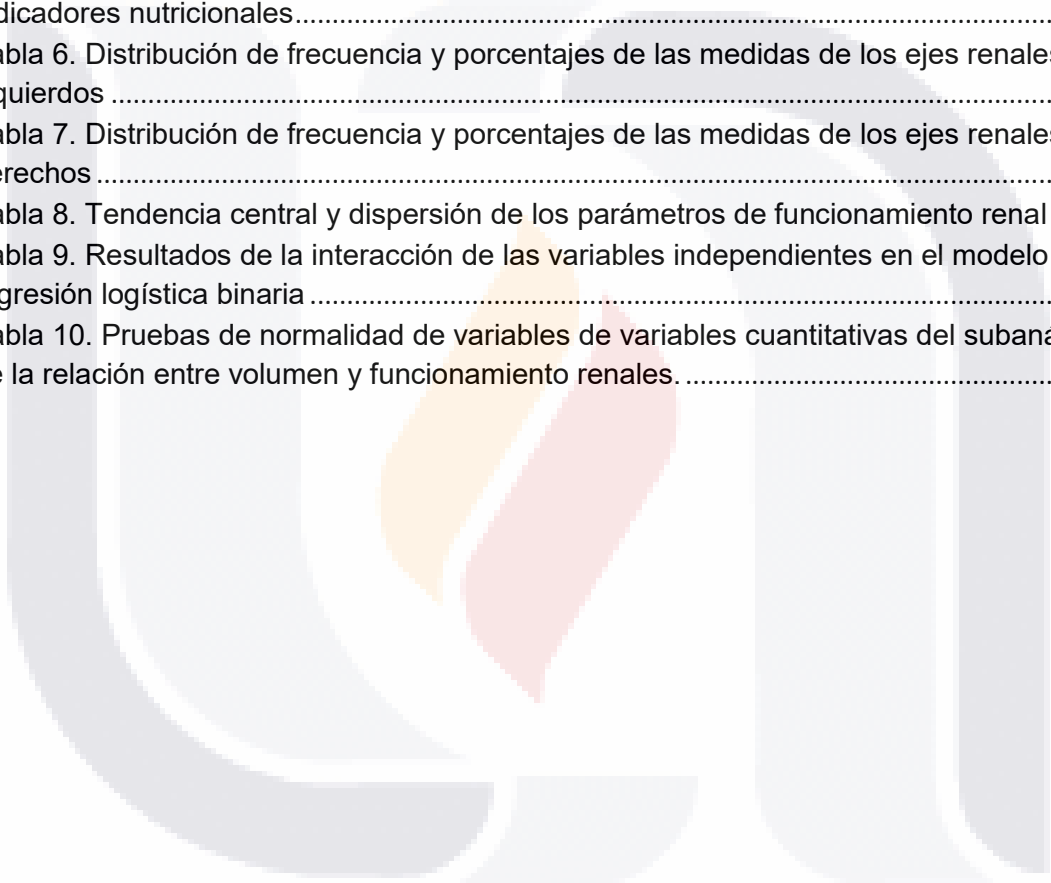
Tabla 6. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas de los ejes renales izquierdos 53

Tabla 7. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas de los ejes renales derechos 53

Tabla 8. Tendencia central y dispersión de los parámetros de funcionamiento renal 56

Tabla 9. Resultados de la interacción de las variables independientes en el modelo de regresión logística binaria 58

Tabla 10. Pruebas de normalidad de variables de variables cuantitativas del subanálisis de la relación entre volumen y funcionamiento renales. 58



Índice de imágenes y gráficos.

Figura 1. Desarrollo embrionario del riñón permanente.....	11
Figura 2. Imágenes de ecografía renal bilateral en escala de grises, de paciente en edad lactante en eje longitudinal.	13
Figura 3. Estructura ecográfica renal normal en eje longitudinal, mostrando la relación entre el seno y la corteza parenquimatosa.	13
Figura 4. Estructura ecográfica renal normal en eje transverso.	14
Figura 5. Imagen de ecografía renal en eje longitudinal que muestra lobulaciones fetales esperadas en la edad neonatal.....	14
Figura 6. Imagen de ecografía renal en eje longitudinal que muestra pirámides renales prominentes, esperadas en la edad neonatal.....	15
Figura 7. Percentiles del volumen renal de cada uno de los riñones, en la población local de los 0-18 años del estado de Aguascalientes, México	21
Figura 8. Percentiles del volumen renal por superficie corporal total de cada uno de los riñones, en la población local de los 0-18 años del estado de Aguascalientes, México.....	21
Figura 9. Distribución geográfica de la incidencia, prevalencia, mortalidad y años de vida ajustados por discapacidad de ERC en 204 países y territorios	28
Figura 10. Gráfico de sitios de mayor incidencia en el mundo de enfermedad renal crónica en etapa terminal.....	29
Figura 11. Gráfico de frecuencias de las diversas etiologías de la enfermedad renal crónica en el estado de Aguascalientes.	30
Figura 12. Gráficos de distribución por edad y sexo de las etiologías más frecuentes de enfermedad renal crónica en el estado de Aguascalientes.....	30
Figura 13. Gráfico de causas conocidas más frecuentes con ERC residentes de Aguascalientes.....	32
Figura 14. Diagrama de flujo de los procedimientos realizados en el protocolo en orden cronológico.	44
Figura 15. Diagrama de caja que exhibe valores atípicos y extremos respecto a la mediana de la muestra de 76 lactantes.....	48
Figura 16. Distribución de frecuencias y porcentajes de los antecedentes heredofamiliares.	49
Figura 17. Distribución de frecuencias y porcentajes de la exposición de sustancias tóxicas	49
Figura 18. Diagrama de caja que exhibe valores atípicos y extremos respecto a la mediana del peso de la muestra de 76 lactantes.....	51
Figura 19. Histograma.....	51
Figura 20. Histograma.....	52

Figura 21. Diagrama de pastel que exhibe la distribución y frecuencia del estado nutricional de los lactantes, basado en la interpretación de los percentiles del cálculo P/E de la OMS..... 52

Figura 22. Diagrama de caja del volumen renal relativo en mm3 bilateral 54

Figura 23. Diagrama de caja respecto a la longitud de los riñones bilateralmente 54

Figura 24. Diagrama de caja del eje anteroposterior de ambos riñones..... 55

Figura 25. Diagrama de caja del eje transversal de ambos riñones..... 55

Figura 26. Histograma..... 56

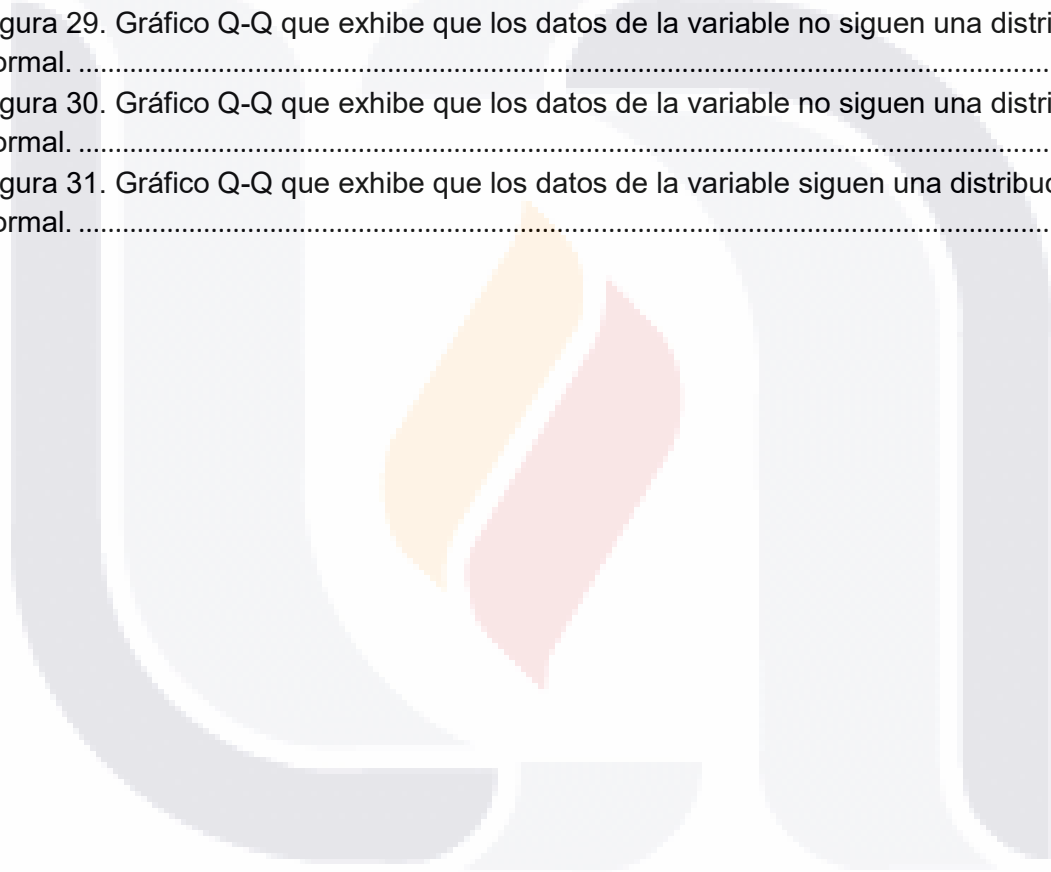
Figura 27. Histograma..... 57

Figura 28. Histograma..... 57

Figura 29. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable no siguen una distribución normal..... 59

Figura 30. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable no siguen una distribución normal..... 59

Figura 31. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable siguen una distribución normal..... 60



Resumen.

Introducción: La alta prevalencia de la enfermedad renal crónica (ERC) de causa desconocida en pacientes jóvenes en el estado de Aguascalientes, ha orillado a la búsqueda intencionada de la posible etiología, se han desarrollado múltiples protocolos de investigación con este fin en nuestro estado, analizando en las diferentes etapas de la vida los posibles eventos asociados, tratando de descifrar el camino para este desenlace. Se ha determinado que los factores adversos prenatales, como la exposición a pesticidas, condicionan menor número de nefronas y por ende menor volumen renal, ahora se espera evaluar la asociación, *a posteriori* en los lactantes, con determinados factores y un volumen renal disminuido en esta edad.

Objetivo: Determinar qué factores endógenos y exógenos están asociados a un volumen renal disminuido en lactantes del estado de Aguascalientes, usando como herramienta la ecografía renal.

Metodología: Estudio de cohorte prospectivo, analítico y correlacional, y se realizó con el propósito de describir y analizar el volumen renal disminuido en pacientes lactantes del estado de Aguascalientes, evaluando su relación con otras variables clínicas y ambientales. Universo conformado por lactantes (de 29 días a 2 años) atendidos en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo que contaban con estudios previos realizados durante la etapa neonatal. De un total de 299 neonatos evaluados inicialmente, 93 (31.1%) acudieron a una segunda evaluación entre marzo de 2024 y marzo de 2025. Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula para poblaciones finitas. Como resultado, se calculó un tamaño muestral de 76 lactantes, los cuales serán seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple. Se analizaron variables sociodemográficas, antropométricas, clínicas, bioquímicas y ambientales, incluyendo género, edad, talla, peso, superficie corporal total (SCT), creatinina, cistatina C, tasa de filtrado glomerular (TFG), pesticidas, antecedentes familiares, entre otras. La variable principal fue el volumen renal absoluto y ajustado por superficie corporal (VRSCT).

Resultados: En relación con el VRSCT, el valor promedio fue de $109.12 \pm 22.49 \text{ mm}^3$. El 35.5% de la muestra presentó un volumen renal bajo ($P \leq 10$). A pesar de este hallazgo volumétrico, todos los parámetros bioquímicos de función renal (Creatinina y Cistatina C) se mantuvieron consistentemente dentro de los rangos de normalidad. El análisis de regresión logística binaria no evidenció una relación estadísticamente significativa entre el

VRSCT disminuido y los factores de exposición prenatal o postnatal examinados. De manera similar, la correlación entre el VRSCT y la TFG fue débil y no alcanzó significancia estadística.

Tiempo de duración del protocolo: Marzo 2022 - Enero 2026.

Palabras clave: Ecografía. Volumen renal. Volumen Renal Total ajustado a Superficie Corporal. Tasa de Filtrado Glomerular.



Abstract.

Introduction: The high prevalence of chronic kidney disease (CKD) of unknown origin in young patients in the state of Aguascalientes has prompted an intentional search for its possible etiology. Multiple research protocols have been developed in the state with this purpose, analyzing potential associated events across different life stages in an effort to unravel the pathway leading to this outcome. It has been established that adverse prenatal factors—such as pesticide exposure—may result in a reduced number of nephrons and consequently smaller kidney volume. The current aim is to assess the postnatal association, in infants, between specific factors and decreased renal volume at this age.

Objective: To identify which endogenous and exogenous factors are associated with decreased renal volume in infants from the state of Aguascalientes, using renal ultrasound as the primary assessment tool.

Methodology: This is a prospective, analytical, and correlational cohort study, conducted with the aim of describing and analyzing reduced renal volume in infants from Aguascalientes, evaluating its relationship with various clinical and environmental variables. The study population consisted of infants (aged 29 days to 2 years) treated at the Centenario Hospital Miguel Hidalgo, who had undergone previous studies during the neonatal period. Out of an initial total of 299 neonates evaluated, 93 (31.1%) returned for a second assessment between March 2024 and March 2025. The sample size was determined using the finite population formula. As a result, a sample size of 76 infants was calculated, to be selected through simple random sampling. Sociodemographic, anthropometric, clinical, biochemical, and environmental variables were analyzed, including sex, age, height, weight, body surface area, creatinine, cystatin C, glomerular filtration rate (GFR), pesticide exposure, family medical history, among others. The primary variable was absolute renal volume and renal volume adjusted for body surface area (BSARV).

Results: Regarding the BSARV, the mean value was $109.12 \pm 22.49 \text{ mm}^3$. Notably, 35.5% of the sample exhibited low renal volume ($P \leq 10$). Despite this volumetric finding, all biochemical parameters of renal function (Creatinine and Cystatin C) consistently remained within normal limits. Binary logistic regression analysis did not demonstrate a

statistically significant association between decreased BSARV and the prenatal or postnatal exposure factors examined. Similarly, the correlation between BSARV and GFR was weak and did not reach statistical significance.

Study duration: March 2022 – January 2026.

Keywords: Ultrasound. Renal Volume. Body-surface-area related renal volume. Glomerular filtration rate.



Introducción.

La alta prevalencia de la enfermedad renal crónica de causa desconocida en pacientes jóvenes del estado de Aguascalientes (1–3), nos ha llevado a la búsqueda intencionada de los elementos que conforman la historia natural de la enfermedad a lo largo de su evolución, todo ellos encaminándonos a la búsqueda de la posible etiología o por lo menos los factores asociados.

Dentro de su estudio se han analizado por parte de diversos autores las diferentes etapas de la vida previo a la presentación de la patología, con el propósito de identificar los factores potenciales que lleven al desenlace. Ya se han estudiado a poblaciones locales en edad neonatal y adolescentes del estado de Aguascalientes (1,4), por lo que en este protocolo de investigación, la atención se centró en determinar los factores de riesgo en la edad lactante asociados, a la principal teoría de la etiología de la enfermedad renal crónica de causa desconocida, que es el decremento en el número de nefronas, mismo que puede traducirse en la disminución del volumen renal (1,2,5), hallazgo que puede ser evaluado por métodos diagnósticos no invasivos como lo es la ecografía renal, siendo de elección este último por el bajo costo y la nula exposición a la radiación ionizante (6,7).

El ultrasonido renal contribuirá entonces en la búsqueda de disminución del volumen renal y la asociación a los factores de riesgo en la edad lactante, misma que forma parte de la primicia de la teoría de la hiperfiltración (1,8–10). Ya que el tamaño renal tiene una correlación lineal con el número de nefronas, en lactantes (10). Y finalmente ir uniendo las piezas, en relación con las variables de riesgo en etapas tempranas de la vida, que, según la literatura médica, afectan la programación de la cantidad de nefronas funcionales *a posteriori* (1,8,9).

Capítulo I: Marco teórico.

Maduración renal prenatal.

La nefrogénesis inicia desde la etapa embrionaria, iniciando con la producción de orina a las 9 semanas de edad gestacional, que coincide con la etapa del mesonefros y metanefros, a las 20 semanas de gestación la mayor parte de las nefronas están formadas, en este último periodo se formaran de 3 a 4 generaciones de nefronas por mes, lo que continuará hasta las 34-36 semanas de gestación, postnatalmente en recién nacidos a término ya no se formaran nuevas nefronas (8,9,11).

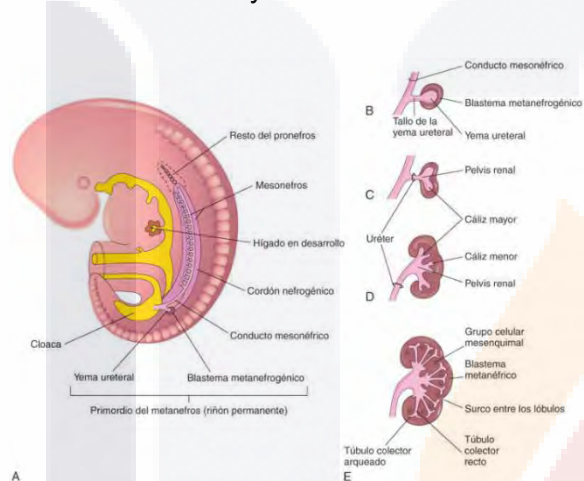


Figura 1. Desarrollo embrionario del riñón permanente (12).

Maduración renal postnatal.

Los riñones neonatales son de menor tamaño ya que no están completamente desarrollados al nacimiento (13,14). El tamaño renal es desproporcionadamente mayor en los lactantes en relación con su superficie corporal, ya que su crecimiento es mayor durante el primer año de vida (13), ya que, aunque el proceso de nefrogénesis tiene lugar en la vida prenatal, y que a partir de entonces no se formaran nuevas nefronas; aun así los glomérulos, túbulos y la vasculatura continúan en desarrollo a medida que se establece adecuadamente su función en la vida postnatal (8,9,11,15), siendo un aumento de la longitud renal durante la primera semana de vida de un 17% aproximadamente y un 37% aproximadamente dentro de los 4 meses postnatales, progresivamente se enlentece el crecimiento renal en el transcurso del tiempo restante del primer año de vida, estabilizándose en aproximadamente 2-3 mm por año, siendo un crecimiento de tipo no lineal (16,17). En cuanto a la diferencia de tamaño renal en el eje longitudinal de acuerdo con el género aún existe discusión al respecto, ya que algunos autores refieren que no hay diferencia (17), pero otros refieren que el tamaño renal es mayor en varones (18).

Fisiología renal postnatal.

Dentro del adecuado funcionamiento en los recién nacidos existe un delicado equilibrio entre los factores vasoconstrictores y vasodilatadores renales, lo que resulta en una alta resistencia vascular continua en los vasos renales, la cual va disminuyendo progresivamente después del nacimiento, pudiendo generar redistribución del flujo sanguíneo y conllevar al bajo flujo sanguíneo renal neonatal, esto último debido a múltiples variables como angiotensina II, catecolaminas, óxido nítrico y prostaglandinas, así como presión arterial, autorregulación, retroalimentación tubuloglomerular; glomerulogénesis y vasculogénesis, lo que se traduce en que en las 2 primeras semanas de vida la TFG aumenta velozmente, dos veces su valor inicial, el proceso continua avanzando lentamente y se acerca al 100% a los 18 meses de edad. La TFG en recién nacidos a término equivale al 30-40% de los adultos. La TFG generalmente permanece constante desde los 18 meses hasta los 18 años de edad (9).

Anatomía renal por ecografía en lactantes.

El riñón es un órgano encargado de la filtración, a través de la resorción y la secreción (14).

Se compone de varios lóbulos, mismo que en el paciente adulto se observan fusionados, no así en los pacientes pediátricos, están constituidos por una capa externa de corteza que rodean una pirámide de medula, el vértice de la pirámide se denomina papila, misma que drena en un cáliz menor, posteriormente son confluentes con los cálices mayores, para formar la pelvis renal y el uréter proximal, mismo que se desarrolla conforme la ramificación de las yemas ureterales durante la nefrogénesis (14,19). El seno renal se define como el espacio situado entre los cálices y el parénquima, contiene vasos linfáticos, sanguíneos y tejido adiposo. El hilio renal es el que aporta vascularización al riñón, adyacente a la pelvis renal, en el exterior del seno (14).

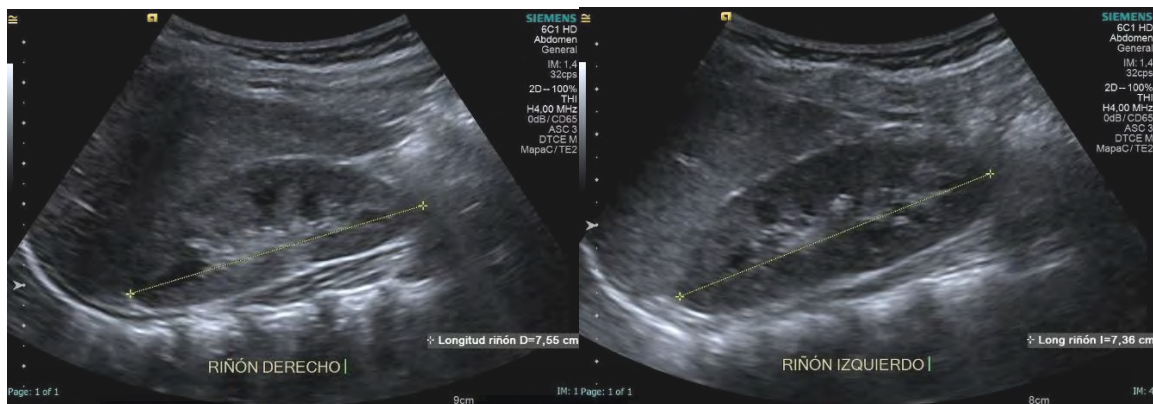


Figura 2. Imágenes de ecografía renal bilateral en escala de grises, de paciente en edad lactante en eje longitudinal. Imagen del autor (2025).

El riñón desde el punto de vista ecográfico es de morfología oval en sagital, el seno renal es ecogénico ya que se compone de tejido adiposo, adyacente el sistema colector y los vasos renales. La periferia del riñón, rodeando el seno renal, se observa hipoeoica, mismo que está compuesto por medula y corteza. El sistema calicial es visible cuando se encuentra ocupado por orina, el anillo de parénquima es más grueso hacia los polos (14).

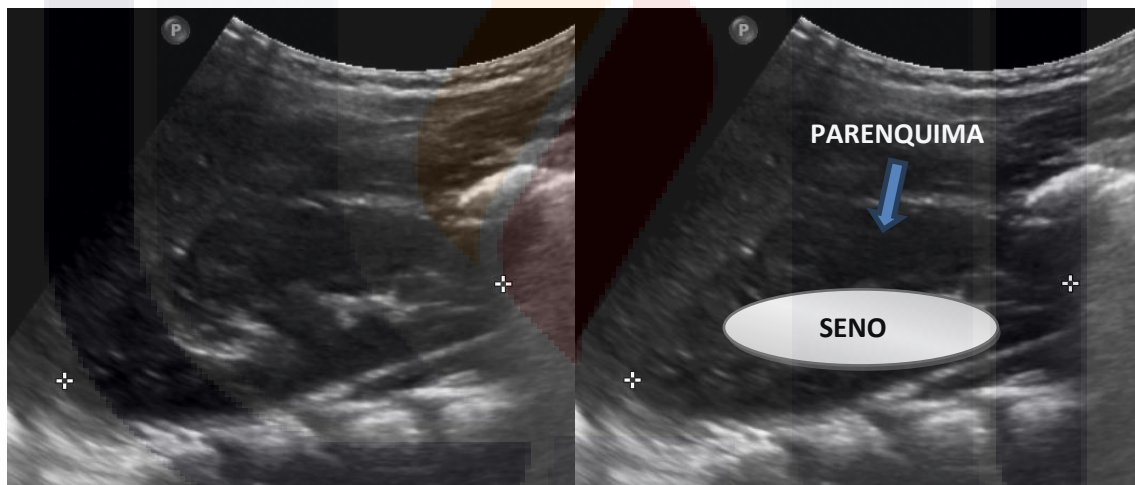


Figura 3. Estructura ecográfica renal normal en eje longitudinal, mostrando la relación entre el seno y la corteza parenquimatosa. Imagen del autor (2025).

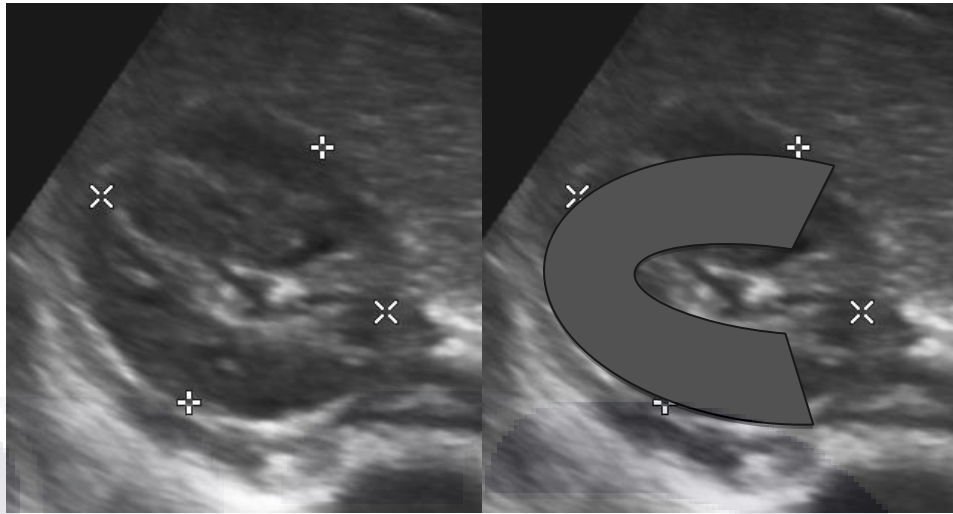


Figura 4. Estructura ecográfica renal normal en eje transverso, mostrando la relación entre el seno y la corteza parenquimatosa. Imagen del autor (2025).

Riñones neonatales de menor tamaño de corteza ecogénica y lobulada, con las pirámides medulares muy prominentes (13,14).



Figura 5. Imagen de ecografía renal en eje longitudinal que muestra los bordes lobulados y bien definidos, en relación con lobulaciones fetales esperadas en la edad neonatal (20).

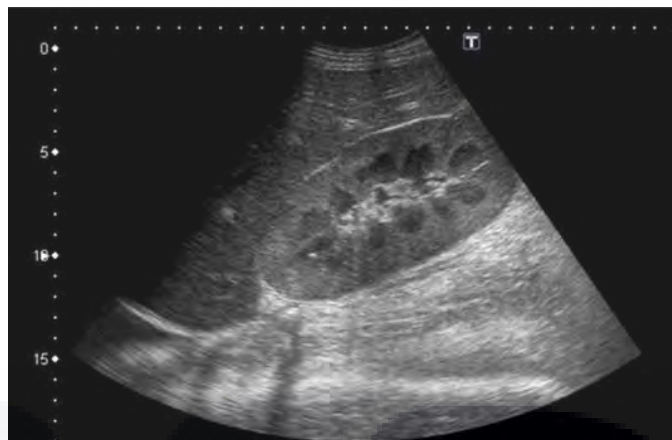


Figura 6. Imagen de ecografía renal en eje longitudinal que muestra pirámides renales prominentes, esperadas en la edad neonatal (20).

Otra diferencia en cuanto a la ecografía renal durante esta etapa de la vida, a diferencia de con los adultos, es la dilatación de la pelvis renal, misma que es más evidente en relación con el género masculino (18).

Tamaño y volumen renal bajo para SCT compatible con hipoplasia renal.

La cantidad de glomérulos está establecida al nacer en cada uno de los individuos normales; el promedio de nefronas esta entre 900 000 y 1 000 000 de nefronas, misma que se generaran dentro del proceso normal de formación y arborización de la yema renal, así como la inducción de la nefrogénesis. Existe evidencia de la correlación lineal directa entre el peso al nacer y el número de nefronas, existen estudios en los que se ha inferido un aumento de glomérulos proporcional al incremento de peso postnatal, por lo que la cantidad de estas puede ser variable inclusive en relación con la epidemiología (8,11). La nefrogénesis forma parte de un mecanismo complejo donde participan múltiples genes, de entre ellos, uno de los más estudiados en la hipoplasia renal es el PAX2 (11).

La hipoplasia renal es un riñón con disminución en su volumen, con nefronas normales, aunque disminuidas en número (21)Rubenstein et al establecieron los criterios diagnósticos en patología para hipoplasia renal como una “cantidad congénitamente disminuida de tejido renal histológicamente normal”. Dentro de este espectro existen 4 tipos: simple, oligomeganefrónica, segmentaria y cortical (11).

La hipoplasia segmentaria, también conocida como riñón Ask-upmark, se generan por desarrollo lobar fallido, suelen tener un tamaño menor de 2 desviaciones estándar de la media, con un peso de hasta 12 a 25 g en niños, con disminución en el número de lóbulos renales, con focos hipoplásicos con parénquima renal macroscópicamente normal

intercalado, que puede estar hipertrofiado, lo que se presenta radiográficamente como cicatrices segmentarias y lobulación transversal, los focos hipoplásicos microscópicamente contienen pocos túbulos, tejido intersticial laxo, pocos o nulos glomérulos y sin o con escasa inflamación, que genera una delgada tira de parénquima cortical con una pirámide renal rudimentaria o ausente, el tejido medular contiene túbulos colectores pero no asas de Henle, con hipovascularidad de los segmentos afectados, además se asocia a hipertensión (70%), infección de vías urinarias y reflujo vesicoureteral (70-80%) (11).

El tipo cortical se caracteriza por un cese temprano durante el desarrollo embriológico renal, lo que limita el desarrollo normal en las generaciones de nefronas, por ende, disminución del tamaño renal, a expensas de disminución del grosor cortical y medular, histológicamente se define como ≤ 8 generaciones de nefronas en los recuentos glomerulares radiales (11).

La hipoplasia simple se define como la disminución del peso renal menor del 50% de lo esperado para la edad y si es en forma bilateral, un peso combinado menor del 33% en relación con su edad, con 5 o menos retináculos y cálices, aunque sus nefronas son histológicamente normales, criterio que la diferencia de la hipoplasia renal oligomeganefrónica, ya que en esta última se identifica un incremento en el tamaño de las nefronas a nivel histológico, lo que es un criterio diagnóstico, así como la reducción en número de las nefronas, disminución de la longitud renal menor del 80% en relación con su edad, en forma simétrica y reducción de la tasa de filtrado glomerular al 30% de lo normal, la que se muestra más tardíamente con proteinuria, lo que podría predisponer a una nefropatía crónica (11).

La evaluación por imagen es sumamente útil para reconocer la disminución de volumen renal para SCT ($\leq p10$) como hallazgo compatible con los diferentes tipos de hipoplasia renal, primordialmente para la hipoplasia renal simple, ya que los hallazgos histopatológicos solo será posible evaluarlos a través de procedimientos invasivos para toma de muestras para su análisis microscópico.

La fisiopatología de la hipoplasia renal simple, puede explicarse de acuerdo a la teoría de la hiperfiltración en un riñón normal, la que está determinada de acuerdo al número de nefronas funcionales; algunos factores directos llegan afectar la programación de la cantidad de nefronas funcionales en cada una de las etapas de la vida, como son la prematuridad, bajo peso al nacer, las enfermedades hereditarias y congénitas, la

desnutrición prenatal o postnatal con sobrenutrición posterior, otros factores que influyen indirectamente son la salud materna como la diabetes gestacional, obesidad materna, desnutrición, uso de drogas y las exposiciones intrauterinas a determinadas sustancias (1,8,9), lo que condiciona a tener una menor cantidad de nefronas disponibles, es decir hipoplasia renal, que consecuentemente genera afección de la función renal, como un mecanismo adaptativo ocurrirá un incremento del flujo sanguíneo renal y de la tensión intraglomerular, lo que concluirá en una hiperfiltración glomerular con proteinuria progresiva, misma que generará lesión mecánica en la barrera de filtración y las estructuras posteriores, la que contribuirá que los glomérulos dañados crezcan en dimensión, lo anterior es llamado hipertrofia glomerular patológica, a posteriori se presenta la esclerosis y el cataclismo glomerular, acelerando la pérdida de nefronas; lo que evoluciona con pérdida de la función renal (8,22).

Dentro de la hipertrofia glomerular, existen 2 tipos: fisiológica (compensatoria) y patológica (22).

- Fisiológica: se caracteriza por actuar como una respuesta esperada, asociado a una mayor edad y/o demanda (p. ej. Embarazo). Agrandamiento del glomérulo renal ≤ 1.5 veces su diámetro original (22).
- Patológica: es una respuesta a injurias, que puede generar cambios estructurales irreversibles en el parénquima renal, que conlleva a un deterioro de la función renal. Crecimiento del corpúsculo renal > 1.5 veces su diámetro original (22).

Biomarcadores de la función renal en pediátricos.

Para la determinación de la función renal, se emplean biomarcadores séricos. En el neonato, la cistatina C no alcanza a difundirse a través de la barrera placentaria por lo que se considera el biomarcador de elección para este grupo de edad, a pesar de ello se consideran poco prácticos, por lo que se prefiere usar la tasa de filtración glomerular estimada (TFGe). En los niños se usa la fórmula de Schwartz, ecuación que se calcula con los valores de creatinina y cistatina C4a, publicada en 2012, para la estimación de la TFG en niños > 18 meses, debido a que en niños menores (neonatos y lactantes) los riñones se encuentran en constante cambio, asociados al desarrollo normal, este enfoque no es aplicable (9).

En niños mayores se recomienda estimar la TFG, combinando la cistatina C y la creatinina.

La determinación de la capacidad de la función renal derivada de la creatinina sérica se complementa con el aclaramiento de la creatinina, práctica que se convierte en un reto al tratar de realizar recolecciones de orina cronometradas en niños (9).

La creatinina sérica es un biomarcador de la función renal, con el que disponemos gracias a la estandarización internacional a través de la espectrometría de masas por dilución isotópica, con la que se hacen mejores mediciones (9). Aunque hay evidencia de que la creatinina sérica es un método poco útil para el diagnóstico temprano de la disfunción renal (6).

Herramientas imagenológicas para la determinación del volumen renal.

La evaluación de la función renal asociado al volumen renal a través de las diferentes herramientas imagenológicas en pacientes pediátricos ha mejorado con el tiempo, teniendo en el caso del ultrasonido las ventajas de ser un método no invasivo, sin radiación ionizante, costo accesible en comparación con el resto y que además puede usarse como guía durante los procedimientos intervencionistas (6,7). De todos los métodos de imagen, el ultrasonido se considera el de primera elección para evaluación de la morfología renal. Los puntos por evaluar con este método son el tamaño y volumen renal, ecogenicidad, relación corteza-médula, sistema colector y la detección de lesiones (6).

Las tecnologías innovadoras en imagen, como el ultrasonido tridimensional, permite una valoración más completa de su volumen en menor tiempo, el mecanismo de esta herramienta consiste en adquirir imágenes en un solo plano las que posteriormente pueden reconstruirse en múltiples planos, muy similar a lo que hace la tomografía computarizada, aunque con una mejor definición de la anatomía renal, la principal desventaja con este último es el uso de radiación ionizante, misma que es nula en el ultrasonido tri-dimensional. La resonancia magnética además de la excelente nitidez de la imagen, con el uso de gadolinio se puede valorar la función renal, pero la principal desventaja es el alto precio (6).

El ultrasonido entonces destaca como una de las herramientas con mayor aplicabilidad y además económica, que puede correlacionar las variables fisiopatológicas, histopatológicas y de laboratorio, para valorar el volumen renal en sus diferentes etapas hasta llegar a asociarse en su evolución con la disfunción renal, esto en relación a lo previamente descrito en la literatura en relación con pequeños volúmenes renales en el periodo postnatal temprano, mismos que consecuentemente se asocian a mecanismos

compensadores para cubrir la demanda, como la hipertrofia glomerular que se presenta inicialmente, misma que puede detectarse indirectamente al determinar el incremento de tamaño y la volumetría renal, inclusive antes de otros cambios morfológicos (7).

En la literatura médica se documentan estudios donde se evalúa específicamente los coeficientes de correlación intraclase intraobservador (CCI) para determinar el volumen renal en lactantes por ecografía en 2D y 3D. En un estudio realizado en un hospital en Austria, con una muestra de 40 pacientes, se analizaron la variabilidad intra observador para mediciones del volumen mediante ultrasonido tridimensional (3D) en bebés y niños (recién nacidos-16 años) con hidronefrosis. Inicialmente la evaluación por ultrasonido se realizó en 2 dimensiones (2D) y posteriormente el volumen renal se calculó con la aplicación de la ecuación elipsoide, se comparó con análisis del volumen parenquimatoso obtenido ultrasonido 3D, así como por urografía por RM, ambas con sustracción del sistema colector dilatado. Al compararse con la ecografía bidimensional se encontró una diferencia media $25,8 \% \pm 32,2$ (desviación estándar). La variabilidad intraobservador e interobservador fue de $\pm 6,4 \%$ y $\pm 9,9 \%$, respectivamente (23).

Además, se determinó una buena correlación del tamaño del parénquima renal en ecografía con la función renal dividida evaluada por gammagrafía en riñones sin hidronefrosis ni enfermedad renal aguda, ya que el cálculo de volumen renal en ecografía 2D se realiza en base a estimaciones geométricas, las que pueden ser inexactas en órganos de morfología no geométrica, sobre todo en pacientes con riñones patológicos (23).

Se demostró que el ultrasonido 3D es una mejor herramienta imagenológica para la determinación del volumen de los órganos, con una estandarización superior y menores variabilidades inter e intraobservador, fungiendo como complemento útil de la ecografía 2D del tracto urinario en pacientes con hidronefrosis de larga evolución para evaluar el volumen del parénquima renal (23).

Geelhoed et al. informaron, tras el análisis de 56 mediciones en 28 niños, sin anomalías renales ni ureterovesicales, que los coeficientes de correlación intraclase (CCI) para la repetición de mediciones por el mismo observador (intraobservador) variaron entre 0,93 (para el eje transversal de ambos riñones y el eje anteroposterior del riñón derecho) y 0,99 (para la longitud del riñón izquierdo). En cuanto a la concordancia entre distintos observadores (interobservador), los CCI se situaron entre 0,64 (eje anteroposterior del riñón derecho) y 0,90 (longitud del riñón derecho). En sí, los CCI intraobservador fueron

mayores (rango: 0,93-0,99) que los interobservador (rango: 0,64-0,90) para todas las dimensiones renales (24).

Dentro del mismo estudio, los gráficos de Bland y Altman mostraron que los límites de concordancia fluctuaron desde -8,0% a 9,2% en la medición intraobservador del eje transversal del riñón izquierdo, hasta un máximo de -18,0% a 19,2% en la medición interobservador de la longitud del riñón izquierdo, es decir una buena concordancia entre los observadores. Lo que indica una diferencia dentro del 10 % de la media en casi todas las mediciones ecográficas renales.

Desafortunadamente la limitada reproducibilidad también repercute en la precisión de las estimaciones del volumen renal. En algunos estudios clínicos y epidemiológicos orientados a comparación entre grupos, se propone como alternativa metodológica el uso exclusivo de la longitud y el eje transversal renal, en lugar del volumen total; aunque esta aproximación resulta adecuada para análisis internos, especialmente aquellos centrados en la clasificación de los participantes según patrones de crecimiento renal, la evidencia disponible indica que el volumen renal ofrece una representación más precisa del peso y desarrollo renal que la longitud por sí sola. Por lo anterior, se considera justificado mantener la medición del eje anteroposterior renal, aun cuando dicha variable presente una mayor variabilidad en su cuantificación (24).

En conjunto, los resultados indican que la ecografía presenta buena reproducibilidad y concordancia en la mayoría de las dimensiones renales evaluadas en población pediátrica. Por tanto, la ecografía se presenta como un método de imagen eficaz para medir el tamaño renal en estudios clínicos y epidemiológicos (23,24).

Asociación entre la volumetría y la función renal.

El volumen renal es proporcional al parénquima renal y su función, se considera una adecuada estimación de la función renal normal con el volumen renal en asociación con el área de superficie corporal, más que con la longitud del riñón; además de que se considera el parámetro ultrasonográfico más preciso para la determinación del tamaño renal en ambos sexos. Puntualmente se considera un indicador de disfunción renal unilateral la diferencia mayor al 20% del volumen renal en ambos riñones (7).

El volumen renal asociado a la superficie corporal en lactantes, que de acuerdo con un estudio realizado en pacientes del estado de Aguascalientes de 0-18 años, en niños menores de 1 año de edad el rango normal para el riñón derecho es de 33.4 ml/m² (percentil 10) a 68.1 ml/m² (percentil 90), con una media de 52.2 ml/m²; para el riñón

izquierdo es de 33.1 ml/m² (percentil 10) a 74.8 ml/m² (percentil 90), con una media de 53.8 ml/m². En niños menores de 2 años, pero mayores o de 1 año de edad, el rango normal para el riñón derecho es de 39.8 ml/m² (percentil 10) a 66.4 ml/m² (percentil 90), con un promedio de 52.7 ml/m²; para el riñón izquierdo es de 40.5 ml/m² (percentil 10) a 69 ml/m² (percentil 90), con promedio de 55.2 ml/m². Estos valores de volumen renal asociados a la superficie corporal, generados en estudios previos, es una valiosa herramienta que nos servirán como parámetros de normalidad en los pacientes de esta cohorte etaria y localización geográfica, que sean evaluados por ecografía, los que se encuentren por debajo de este rango se consideraran de menor volumen para la edad y en el caso de este estudio se analizará su relación con la función renal (7).

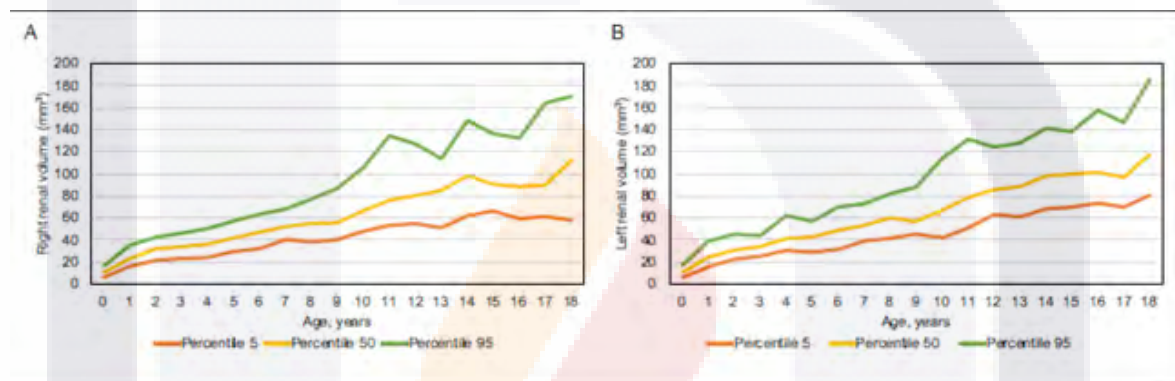


Figura 7. Percentiles del volumen renal de cada uno de los riñones, en la población local de los 0-18 años del estado de Aguascalientes, México (7).

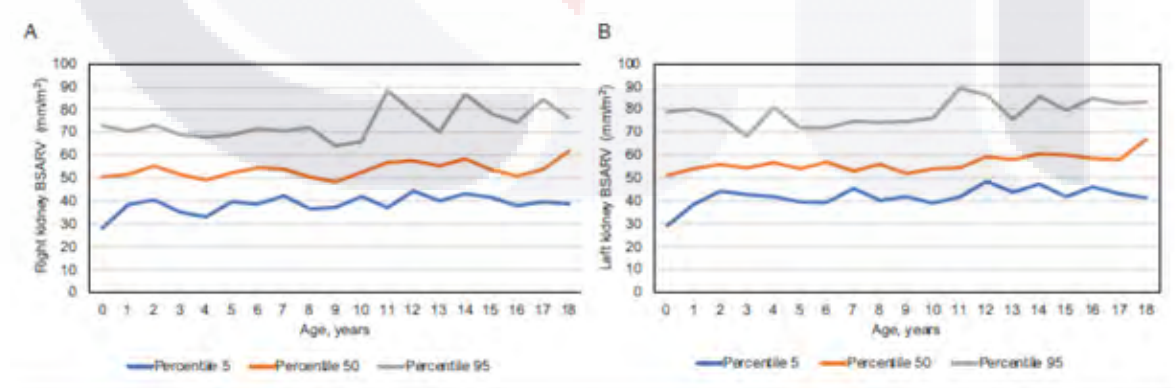


Figura 8. Percentiles del volumen renal por superficie corporal total de cada uno de los riñones, en la población local de los 0-18 años del estado de Aguascalientes, México (7).

Antecedentes.

En los últimos años se ha realizado un esfuerzo por lograr entender cuál es la etiología de la enfermedad renal crónica de causa desconocida sobre todo en pacientes jóvenes del estado de Aguascalientes, ya que la prevalencia es muy alta (1,2). Por lo que se considera necesario estudiar a nuestra población local para determinar los factores de riesgo asociados a que esta se desarrolle y detectarlos tempranamente a través de métodos no invasivos, como son la ecografía renal, para prevenirlos antes de que generen un efecto en la salud renal permanentemente. Para iniciar su estudio fue necesario ir a un punto previo a la edad de adulto joven que es cuando se manifiesta esta enfermedad, siendo entonces la población de interés los bebés, niños y adolescentes.

La ecografía se ha postulado como un método de imagen de elección para la determinación del tamaño renal en niños, usando la formula elipsoide, midiendo los 3 ejes ortogonales. Se han desarrollado estándares para valores normales de ultrasonido en relación con edad, altura peso y superficie corporal (25).

La disminución del tamaño renal muestra correlación con aumento en la tensión arterial, sensibilidad a la sal y reducción en la tasa de filtrado glomerular (10).

Como parte de la serie de antecedentes que se analizaron, encontramos a adolescentes con alta prevalencia de albuminuria persistente y además se determinaron a través de biopsias del tejido renal, características histológicas llamativas como la glomerulomegalia y el borramiento parcial de los procesos podocitarios, además por ultrasonido, se determinó un volumen renal aumentado comparado con los percentiles para la edad, sugestivo de hipertrofia compensatoria (4,10). Se sugiere que la hipertrofia compensatoria es consecuencia del pobre número de nefronas funcionales, lo que inicialmente puede manifestarse como un menor volumen renal, que posteriormente en consonancia con la evolución fisiopatológica de la enfermedad y la teoría de hiperfiltración, muestran un crecimiento compensatorio de las nefronas restantes, por ende, una normalización o incremento del volumen, siendo el aumento del tamaño glomerular un predictor de mal pronóstico renal (1,8–10). El tamaño renal tiene correlación lineal con el número de nefronas, en lactantes menores de 3 meses, no así en adultos debido a la heterogeneidad e hipertrofia que se produce en los glomérulos (10). Dentro de la teoría de hiperfiltración se menciona que existen algunos factores que afectan la programación renal de forma directa o indirecta, tanto en la vida prenatal como en la postnatal (1,8,9).

Algunos de los factores prenatales y neonatales que afectan la programación renal fueron investigados por De Santiago, K. V. et al (2024), estudio desarrollado en madres, fetos y

neonatos del estado de Aguascalientes, donde se determinó que la presencia de metomilo, 2,4-diclorofenoxiacético y fluoruro 10 en líquido amniótico, orina materna y/o orina neonatal, se asocia con un volumen renal bajo, el que además fue determinado por ecografía renal con el volumen renal total ajustado por área de superficie corporal (1).

Dado que los factores post natales intervienen igualmente en la programación renal y por ende con el volumen renal, ya que el peso renal ajustado a la edad está fuertemente relacionado con el número de nefronas (26), será parte de los esfuerzos de este protocolo de investigación, el determinar cuáles son los factores postnatales a los que los lactantes del estado de Aguascalientes son expuestos y que se asocian con una disminución del volumen renal.

El bajo peso al nacer se considera un factor de riesgo para un volumen renal disminuido y decremento del número de nefronas, que se asocia posteriormente a la hipertensión y mal pronóstico de la función renal (10,26). Schmidt y otros, realizaron un estudio comparativo en pacientes con el peso por edad gestacional, peso al nacer y una dieta temprana en el crecimiento renal se estudiaron 178 niños pre y post maduros y/o pequeños o grandes para la edad gestacional hasta los 18 meses, comparados con 717 niños maduros, con peso apropiado para la edad, se determinó la volumetría renal por ecografía, además se midieron peso, altura y grosor de los pliegues cutáneos, realizando la evaluación a los 0, 3 y 18 meses, encontrando un aumento del volumen renal de compensación (0, 22 DE) en los niños con crecimiento retardado (<10 percentil) entre los 0 y los 18 meses, no así cuando habían nacido pequeños para la edad gestacional, siendo que el bajo peso al nacer también se ha asociado como indicador clínico para la disminución en el tamaño renal y menor número de nefronas (inclusive en autopsias), lo que se exacerba si existe un aumento rápido de peso en la infancia o la adolescencia, se considera que es especialmente perjudicial si ocurre después del primer año de vida (10,26). En otro estudio realizado entre 1997-2002 niños fueron examinados durante los primeros 5 días de vida (0 meses) y de nuevo a los 3 y 18 meses de edad, se realizaron ecografía renal bilateral y mediciones antropométricas, analizando un total de 895 niños, identificando al igual que en el estudio previo, que el peso para la edad gestacional al nacer y el peso actual estimado tuvo un efecto positivo significativo en el volumen renal combinado en las tres edades; además de diferir en cuanto el limitado crecimiento renal compensatorio asociado en niños con retraso en el crecimiento. El volumen renal combinado en niños maduros vs postmaduros, no difirió significativamente a ninguna edad. Además, se

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

determinó que la composición corporal influye significativamente con el volumen renal relativo (cm^3/Kg). Existen datos previos que correlacionan ligeramente mejor con la masa corporal magra, en lugar que con la altura, peso o superficie corporal (26). El alto peso al nacer asociado a diabetes gestacional aumenta el riesgo de proteinuria y nefropatía en etapas posteriores de la vida. La nutrición en la vida postnatal cuando es adecuada puede prevenir alteraciones renales a posteriori, sobre todo en aquellos que manifestaron bajo peso al nacer, la relación entre el peso al nacer y el riesgo de proteinuria tiene forma de U, es decir, de riesgo alto en pesos altos y bajos (10). Los datos obtenidos a través de varias investigaciones nos han llevado a concluir que el desarrollo fetal tiene un efecto regulador en la nefrogénesis y en la función renal, que se prolonga después de la etapa neonatal (10,26).

En relación con el género los niños tenían riñones más grandes que las niñas a los 0 meses, pero no se observaron diferencias de género a los 18 meses (26), algo semejante a lo observado en un estudio realizado en población sana de 1-15 años estudiada por parte de la Universidad de Ciencias Médicas de Isfaha, donde no se hallaron diferencias relevantes desde el punto de vista estadístico en el tamaño total renal al comparar hombres y mujeres (25).

En un estudio observacional transversal de 116 niños sanos (1-15 años), en la universidad de Ciencias Médicas de Isfahan, se determinó que en términos promedio el riñón izquierdo supera en tamaño al derecho (25).

En cuanto la correlación del volumen renal y la lactancia materna vs la formula, la evidencia es muy variable de acuerdo con lo encontrado en la literatura. Se determinó que la fórmula de alimentación propicia el crecimiento renal comparado con el seno materno en lactantes de 3 meses de edad que nacieron a término con peso apropiado para la edad gestacional y otro estudio en donde se determina que la alimentación artificial se asocia con incremento del volumen renal por un aumento en el crecimiento renal relativo, generado por una mayor cantidad de solutos e hiperfiltración por la alta ingesta de proteínas, mismo hallazgo que en un estudio multicéntrico europeo en el 2010 se asoció a un daño potencial renal por la sobredosis temprana de proteínas (26,27), el bajo peso al nacer se asocia con crecimiento renal relativo dañado en respuesta a la fórmula de alimentación, aunque no sea han obtenido resultados concluyente en cuanto a la respuesta de crecimiento renal con la formula infantil en los lactantes pretérmino o pequeños para la edad gestacional (26). En otro estudio de Miliku y otros, donde se

compararon pacientes que fueron amamantados alguna vez, otros que fueron amamantados por más de 6 meses y otros alimentados exclusivamente con seno materno hasta los 4 meses, en donde se determinó que los niños amamantados alguna vez, en comparación con los que nunca fueron amamantados, estos últimos mostraban volúmenes renales y TFGs disminuidos en edad escolar. Entre los niños que fueron amamantados alguna vez, la menor duración de la lactancia se asoció con menor volumen renal y TFG más baja (28). El bajo contenido de proteínas de la leche materna parece ser benéfico, con cambios subclínicos positivos en el volumen y función renal durante la infancia (27).

En un metaanálisis en donde se analizaron 12 artículos científicos, incluyendo 3 estudios de investigación, se concluyó que la lactancia materna tiene un pronóstico renal favorable en la infancia, pero los datos son pocos, por lo que se requieren más investigaciones para comprender la influencia de la lactancia materna en la función renal futura. En uno de los estudios analizados que fue realizado en Holanda del 2015, que incluyó a más de 5000 niños, la lactancia materna en los primeros 4 meses se asoció con un mayor volumen renal combinado y una TFG más baja (27).

La relación que existe entre la nutrición materna ha sido estudiada en animales, y se ha encontrado que la restricción proteica, calórica y férrica materna, así como los niveles elevados de glucocorticoides en ratas se ha asociado con un tamaño renal reducido y disminución en la cantidad de glomérulos en la descendencia, asociado a disfunción renal progresiva. La depleción en el número de nefronas en ratas también se ha observado en la deficiencia de la vitamina A y la hiperglucemia materna (10,26). El peso al nacer se ve afectado por la nutrición y salud materna en el embarazo (10).

Las toxicomanías maternas también son determinantes para la salud renal en los niños, entre ellas el tabaquismo se asocia con bajo peso al nacer, bajo número de nefronas y disminución del volumen renal, esta última no fue estadísticamente significativa, existe un estudio donde no se encontraron diferencias en el volumen renal, pero si una asociación con la TFG, sin embargo la evidencia al respecto es limitada (10,29); la exposición gestacional al alcohol afecta la embriogénesis renal por lo que igualmente se asocia a un menor número de nefronas (10). En un estudio de cohorte prospectivo de 538 niños en los Países Bajos, encontraron una asociación entre el tabaquismo paterno y un menor volumen renal combinado a los 6 años, sin asociación con los biomarcadores de funcionalidad renal (29).

La correlación del tamaño renal con la tasa de filtrado glomerular se ha buscado en múltiples investigaciones, tanto en adultos como en niños. En un estudio se determinó que el tamaño renal ecográfico, especialmente su longitud se correlaciona con la TFG en niños sanos, así como una correlación positiva entre la TFG estimado mediante formula de Schwartz y volumen renal total/neto; se observó una buena asociación entre estatura y tamaño de los riñones, mientras que no se encontró asociación con la creatinina. Algunos estudios sugieren que marcadores como la cistatina C, se consideran nuevos estimadores de la TFG, que generan significativamente menos sesgo en los niños (25,29). Bakker y otros, afirman que es peor la longitud renal como indicador de la cantidad de parénquima renal que el volumen renal (25).

Los pesticidas son sustancias químicas, que tiene una amplia clasificación, que se aplican para controlar o matar plagas de insectos, plantas no deseadas, moho o fauna nociva. Se considera que es común la exposición subaguda y crónica de bajo nivel a los pesticidas (29) .

En los últimos años se han identificado nuevas sustancias químicas que se encuentran dispersas en el medio ambiente; los niños pueden estar expuestos por medio de la inhalación del aire, el consumo del agua potable y la ingesta de alimentos (29,30). La exposición a nefrotóxicos durante el desarrollo renal podría generar decrecimiento en el número de nefronas, así como alteración morfológica y funcional (30). Algunos estudios sugieren una posible asociación entre el flúor y la función renal, sin embargo, la literatura existente sobre la relación fluoruro y función renal sigue siendo limitada (27).

Los niños sufren en mayor proporción de exposición debido a su peso corporal y debido al consumo de ciertos alimentos que pueden contener pesticidas, así como actitudes propias de la edad, como el llevarse las manos a la boca y pasar más tiempo en el piso. Los bebés son susceptibles debido al periodo crítico en el que se encuentran para el desarrollo de órganos diana. Así como que tienen menor madurez de sus vías metabólicas, en los primeros meses de vida. Tampoco las vías excretoras urinarias están completamente maduras en el primer año de vida. Además de que los riñones son más susceptibles a daño por toxicidad ya que reciben el 20-25% del gasto cardiaco. El epitelio tubular proximal es particularmente susceptible a lesiones tóxicas, por la alta actividad metabólica y la captación activa por parte de las células tubulares, de hecho, se considera el objetivo de los metales pesados, aunque se han descrito vulnerabilidades a diversos agentes nefrotóxicos en todas las partes de la nefrona. Se ha determinado que, aunque

se trate de una exposición crónica a niveles bajos de nefrotóxicos ambientales, también pueden contribuir a lesión renal y mayor riesgo de ERC posterior. Aún se desconoce si la exposición a pesticidas se asocia en lactantes, directamente a un menor volumen renal, incluso de la relación de la enfermedad renal crónica de etiología desconocida con exposiciones ambientales, ya que la investigación en niños aun es limitada (27,28).

Mejorar la salud materna (antes y durante el embarazo) y la nutrición en la primera infancia podría mejorar la programación renal y de esta manera disminuir la prevalencia de enfermedad renal en el futuro, así como de otras enfermedades crónicas (3).



Capítulo II: Metodología.

Definición del problema.

La enfermedad renal crónica de acuerdo con la KDIGO 2024, se define como la persistencia por más de 3 meses de una tasa de filtrado glomerular <60 mL/min/1.73 m² o marcadores de daño renal, como albuminuria (≥ 30 mg/ 24 horas), caracterizado por anomalías persistentes en la estructura y función renal, además de ser progresiva y no curativa, con alta morbi y mortalidad (31–33).

La prevalencia de la enfermedad renal crónica está documentada sólo en el 73.9% de los países en el mundo con una prevalencia media global del 9.5%. Solo 8 países tienen una prevalencia mayor al promedio global de ERC, entre ellos México, aunque con un pobre registro epidemiológico de esta enfermedad, lo que hace infraestimar su prevalencia e incidencia en comparación con el resto del mundo (4,34,35).

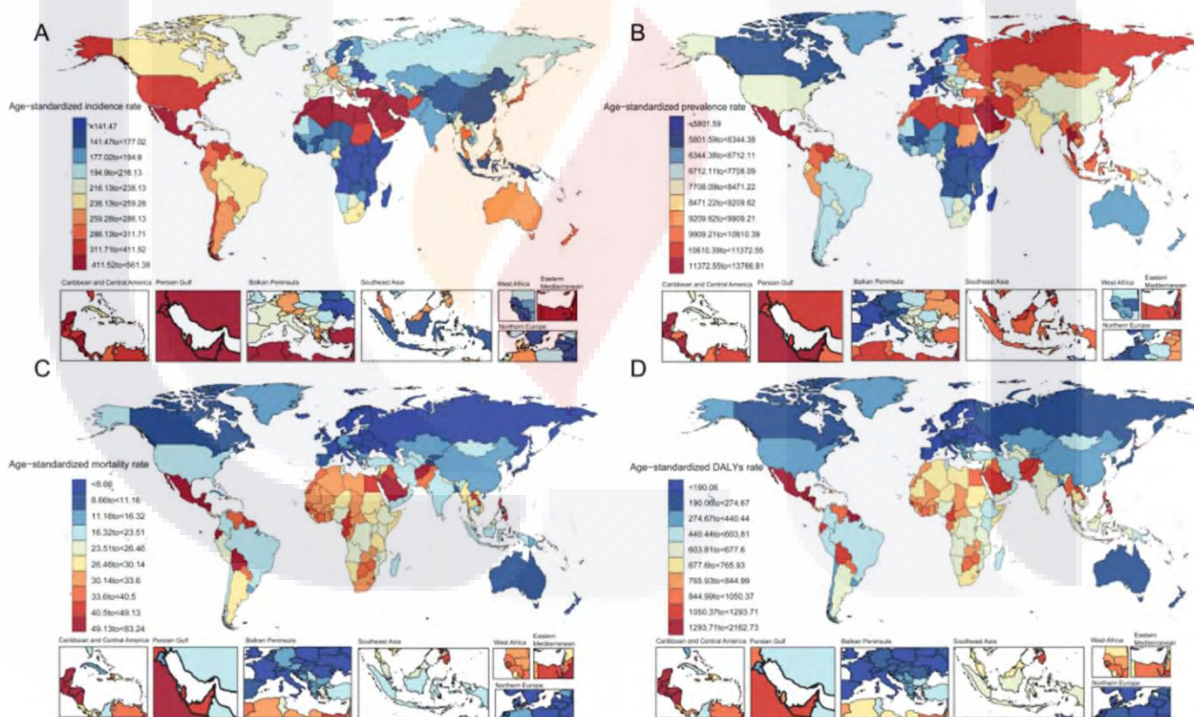


Figura 9. Distribución geográfica de la incidencia (A), prevalencia (B), mortalidad (C) y años de vida ajustados por discapacidad (D) de ERC en 204 países y territorios (36).

Existen múltiples causas asociadas a la enfermedad renal crónica entre las más comunes y conocidas, como diabetes, glomerulonefritis y enfermedades renales quísticas, además de que se identifica un incremento en la prevalencia de la patología asociado con obesidad, hipertensión, pacientes de mayor edad y en países de bajos ingresos (31,33). En México existe además entre las principales causas la insuficiencia renal de causa indeterminada, tratándose entonces de una disminución en la tasa de filtrado glomerular ($<60 \text{ ml/min/1.73 m}^2$) en poblaciones de pacientes jóvenes con ausencia de factores de riesgo conocidos para enfermedad renal crónica (37). Como su nombre lo dice no se tiene una etiología claramente identificada, aunque una de las teorías es la disminución en el número de nefronas (mismo que se asocia por ende a una disminución en el volumen renal) (1), aún se especula sobre la causa que lo provoca (31,33,38). Además existen estudios que determinan que un volumen renal total bajo se considera un factor de riesgo para enfermedad renal crónica, considerándose entonces como un marcador de daño renal (2,5).

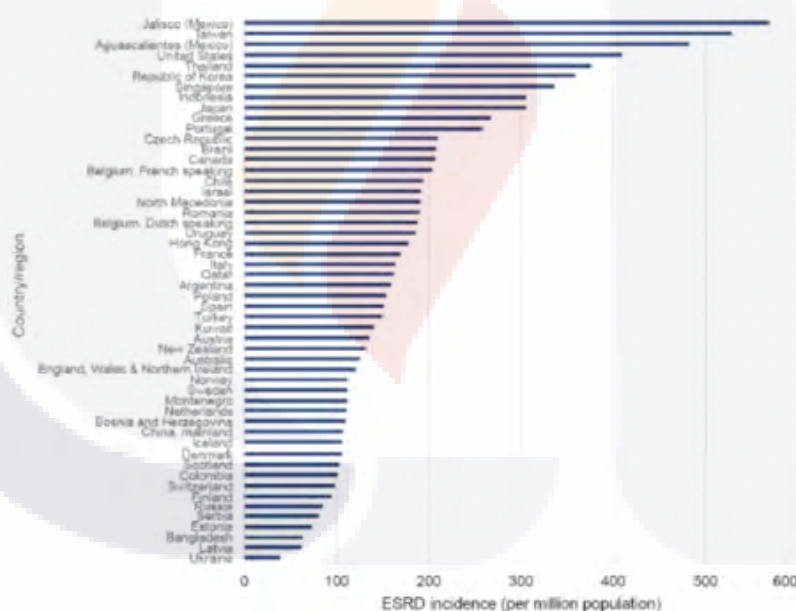


Figura 10. Gráfico de sitios de mayor incidencia en el mundo de enfermedad renal crónica en etapa terminal (39).

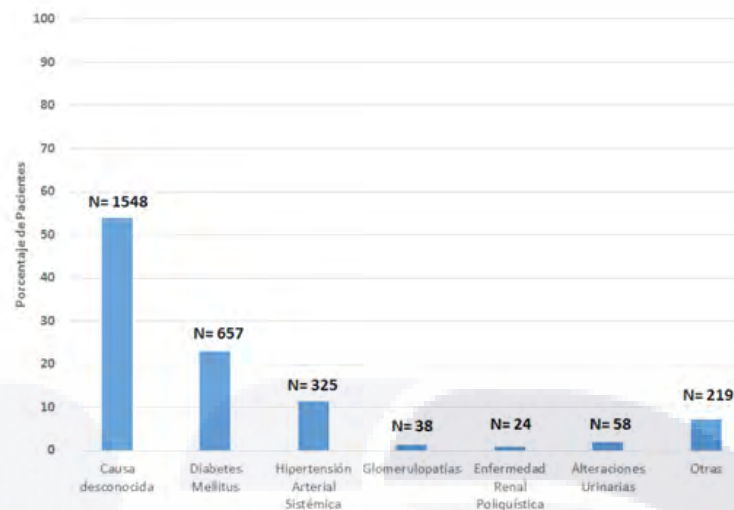


Figura 11. Gráfico de frecuencias de las diversas etiologías de la enfermedad renal crónica en el estado de Aguascalientes.

La insuficiencia renal en pacientes jóvenes de causa indeterminada tiene la mayor prevalencia a nivel mundial en el estado de Aguascalientes (1,3). Por lo que considera necesario estudiar a nuestra población local con el fin de establecer las variables que influyen en su desarrollo.

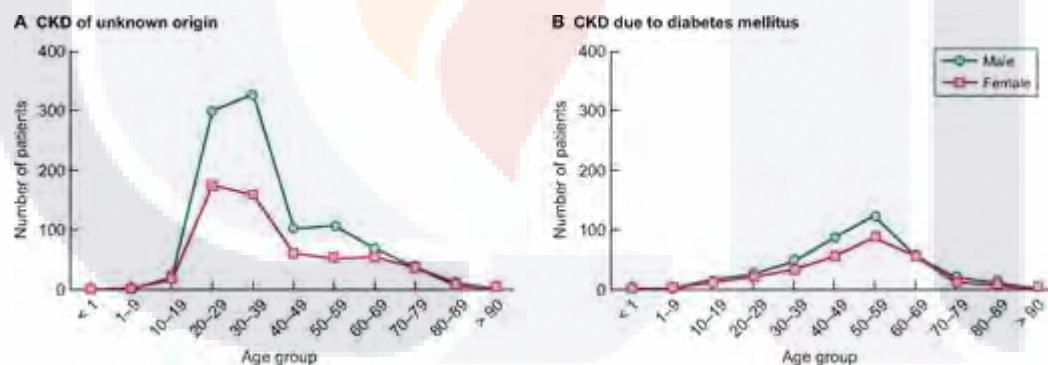


Figura 12. Gráficos de distribución por edad y sexo de las etiologías más frecuentes de enfermedad renal crónica en el estado de Aguascalientes (40).

Dentro del tamizaje de la población hidrocálida se estudió a adolescentes con alta prevalencia de albuminuria persistente, determinando a través de biopsias de tejido renal, características histológicas llamativas como la glomerulomegalia y el borramiento parcial de los procesos podocitarios y por ultrasonido un volumen renal incrementado comparada con los percentiles con relación a su edad, sugestivo de hipertrofia compensatoria (4).

Misma que se explica en la teoría de la hiperfiltración, la que está determinada de acuerdo al número de nefronas funcionales; algunos factores directos llegan afectar la programación de la cantidad de nefronas funcionales, como son la prematuridad, bajo peso al nacer, las enfermedades hereditarias y congénitas, la desnutrición prenatal o postnatal con sobrenutrición posterior, otros factores que influyen indirectamente son la salud materna como la diabetes gestacional, obesidad materna, desnutrición, uso de drogas y las exposiciones intrauterinas a determinadas sustancias (1,8,9), lo que condiciona a tener una menor cantidad de nefronas disponibles, lo que puede determinar un volumen renal bajo para SCT (≤ 10) compatible con hipoplasia renal, que consecuentemente genera afección de la función renal; como un mecanismo adaptativo ocurrirá un incremento del flujo sanguíneo renal y de la tensión intraglomerular, lo que concluirá en una hiperfiltración glomerular con proteinuria progresiva, misma que generará lesión mecánica en la barrera de filtración y las estructuras posteriores, la que contribuirá que los glomérulos dañados crezcan en dimensión de forma compensatoria y posteriormente patológica, a posteriori se presenta la esclerosis y el cataclismo glomerular, acelerando la pérdida de nefronas; lo que avanza provocando un deterioro en la capacidad renal (8,22).

Previo a la hipertrofia compensatoria identificada en adolescentes, dentro de la teoría de la hiperfiltración, en etapas previas de la vida existen factores de riesgo variables, que, según la literatura médica, afectan la programación de la cantidad de nefronas funcionales; por lo mismo se están generando esfuerzos por determinar los que tiene una alta asociación en nuestra población en etapas iniciales de la vida (1,8,9).

Uno de los estudios representativos es el De Santiago, K. V. et al (2024) desarrollado en madres, fetos y neonatos del estado de Aguascalientes, se determinó que la presencia de metomilo, 2,4-diclorofenoxiacético y fluoruro 10 en líquido amniótico, orina materna y/o orina neonatal, se asocia con un volumen renal bajo, el que es determinado por ecografía renal con el volumen renal total ajustado por área de superficie corporal (1).

Justificación.

De manera alarmante, el estado de Aguascalientes ha sido identificado como una de las regiones con mayor prevalencia e incidencia de insuficiencia renal de causa indeterminada, especialmente en población joven, sin factores de riesgo clásicos como diabetes mellitus, hipertensión o glomerulopatías. Esta situación plantea la necesidad urgente de identificar factores etiológicos propios de la región y establecer herramientas de tamizaje oportunas y no invasivas.

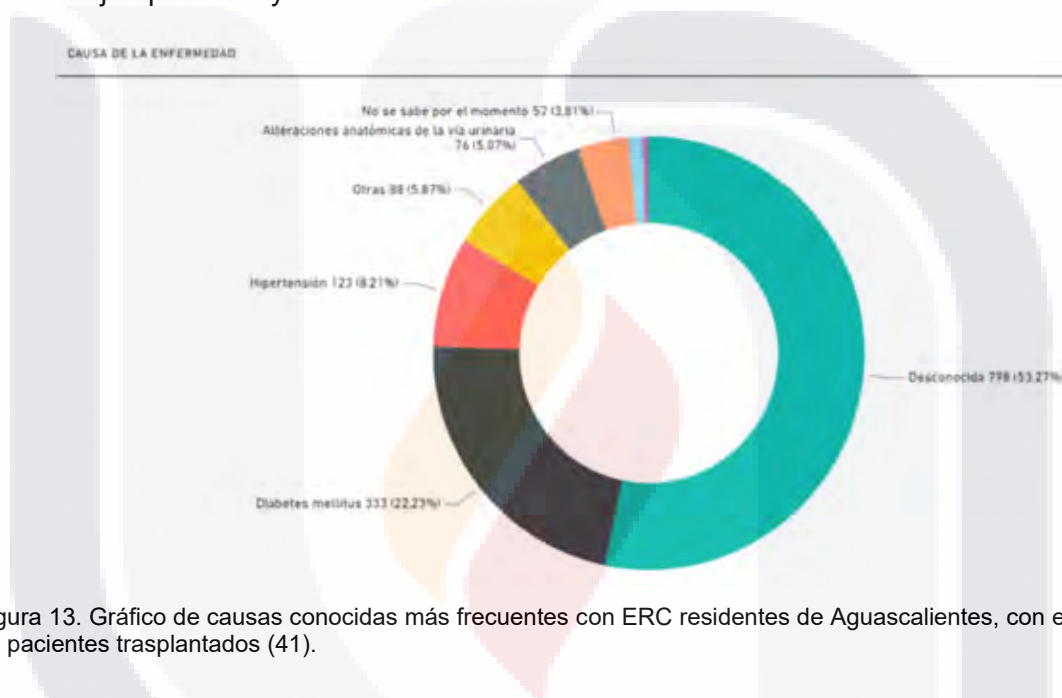


Figura 13. Gráfico de causas conocidas más frecuentes con ERC residentes de Aguascalientes, con exclusión de pacientes trasplantados (41).

Evidencia reciente ha documentado alteraciones estructurales renales en adolescentes con albuminuria persistente, como hipertrofia glomerular y volumen renal aumentado, cambios compatibles con una respuesta compensatoria secundaria a un decremento en la cantidad de nefronas iniciales, lo que es condicionado por un fenómeno que es parte de la teoría de la hiperfiltración glomerular. Factores prenatales como bajo peso al nacer, prematuridad, exposición a tóxicos ambientales (pesticidas) y condiciones maternas adversas (como desnutrición, obesidad, diabetes gestacional) pueden influir negativamente en la programación del número de nefronas funcionales, afectando la maduración y el volumen renal desde fases iniciales del desarrollo.

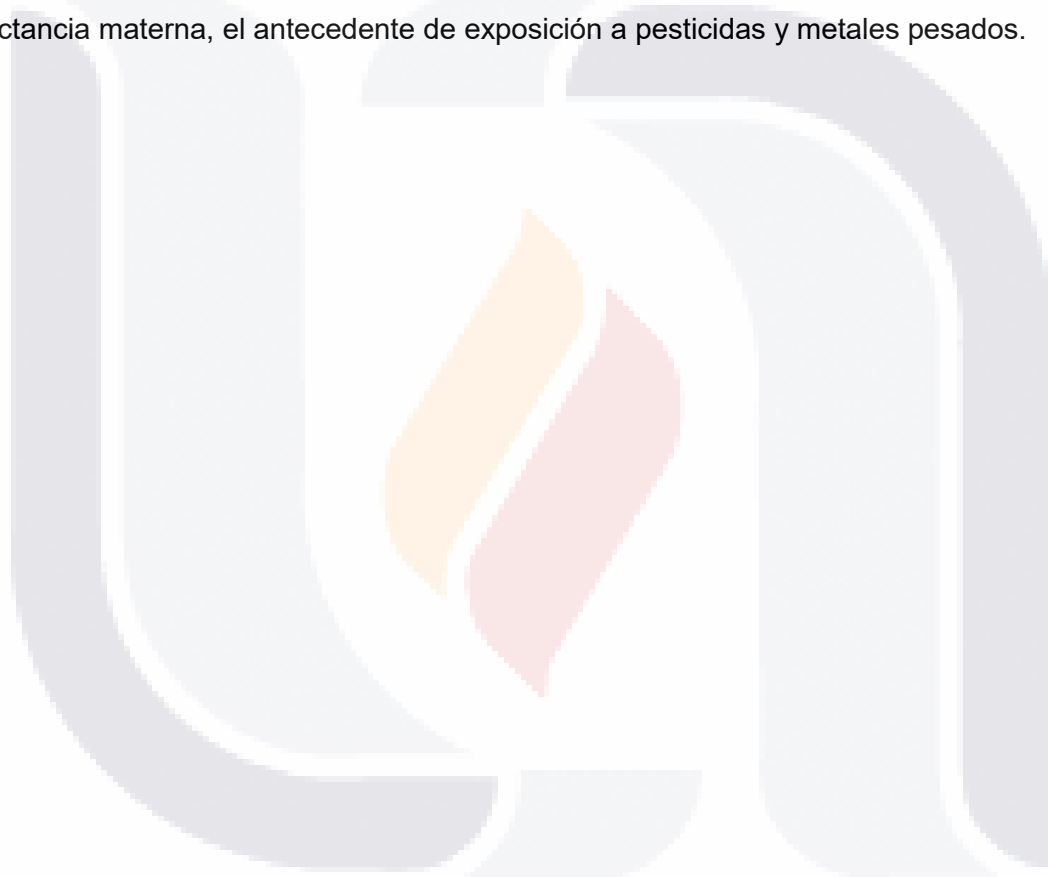
Por lo tanto, estudiar la relación entre el volumen renal estimado por ecografía en lactantes y su función renal, en conjunto con factores endógenos y exógenos, resulta crucial para comprender el origen temprano de la enfermedad renal crónica en nuestra

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

población. La identificación de marcadores de riesgo estructural en etapas tempranas permitiría establecer estrategias de prevención, diagnóstico y seguimiento más efectivas, y podría contribuir al entendimiento de la elevada carga de enfermedad renal en Aguascalientes y regiones con características epidemiológicas similares.

Hipótesis.

Los factores asociados a un menor volumen renal en lactantes del estado de Aguascalientes serán la talla baja, peso bajo, inadecuado grado de nutrición, ausencia de lactancia materna, el antecedente de exposición a pesticidas y metales pesados.



Objetivos.

Objetivo general.

Reconocer los factores que se correlacionan a un volumen renal disminuido en lactantes del estado de Aguascalientes.

Objetivos específicos.

- Comprobar la asociación que existe entre la tasa de filtrado glomerular y el volumen renal disminuido.
- Correlacionar que factores endógenos y exógenos se asocian con disminución en el volumen renal.
- Evaluar la ecografía como herramienta imagenológica para determinación de volumen renal bajo para superficie corporal total ($\leq p10$) compatible con hipoplasia renal en lactantes.

Tipo de estudio.

Es un estudio de cohorte prospectivo, correlacional, analítico; en nuestro se estudió se concentraron esfuerzos para describir los volúmenes renales de pacientes lactantes del estado de Aguascalientes, a los cuales se les realizó ecografías para valorar la relación del volumen renal disminuido con otras variables estudiadas previamente.

Descripción del universo de trabajo.

El universo de trabajo estará conformado por los lactantes a los que se les realizaron ecografías renales para estimar el volumen renal, en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo, que hayan formado parte de una segunda evaluación entre marzo del 2024 y marzo del 2025.

Criterios de inclusión.

Lactantes (mayores de 28 días de vida y menores de 2 años de edad) de ambos sexos con antecedente de estudio previo durante la edad neonatal de volumen renal determinado por ecografía y análisis de muestras en sangre, orina y líquido amniótico; vivir en Aguascalientes, ser paciente del hospital Centenario Hospital Miguel Hidalgo, acudir en el rango de edad a tomas de muestra de sangre y ecografía renal.

Criterios de eliminación.

Serán eliminados del estudio aquellos lactantes cuyos padres o tutores retiren el consentimiento informado durante el desarrollo del estudio, aquellos en quienes se detecte posteriormente una malformación renal congénita no identificada al inicio, o que presenten datos clínicos o ecográficos incompletos. También se eliminarán los casos en los que se detecten errores significativos en la recolección de datos que impidan su análisis.

Criterios de exclusión.

Se excluirán del estudio a los lactantes que presenten antecedentes de cirugía renal previa, monorenos, malformación renal congénita, síndromes genéticos con afectación renal, así como aquellos con registros médicos incompletos o sin estudios ecográficos disponibles. También se excluirán aquellos cuyos padres o tutores no otorguen el consentimiento informado y/o no lleven a los lactantes a consulta de segunda evaluación.

Tamaño de la muestra.

De marzo de 2024 a marzo de 2025, se reclutaron a 93 lactantes entre 28 días y dos años de edad que cumplieron los criterios de inclusión detallados en el apartado 4.3. Mediante la fórmula del cálculo de muestras para poblaciones finitas, considerando un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) y una potencia estadística del 80% ($\beta = 0.20$):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

N= total de pacientes reclutados = 93.

Z 2 = Nivel de confianza al 95% = 1.96.

p = Proporción aproximada del fenómeno del estudio: 0.50

q= Proporción de la población que no tiene el fenómeno de estudio (1-p) = .50

d= Nivel de precisión absoluto: 0.05.

A partir de la aplicación de esta fórmula, se determinó el tamaño de la muestra a 76 lactantes entre 28 días y 2 años que serán seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple.

Descripción de las variables del estudio.

Variable	Definición operacional	Unidad de medida	Escalas de medición
Género	Sexo biológico	No aplica	Cualitativa nominal
Edad	Tiempo transcurrido desde la fecha de nacimiento y el ahora.	Meses	Cuantitativa discreta
Peso	Masa corporal de un individuo para evaluar estado nutricional, crecimiento y salud general.	Kg	Cuantitativa continua
Talla	Medida de la altura, desde la base de los pies hasta la cabeza.	cm	Cuantitativa continua
Superficie corporal (SC)	Medida total del área externa del cuerpo humano.	m ²	Cuantitativa continua
Edad gestacional	Semanas de gestación estimadas al momento del nacimiento.	Semanas	Cuantitativa discreta
Lactancia materna exclusiva	Consumo exclusivo de leche materna sin otros líquidos o sólidos.	No aplica	Cualitativa dicotómica nominal (Sí / No)
Creatinina sérica	Producto de desecho presente en la sangre que es un indicador de la función renal.	Miligramos/decilitros.	Cuantitativa continua
Cistatina C	Concentración de cistatina C en suero como marcador de filtración glomerular.	Miligramos/decilitros.	Cuantitativa continua
Tasa de filtrado glomerular (TFG)	Volumen de fluido filtrado por unidad de tiempo desde los capilares glomerulares renales hacia el interior de la capsula de Bowman.	mL/ min/ 1.73 m2	Cuantitativa continua
Tasa de filtrado glomerular por cistatina c	Tasa de filtrado glomerular calculada por la fórmula	mL/ min/ 1.73 m2	Cuantitativa continua

	Bedside Schwartz, usando creatinina c.		
Tasa de filtrado glomerular por creatinina	Tasa de filtrado glomerular calculada por la fórmula Bedside Schwartz, usando creatinina.	mL/ min/ 1.73 m ²	Cuantitativa continua
Peso para la edad (percentil OMS)	Clasificación del peso con base en percentiles estandarizados OMS 2006.	%	Cuantitativa ordinal (categorizada)
Talla para la edad (percentil OMS)	Clasificación de la talla con base en percentiles OMS.	%	Cuantitativa ordinal (categorizada)
Estado nutricional (P/E)	Clasificación del estado nutricional según percentil (desnutrición / normal / exceso de peso)	No aplica	Cualitativa ordinal
Volumen renal determinado por área de superficie corporal (VRSCT)	Medida del tamaño total de los riñones, ajustado por la superficie corporal del individuo.	mL/m ²	Cuantitativa continua
Volumen renal	Cantidad de espacio tridimensional que ocupa un riñón.	cm ³	Cuantitativa continua
Pesticidas	Químicos usados para controlar plagas, incluyendo insectos, hongos, malezas y otras especies dañinas.	No aplica	Cualitativa nominal
Antecedentes heredofamiliares	Información en salud de los familiares cercanos.	No aplica	Cualitativa nominal
Toxicomanías	Trastorno por uso y abuso de sustancias estupefacientes.	No aplica	Cualitativa nominal
Hitos del desarrollo	Habilidades referencia para evaluar el progreso del desarrollo normal de un niño.	No aplica	Cualitativa nominal

Tabla 1.Descripción de variables del estudio.

Análisis estadístico propuesto.

Se aplicará un análisis univariado, en las variables continuas de distribución normal se utilizará media y desviación estándar, para las variables continuas de distribución no paramétrica se usarán mediana e intervalos intercuartilares. Se usará estadística descriptiva de acuerdo con el tipo de variable, en el caso de las variables continuas se valorará la distribución con la fórmula de Kolmogorov-Smirnov, la que me dirá si es distribución anormal o no paramétrica.

Las variables dicotómicas u ordinales se describen con frecuencias absolutas (n) y relativas (%).

Asimismo, se realizará un análisis multivariado mediante una regresión logística binaria, con el objetivo de identificar la asociación entre factores endógenos y exógenos con volumen renal disminuido para SCT ($\leq$ percentil 10) compatible con hipoplasia renal. El análisis se realizó utilizando un nivel de significancia de $p < 0.05$, y los resultados se interpretaron con base en el odds ratio, junto con sus respectivos intervalos de confianza al 95% (IC95%).

Finalmente, para evaluar la relación entre el volumen renal relativo y los parámetros de función renal (tasa de filtración glomerular estimada a partir de creatinina y cistatina C), se utilizarán pruebas de correlación. Se aplicará la correlación de Pearson si las variables presentan distribución normal y homogeneidad de varianza; en caso contrario, se utilizará la correlación de Spearman (Rho). Asimismo, se realizará una regresión lineal simple para explorar la posible capacidad predictiva del volumen renal sobre la función renal.

El procesamiento y análisis de datos se realizará utilizando Microsoft Word/Excel para la organización inicial y SPSS v.31 para los análisis estadísticos.

Capítulo III: Material, pacientes y métodos.

Técnica de recolección de datos.

El método utilizado para la recolección de datos fue a través de entrevista oral directa estructurada, en forma de entrevista clínica al momento de su consulta de seguimiento de niño sano. Además de medición directa de antropometría, así como toma muestras de sangre, por parte del equipo de médicos pasantes investigadores y enfermeras del Centenario Hospital Miguel Hidalgo.

Se contó con el apoyo de médicos residentes de imagenología diagnóstica y terapéutica del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, encargados de realizar las ecografías renales para la medición directa del volumen renal.

Procedimientos de la recolección de datos y descripción.

Parte de la realización de este proyecto de investigación necesito la asesoría y orientación de un médico especialista en imagenología, un médico especialista en investigación y en nefrología.

Se contó con el apoyo de médicos pasantes investigadores cursando su servicio social dentro del Centenario Hospital Miguel Hidalgo y médicos residentes de pediatría, encargados de realizar las entrevistas clínicas y las tomas de muestras sanguíneas; así como de médicos residentes de imagenología diagnóstica y terapéutica de 3° y 4° de la misma institución, encargados de realizar las ecografías renales.

El Centenario Hospital Miguel Hidalgo fungió como sede de nuestro estudio, ya que este cuenta con equipos de ultrasonido e instalaciones físicas necesarias, como lo son consultorios para atención médica y la toma de muestras, además de contar con un sistema de historias clínicas y laboratorio electrónicos, útil y necesario para la recolección de información para la investigación.

En el protocolo de investigación actual acudieron 93 pacientes en edad lactante. El resto de los pacientes no acudió a la consulta en la fecha programada, misma que fue agendada por vía telefónica con los padres y/o tutores, por lo que fueron excluidos del protocolo de investigación.

En los meses de marzo 2024-marzo 2025, pacientes pediátricos de la edad lactante acudieron a consulta de control del niño sano y que además estaban en seguimiento desde recién nacidos. Inicialmente los médicos pasantes les realizaron entrevistas clínicas a sus padres o tutores, toma de somatometría, así como pruebas serológicas a los mismos lactantes. Las tomas de muestras sanguíneas fueron tomadas en una sola

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

ocasión antes o después de la entrevista clínica, en uno o un par de intentos, se tomaron 0.5 ml para tubo morado pediátrico y 1 ml para tubo ámbar, con un volumen total de 1.5 ml, mismo que no excede al volumen sanguíneo máximo permitido que se puede extraer de forma segura en recién nacidos y lactantes, sin causar riesgos clínicamente significativos, como inestabilidad hemodinámica, anemia o aumento de la morbilidad. El consenso actual establece que el volumen sanguíneo máximo permitido para una sola extracción de sangre en neonatos y lactantes debe ser del 2.5% del volumen sanguíneo total, para fines clínicos y de investigación. El volumen sanguíneo total de un neonato a término y lactantes es de aproximadamente 80-100 ml/kg, por lo que el máximo seguro en una sola extracción es de aproximadamente 2-2.5 ml/kg (42).

Las muestras de laboratorio fueron conservadas y analizadas por el equipo de laboratorio con el método de química seca para la determinación de creatinina, química húmeda para el análisis de cistatina c y los pesticidas se determinaron mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a un espectrómetro de masas en tándem.

Los ultrasonidos renales fueron realizados por médicos residentes de 3° y 4° año de la especialidad de Imagenología diagnóstica y terapéutica (los que fueron previamente capacitados por médicos radiólogos certificados con amplia experiencia en anatomía ecográfica renal), para los que se utilizaron varios equipos de ultrasonido, de las siguientes marcas Fujifilm Arietta 65, con transductor convexo (modelo C253A); Philips Affiniti 70, con transductor convexo (C5-1); y ACUSON S1000 HELX Evolution, con transductor convexo (modelo 6C2), todos ellos con resiente y periódica calibración. El lactante por evaluar debe estar tranquilo, en acompañamiento de sus padres o tutores, para reducir la ansiedad y el miedo, y así minimizar el movimiento, en posición decúbito supino y lateral dependiendo del riñón a estudiar. La evaluación ecográfica fue realizada con preset renal, modificando manualmente la profundidad y magnificación de la imagen en el ultrasonido hasta que el riñón abarque al menos el 50% de lo visible en la pantalla, optimizando el contraste de la imagen acorde a la ecogenicidad de los tejidos modificando las ganancias, obteniendo imágenes de ambos riñones en eje longitudinal (sagital), en donde se evaluara la longitud renal en el eje mayor del riñón; y transversal (axial) midiendo a nivel del hilio renal el eje anteroposterior y transversal del riñón, colocando el calibrador en los bordes externos de las caras correspondientes, para el posterior cálculo de volumen en ambos riñones, para los mismos se realizaron los respectivos registros. Para reducir el sesgo de medición, se implementó un procedimiento de cegamiento simple

del operador donde las mediciones para determinación del volumen renal fueron realizadas sin tener acceso previo a información clínica del paciente (historia clínica previa y resultados de análisis sanguíneo).

El cálculo del volumen renal se realizó empleado la formula elipsoide: $V = (4/3) \pi abc$, donde a, b y c son los ejes longitudinal, anteroposterior y transversal respectivamente.

Posteriormente se realizó la determinación del área de superficie corporal que es una determinación del área de superficie de un cuerpo humano calculado con la fórmula de Dubois: $SCA (m^2) = 0.007184 * \text{peso corporal (kg)}^{0.425} * \text{altura corporal (cm)}^{0.725}$.

Finalmente se realizó el cálculo y determinación del volumen renal ajustado por área de superficie corporal, que se obtiene dividiendo el volumen renal entre el área de superficie corporal.

Los datos fueron registrados en formatos específicos para la recolección de información específicamente para este proyecto.

Instrumento de recolección de datos.

Se utilizó el formato para el registro de los datos la tabla de “historia clínica de los lactantes” y de el “volumen renal por ecografía en pacientes lactantes”, donde se recolectaron los datos necesarios para el proyecto de investigación, previamente elaborado por los investigadores de este estudio, tomando como base las variables requeridas para el mismo.

Descripción de los procedimientos.

Previo autorización por parte del comité de ética del Centenario Hospital Miguel Hidalgo, se continuo con el seguimiento de los pacientes pediátricos previamente evaluados en otra etapa de la investigación, cuando se encontraban en la edad neonatal, ahora en edad lactante, los que acudieron a control del niño sano, se realizaron entrevistas clínicas a sus padres o tutores por parte de médicos pasantes investigadores cursando su servicio social dentro del Centenario Hospital Miguel Hidalgo y médicos residentes de pediatría, así como la toma de somatometría y pruebas serológicas los lactantes, que incluyeron determinación de creatinina, cistatina, BUN, urea, microalbumina, albumina, hierro, ferritina, CO₂ venoso, hemoglobina y la presencia de pesticidas (Dimetoato, picloram, metoxuron, ametrina, carbofuran fipronil, atrazina, dinotefurán, tiabendazol, oxandrolona, carbendacima, meclizina, molinate, metomilo, emamectina, glifosato, tiaclopid, ampa, lambda cialotrina, tiametoxam, clotianidina, ácido 2,4-diclorofenoxiacético, piraclostrobina,

imidacloprid, malatión, imazalil, diazinón y clorpirifos). Las muestras de laboratorio fueron conservadas y analizadas por el equipo de laboratorio con el método de química seca para la determinación de creatinina, química húmeda para el análisis de cistatina c y los pesticidas se determinaron mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a un espectrómetro de masas en tándem.

En el mismo día de la consulta, médicos residentes de imagenología diagnóstica y terapéutica de 3° y 4° año de la misma institución, fueron los encargados de realizar las ecografías renales. Se utilizaron varios equipos de ultrasonido, de las siguientes marcas Fujifilm Arietta 65, con transductor convexo (modelo C253A); Philips Affiniti 70, con transductor convexo (C5-1); y ACUSON S1000 HELX Evolution, con transductor convexo (modelo 6C2). Se realizó la exploración sonográfica renal en los lactantes en decúbito supino y lateral respectivamente al riñón a evaluar. Se recolectaron las dimensiones en longitud, diámetro anteroposterior y transversal (los dos últimos medidos a nivel del hilio), para el posterior cálculo de volumen en ambos riñones.

El cálculo del volumen renal se realizó empleando la fórmula elipsoide: $V = (4/3) \pi abc$, donde a, b y c son los ejes longitudinal, anteroposterior y transversal respectivamente, los últimos dos medidos al nivel del hilio renal.

Posteriormente se realizó la determinación del área de superficie corporal de cada infante, calculado con la fórmula de Dubois: $SCA (m^2) = 0.007184 * \text{peso corporal (kg)}^{0.425} * \text{altura corporal (cm)}^{0.725}$.

En conjunto con los datos obtenidos previamente, se realizó el cálculo y determinación del volumen renal ajustado por área de superficie corporal, que se obtiene dividiendo el volumen renal entre el área de superficie corporal.

Los datos fueron registrados en formatos específicos para la recolección de información específicamente para este proyecto.

Después de la recolección de datos, se ingresaron las variables en el programa de análisis estadístico (Stata versión 14), para convertir los datos obtenidos en estadísticas epidemiológicas y herramientas gráficas, como lo son tablas y diagramas, para la mejor comprensión y resumen de la información obtenida.

Las variables fueron analizadas de manera individual y además se buscaron asociaciones entre estas variables, para finalizar con el análisis de resultados y la presentación del proyecto.

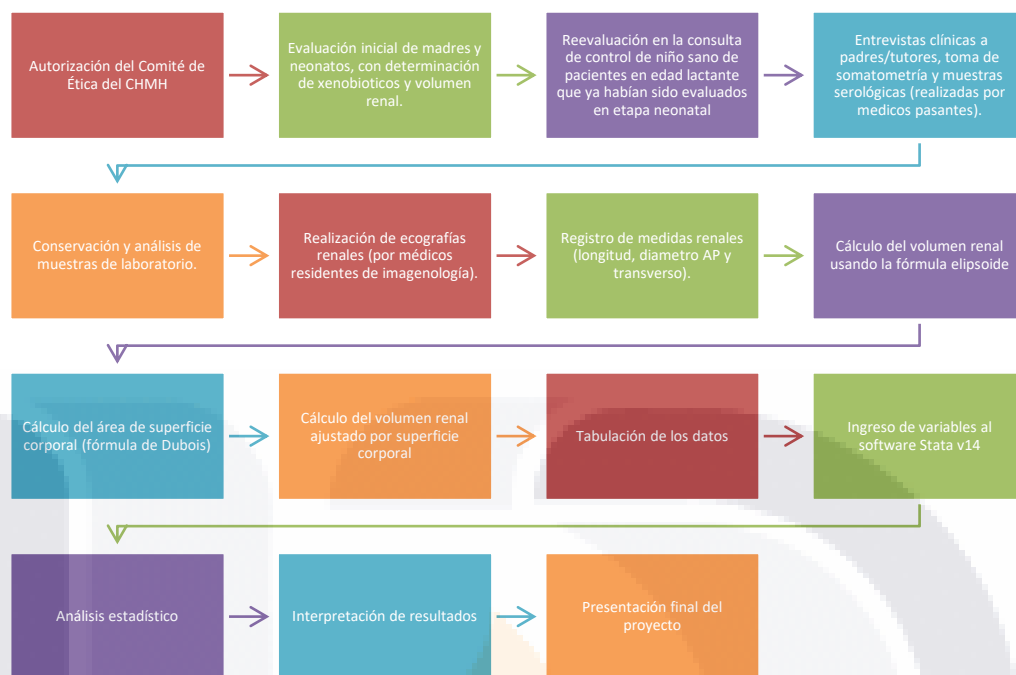


Figura 14. Diagrama de flujo de los procedimientos realizados en el protocolo en orden cronológico.

Cronograma.

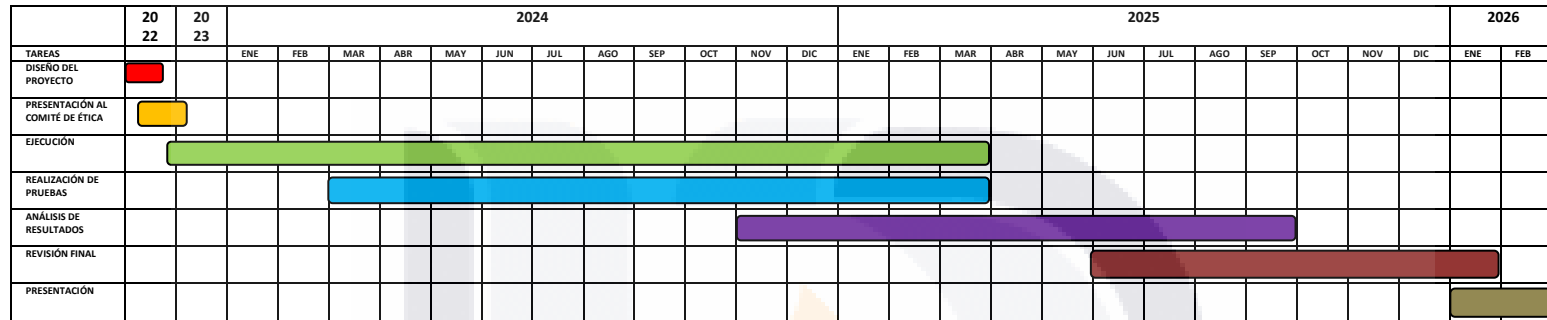


Tabla 2. Cronograma de los procedimientos realizados en el protocolo de investigación.

Recursos humanos.

NOMBRE DEL PARTICIPANTE	FUNCIONES DENTRO DEL PROTOCOLO
Médicos residentes de imagenología del CHMH.	Realización de ecografías renales.
Médicos pasantes del servicio social del CHMH.	Toma de somatometría y muestras serológicas. Tabulación de los datos.
Médicos residentes de pediatría del CHMH.	Reevaluación en la consulta de niño sano con entrevistas clínicas a padres/tutores de los lactantes.
Laboratoristas clínicos y químicos del CHMH.	Procesamiento de las muestras serológicas.

Tabla 3. Recursos humanos que participaron en el protocolo de investigación.

Recursos materiales.

- Equipos de ultrasonido, de las siguientes marcas Fujifilm Arietta 65, con transductor convexo (modelo C253A); Philips Affiniti 70, con transductor convexo (C5-1); y ACUSON S1000 HELX Evolution, con transductor convexo (modelo 6C2).
- Cama de exploración.
- Computadora.
- Equipo para antropometría del CHMH (con aprobación previa).
- Consultorios externos del CHMH (con aprobación previa).
- Laboratorio del CHMH (con aprobación previa).

Capítulo IV: Resultados.

Generalidades.

En la presente investigación participaron 93 lactantes entre los 12 ($I_i=12$) y 17 ($I_s=17$) (tabla 4, figura 15) meses de edad que formaron parte de un estudio previo publicado por De Santiago, K. V. et al (2024). Con la aprobación de los tutores al acudir a la evaluación subsecuente del producto, y mediante un muestro probabilístico aleatorio, se consideraron 76 lactantes ($n=76$) en igualdad de proporción por sexo para analizar la relación entre el volumen renal absoluto ajustado a la superficie corporal (VRSCT) con antecedentes del pre y postnatales. Se encontró que la mediana de edad en la muestra fue de 12 meses ($Mdn=12$, RIQ: 12 – 13) (tabla 5) y el 35.5% de los lactantes estaba recibiendo lactancia materna exclusiva ($n=27$, 35.5%) (tabla 5).

Asimismo, se observó que el promedio de semanas de gestación fue de 39.91 ($\bar{x}=39.01$ semanas, D.E. ± 1.47 semanas) (tabla 4), en un rango entre 36 ($I_i=36$) y 43 ($I_s=43$) semanas, siendo la número 40 la más común de la muestra ($Mo=40$, 25.5%). Considerando que el interrogatorio de los antecedentes heredofamiliares contempló hasta el segundo grado, se encontró que el cáncer fue la condición crónica más común ($n=26$, 34.2%) (tabla 4, figura 16), seguida de la diabetes ($n=22$, 28.9%) (tabla 4, figura 16). La enfermedad renal crónica (ERC) ocupó el tercer puesto al presentarse en el 26.3% de los casos ($n=20$, 26.3%) (tabla 4, figura 16).

Respecto a los antecedentes clínicos de exposición a sustancias químicas de la madre y del ambiente, 22 lactantes ($n=22$, 28.9%) (tabla 4, figura 17) se expusieron al consumo del alcohol durante el periodo de gestación, mientras que el 22.4% ($n=17$, 22.4%) (tabla 4, figura 17) a más de dos drogas. El desarrollo gestacional del 11.8% ($n=9$) de los lactantes estuvo influido por la exposición de pesticidas (tabla 4).

Antecedentes clínicos y heredofamiliares		
Variable	Frecuencia (<i>fr</i>)	Porcentaje (%)
SDG ($\bar{x} = 39.01$, D.E. ± 1.47)		
Antecedentes heredofamiliares		
Diabetes mellitus	22	28.9%
Hipertensión arterial	5	6.6%
Cáncer	26	34.2%
Enfermedad renal crónica	20	26.3%
Neurológicas	12	15.8%
Alergias	13	17.1%
Exposición a sustancias tóxicas		
Alcohol	22	28.9%
Tabaco	16	21.1%
≥ 2 drogas	17	22.4%
Pesticidas	4	5.3%

Tabla 4. Distribución de frecuencias y porcentajes de los antecedentes clínicos y heredofamiliares de la muestra de 76 lactantes. Elaboración propia.

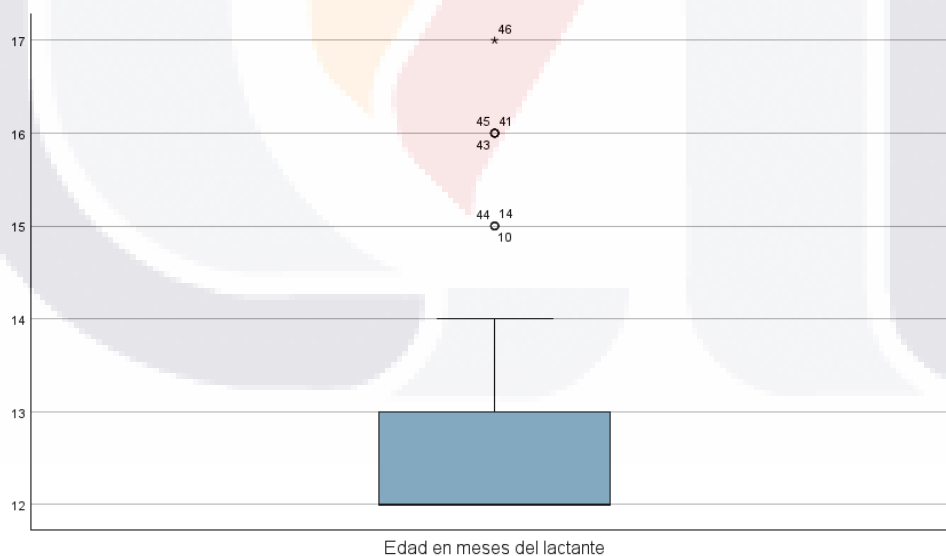


Figura 15. Diagrama de caja que exhibe valores atípicos y extremos respecto a la mediana de la muestra de 76 lactantes. Exportado de SPSS, versión 31.

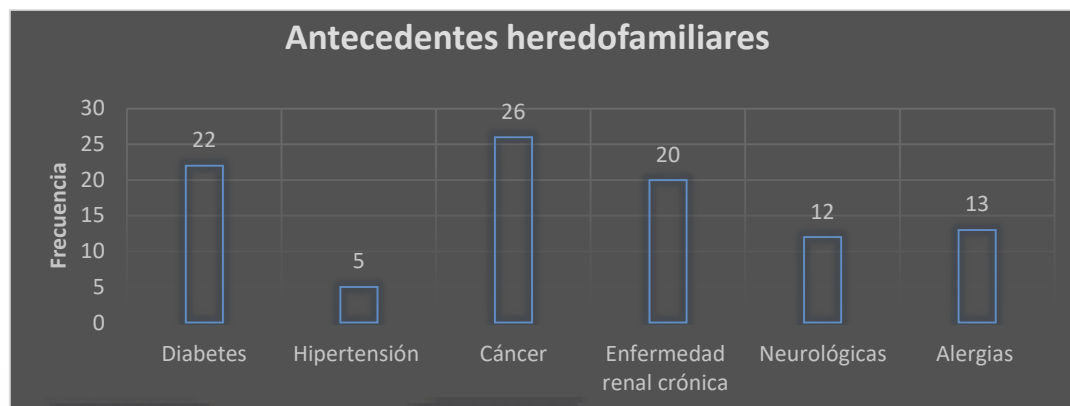


Figura 16. Distribución de frecuencias y porcentajes de los antecedentes heredofamiliares. Elaboración propia.

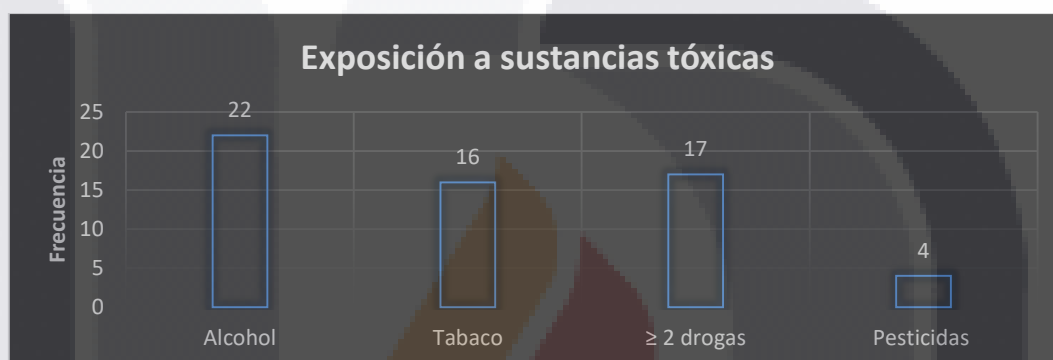


Figura 17. Distribución de frecuencias y porcentajes de la exposición de sustancias tóxicas. Elaboración propia.

Durante la evaluación subsecuente de los productos –clasificados como lactantes por la etapa del desarrollo en la que se encontraban–, considerando los rangos de edad que presentaron ($I_i=12$ y $I_s=17$), la mediana del peso fue de 9.76 kg ($Mdn=9.75$, RIQ: 9 – 10.38) (tabla 5, figura 18).

Al transformar la medida antropométrica a puntuaciones Z (z scores) e interpretadas en percentiles con base en los parámetros de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 2006, se observó que el 94.7% ($n=72$, 94.7%) de la muestra se ubicó en el percentil 3 – 97 (P3 – P97) (tabla 5). Esta interpretación fue similar en la variable de talla ($\bar{x}=76.31$ cm, D.E. ± 3.47 cm) (tabla 5), donde el 90.8% ($n=69$) de los lactantes estaba dentro del rango percentil (P3 – P97) (tabla 5).

Al realizar el mismo ejercicio en los parámetros de Peso ajustado a la Edad (P/E) de la OMS, se encontró un caso único de un lactante en estado de desnutrición ($<P15$, $n=1$, 1.4%), mientras que una tercera parte de la muestra (30.3%, $n=23$) (tabla 5, figura 21) estaban en el rango normal de P/E. Las dos clasificaciones superiores (sobrepeso y

obesidad de acuerdo con P/E) restantes se agruparon en una categoría que fue definida como “exceso de peso”, que consideró los valores superiores del percentil 85 (>P85), que alcanzó una representación del 68.4% (n=52) (tabla 5, figura 21).

Datos biométricos y nutricionales actuales		
Variable	Frecuencia (<i>fr</i>)	Porcentaje (%)
Edad (Mdn=12 meses, RIQ: 12 – 13 meses)		
Peso (Mdn=9.76 kg, RIQ: 9 – 10.38 kg)		
Peso bajo para la edad (P-0.1 - P<3)	2	2.6%
Peso adecuado para la edad (P3 – P97)	72	94.7%
Peso elevado para la edad (P97 – P99)	1	1.3%
Obesidad (P99)	1	1.3%
Talla ($\bar{x}$ = 76.31 cm, D.E. $\pm$ 3.47 cm)		
Talla muy baja (<P0.1)	1	1.3%
Talla baja (P0.1 – < P3)	3	3.9%
Talla normal (P3 – P97)	69	90.8%
Peso muy elevado para la edad (>P97)	3	3.9%
Estado de nutrición		
Desnutrición (<P15)	1	1.3%
Normal (P15 – P85)	23	30.3%
Exceso de peso (>P85)	52	68.4%
Lactancia materna exclusiva		
Sí	27	35.5%
No	39	64.5%
Superficie corporal ($\bar{x}$ = 0.45 m ² , D.E. $\pm$ 0.037 m ²)		

Tabla 5. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas antropométricas e indicadores nutricionales de la muestra de 76 lactantes. Elaboración propia.

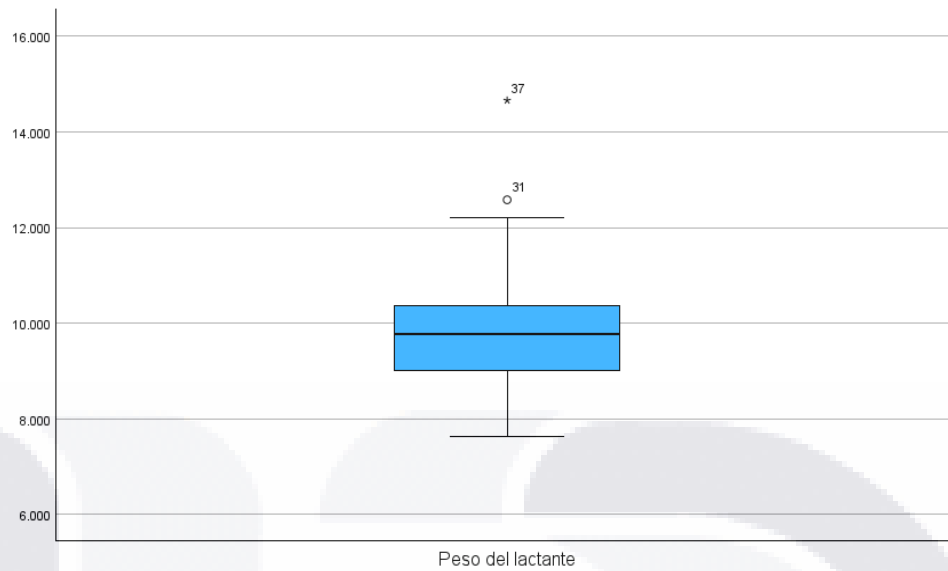


Figura 18. Diagrama de caja que exhibe valores atípicos y extremos respecto a la mediana del peso de la muestra de 76 lactantes. Exportado de SPSS, versión 31

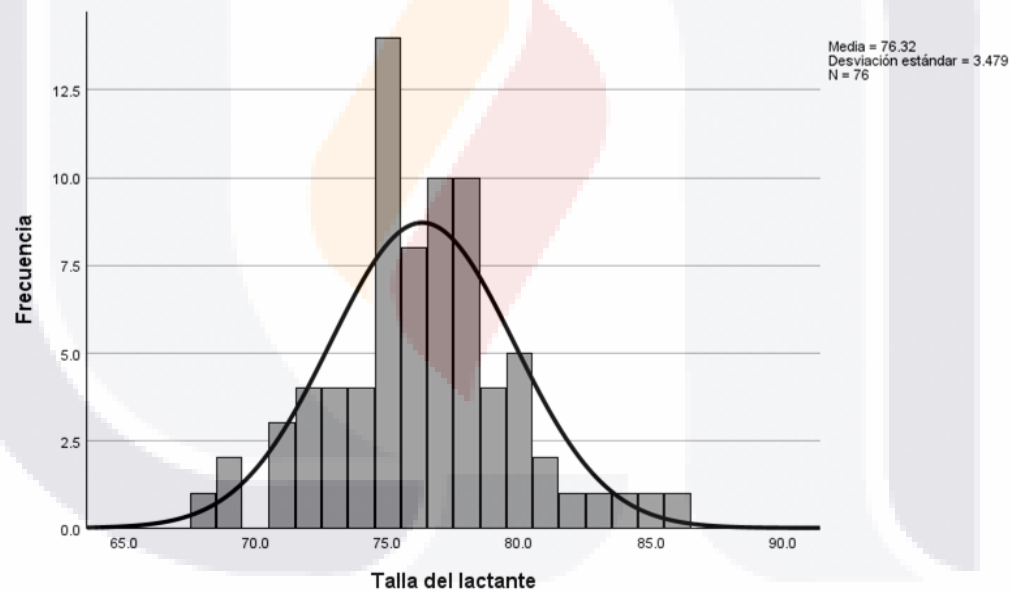


Figura 19. Histograma exportado de SPSS, versión 31.

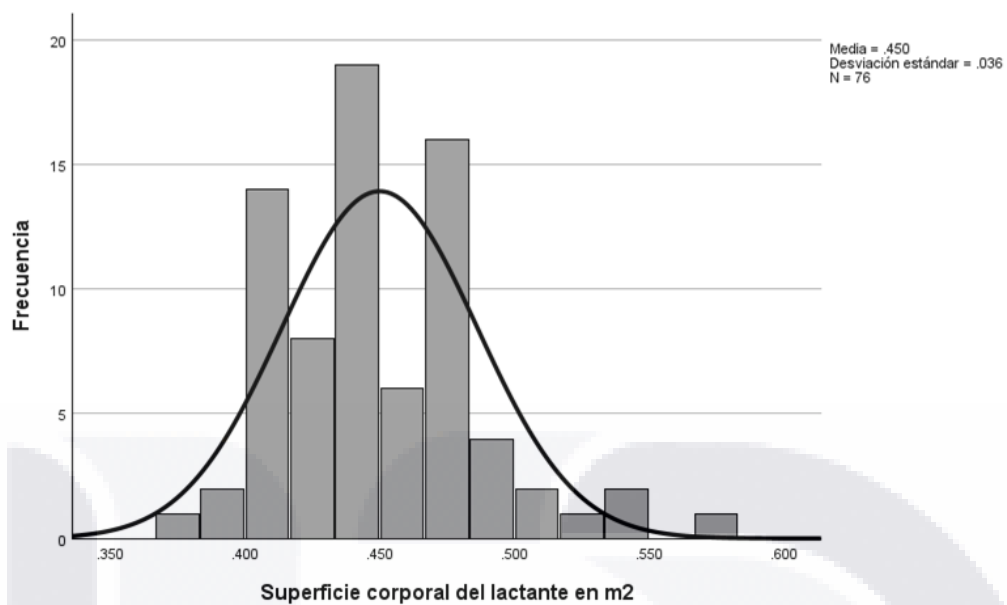


Figura 20. Histograma exportado de SPSS, versión 31.

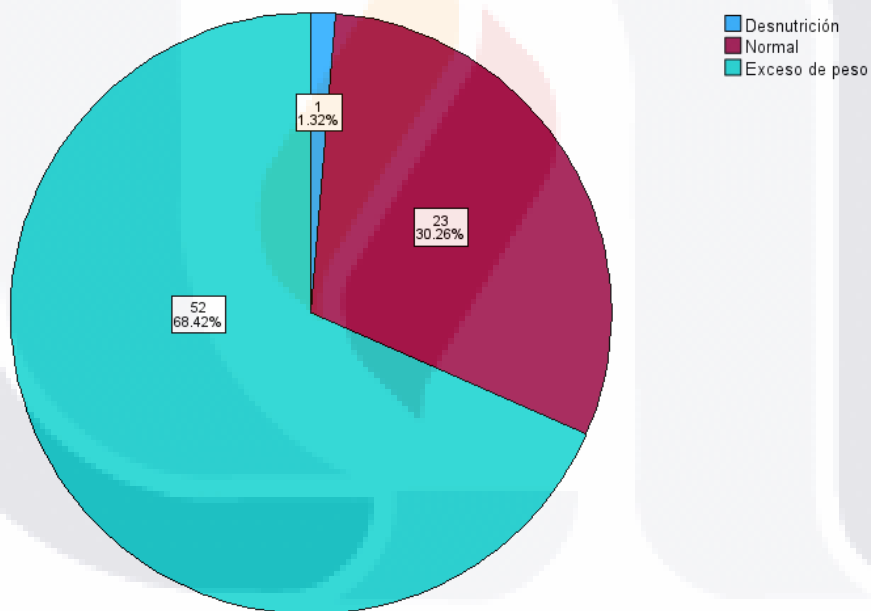


Figura 21. Diagrama de pastel que exhibe la distribución y frecuencia del estado nutricional de los lactantes, basado en la interpretación de los percentiles del cálculo P/E de la OMS. Exportado de SPSS, versión 31.

Riñón.

Respecto a las medidas de los diferentes ejes renales, se encontró que el volumen relativo del riñón izquierdo fue de 24.58 mm³ ($\bar{x}$ = 24.58 mm³, D.E. $\pm$ 6.27 mm³) (figura 22), concentrando al 26.3% de la muestra en el percentil igual o menor a 10 ($P \leq 10$ = n=20, 26.3%). El volumen relativo del riñón derecho fue de 24.96 mm³ ($\bar{x}$ = 24.96 mm³, D.E. $\pm$ 6.57 mm³) (figura 22), con una prevalencia menor de “volumen relativo bajo” que su contraparte ($P \leq 10$ = n=16, 21.1%). Finalmente, se observó que el promedio del volumen renal respecto a la superficie corporal fue de 109.12 ($\bar{x}$ = 109.12 mm³, D.E. $\pm$ 22.49 mm³) (figura 26). El 35.5% (n=27) de los lactantes presentaron un volumen renal bajo de acuerdo con la superficie corporal. Las longitudes de las localizaciones restantes se encuentran resumidas en las tablas 6 y 7 y representadas en las figuras 23 – 25.

Medida de tendencia central		Ejes renales anatómicos (izquierdo)		
	Volumen relativo (mm ³)	Eje longitudinal (mm)	Eje antero-posterior (mm)	Eje transverso (mm)
(Mdn, RIQ/ $\bar{x}$ /D.E.)	$\bar{x}$ = 24.58 mm ³ , D.E. $\pm$ 6.27 mm ³ .	$\bar{x}$ = 58.11 mm, D.E. $\pm$ 5.54 mm.	$\bar{x}$ =28.15 mm, D.E. $\pm$ 3.18 mm.	$\bar{x}$ =27.78 mm, D.E. $\pm$ 3.33 mm.

Tabla 6. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas de los ejes renales izquierdos de la muestra de 76 lactantes. Elaboración propia.

Medida de tendencia central		Ejes renales anatómicos (derecho)		
	Volumen relativo (mm ³)	Eje longitudinal (mm)	Eje antero-posterior (mm)	Eje transverso (mm)
(Mdn, RIQ/ $\bar{x}$ /D.E.)	$\bar{x}$ = 24.96 mm ³ , D.E. $\pm$ 6.57 mm ³ .	$\bar{x}$ = 56.59 mm, D.E. $\pm$ 6.36 mm.	$\bar{x}$ = 28.77 mm, D.E. $\pm$ 4.39 mm.	$\bar{x}$ = 28.72 mm, D.E. $\pm$ 3.30 mm.

Tabla 7. Distribución de frecuencia y porcentajes de las medidas de los ejes renales derechos de la muestra de 76 lactantes. Elaboración propia.

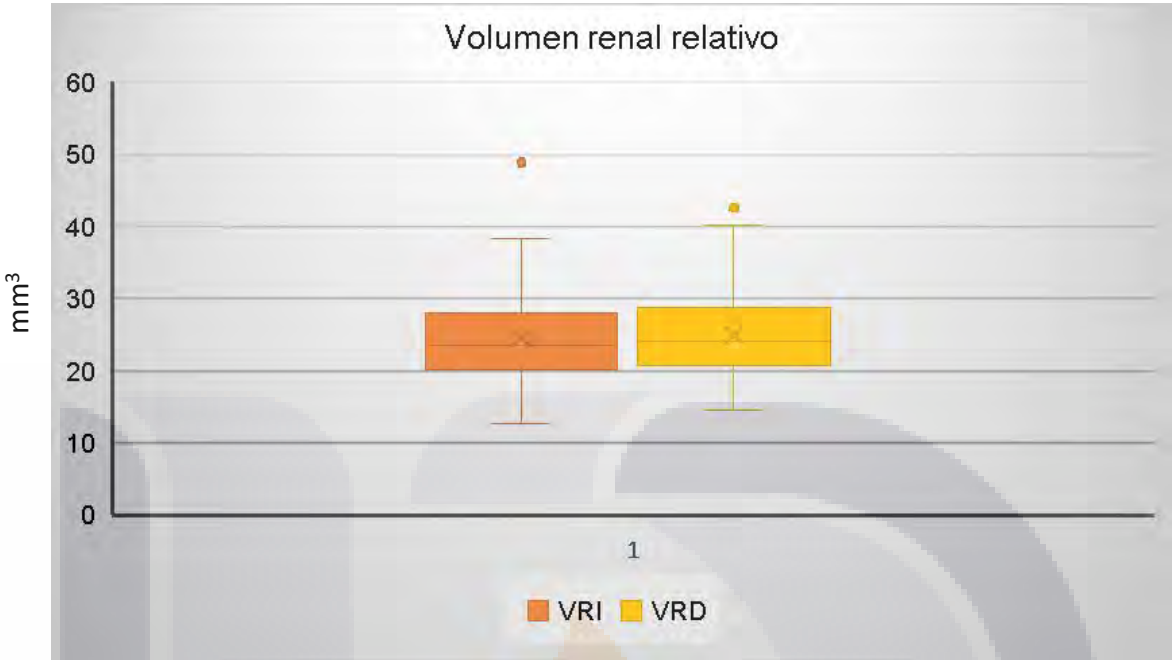


Figura 22. Diagrama de caja del volumen renal relativo en mm3 bilateral (izquierdo: Mdn=23.55 mm3, RIQ: 20.09 – 27.95 mm; derecho: 24.15 mm3, RIQ: 20.77 – 28.77 mm). Elaboración propia.

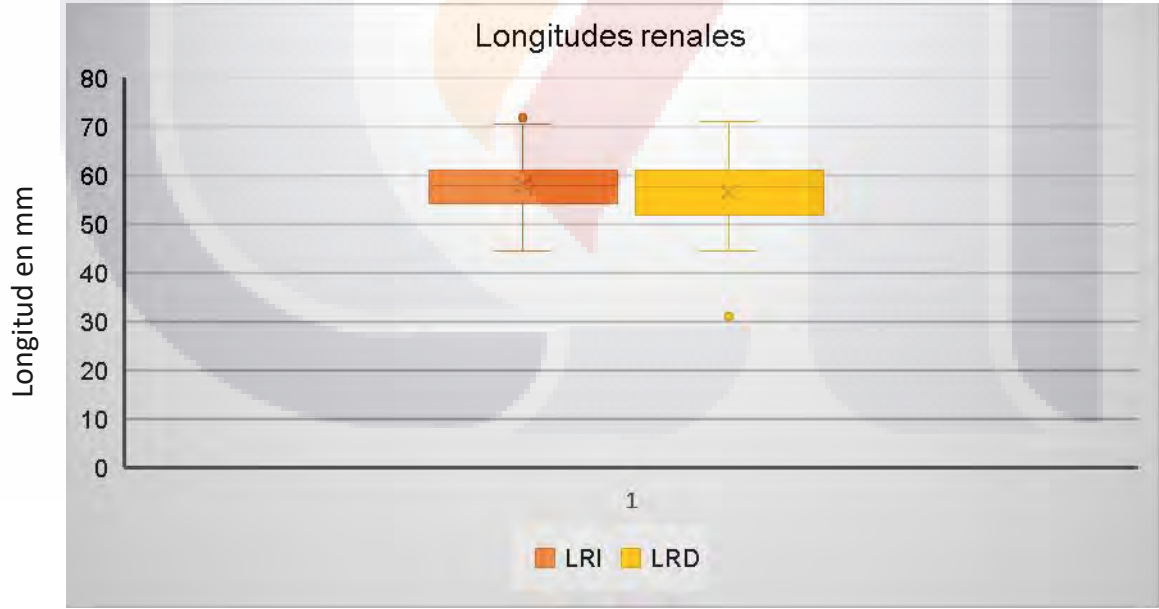


Figura 23. Diagrama de caja respecto a la longitud de los riñones bilateralmente (izquierdo: Mdn=57.90 mm, RIQ: 54.25 – 61 mm; derecho: 57.55 mm, RIQ: 51.85 – 61 mm). Elaboración propia.

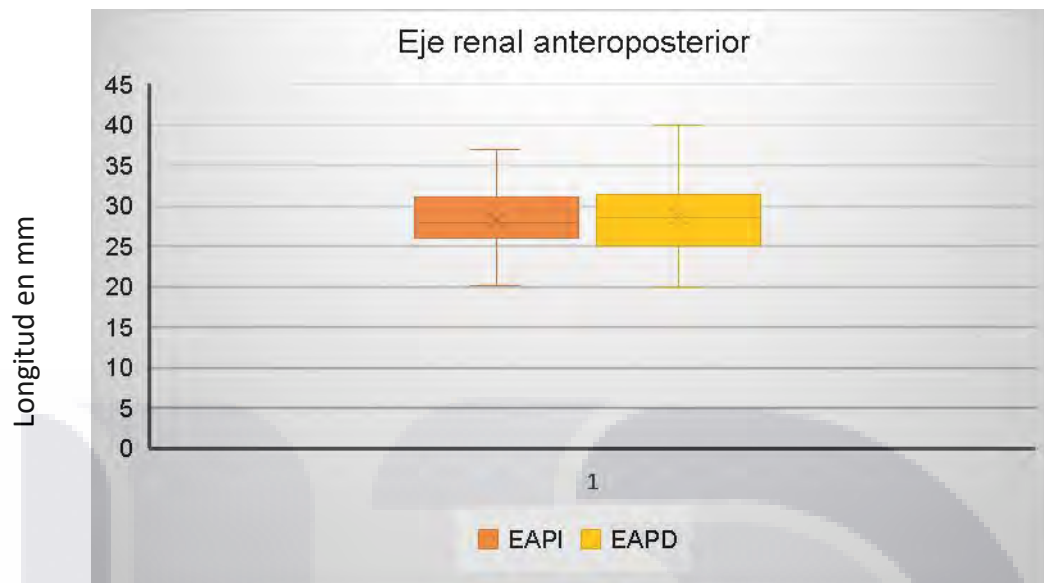


Figura 24. Diagrama de caja del eje anteroposterior de ambos riñones (izquierdo: Mdn=27.84 mm, RIQ: 26 – 31 mm; derecho: 28.45 mm, RIQ: 25.02 – 31.37 mm). Elaboración propia.

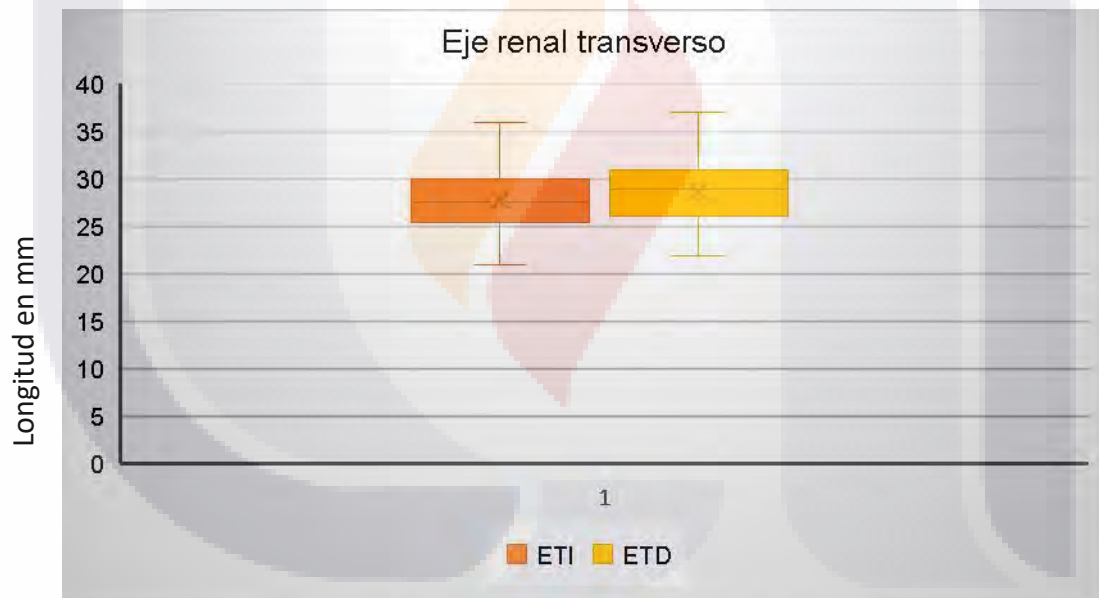


Figura 25. Diagrama de caja del eje transverso de ambos riñones (izquierdo: Mdn=27.60 mm, RIQ: 25.47 – 30 mm; derecho: 29 mm, RIQ: 26.07 – 31 mm). Elaboración propia.

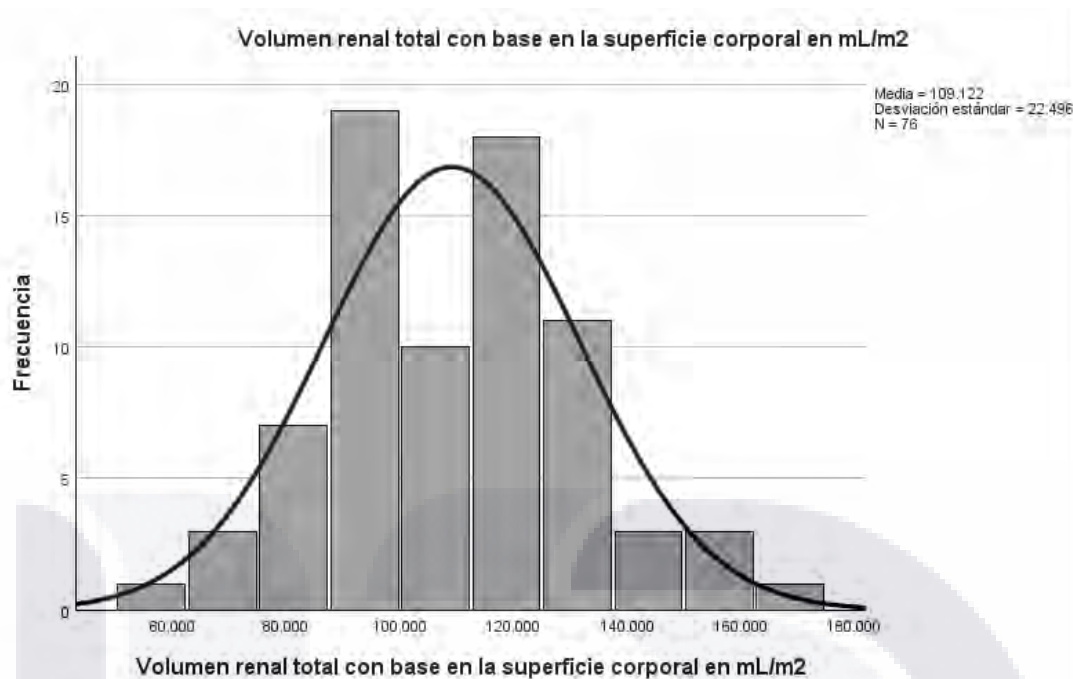


Figura 26. Histograma exportado de SPSS, versión 31.

Respecto a los parámetros de funcionamiento renal, se observó que los valores de Creatinina (Cr) ($\bar{x} = 0.26$ mg/dL, D.E. ± 0.052 mg/dL, $I_i=0.20$, $I_s=0.40$) (tabla 8) y Cistatina C ($\bar{x} = 0.90$ mg/dL, D.E. ± 0.16 mg/dL, $I_i=0.65$, $I_s=1.35$) (tabla 8) estaban dentro de la normal, al igual que las tasas de filtración glomerular considerando la Cr ($\bar{x} = 128.03$ mL/min/1.73 m², D.E. ± 27.41 mL/min/1.73 m²) (tabla 8, figura 27) y CysC ($\bar{x} = 142.11$ mL/min/1.73 m², D.E. ± 34.19 mL/min/1.73 m²) (tabla 8, figura 28).

Medida de tendencia central	Parámetros de función renal			
	Creatinina	Cistatina C	TFG de Creatinina en mL/min/1.73 m ²	TFG de Cistatina C en mL/min/1.73 m ²
(Mdn, RIQ/ $\bar{x}$ /D.E.)	$\bar{x} = 0.26$ mg/dL, D.E. ± 0.052 mg/dL	$\bar{x} = 0.90$ mg/dL, D.E. ± 0.16 mg/dL	$\bar{x} = 128.03$ mL/min/1.73 m ² , D.E. ± 27.41 mL/min/1.73 m ²	$\bar{x} = 142.11$ mL/min/1.73 m ² , D.E. ± 34.19 mL/min/1.73 m ²

Tabla 8. Tendencia central y dispersión de los parámetros de funcionamiento renal. Elaboración propia.

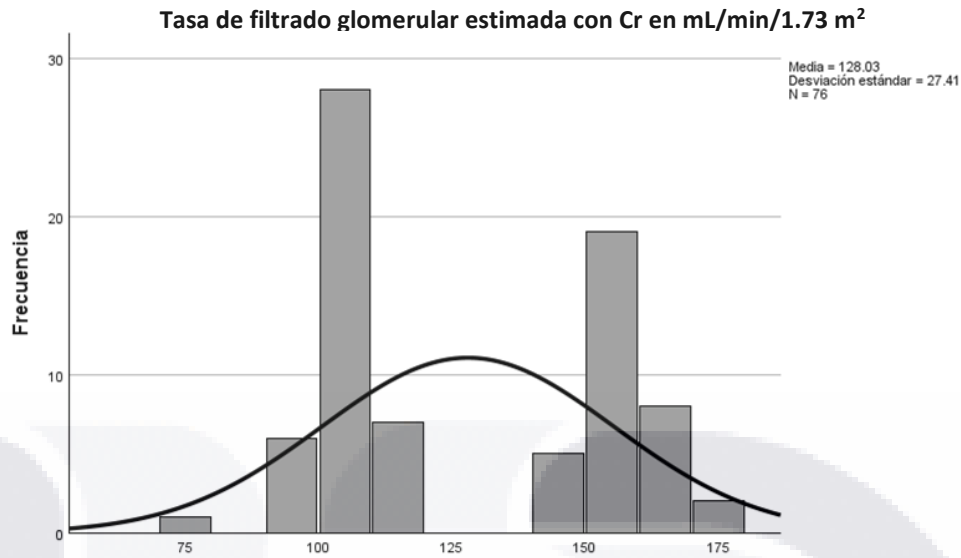


Figura 27. Histograma exportado de SPSS, versión 31.

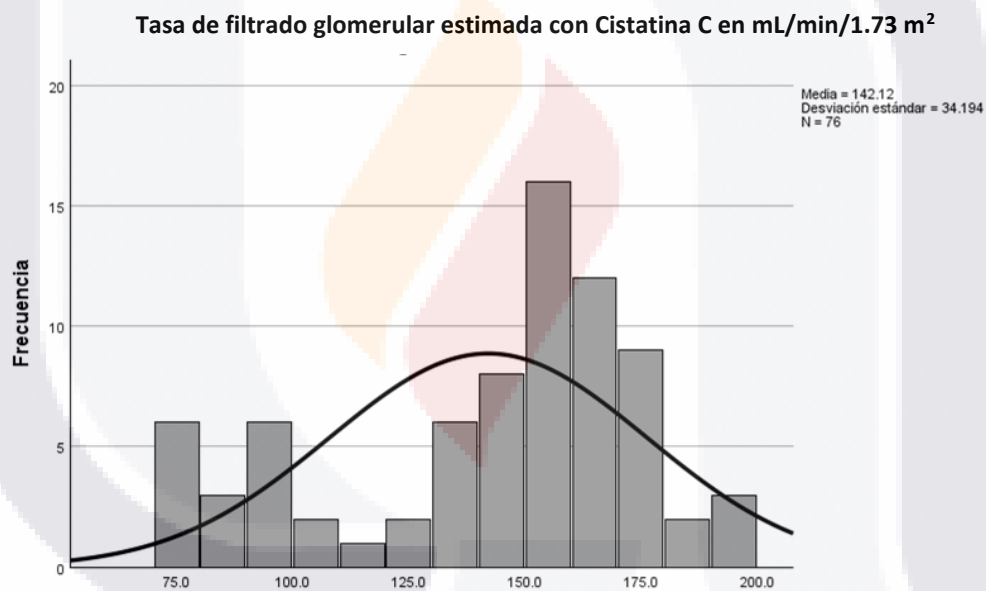


Figura 28. Histograma exportado de SPSS, versión 31.

Este estudio aplicó tres fases de análisis. La primera consistió en determinar si el volumen renal –codificado mediante una variable dicotómica de acuerdo con los percentiles publicados por Alcalde-Ortiz et al (2023), donde 0 = volumen renal disminuido ($P \leq 10$) y 1 = volumen renal adecuado ($P > 11$) – guardaba relación con factores endógenos y exógenos del desarrollo como el peso actual – codificado mediante una variable dicotómica de acuerdo con los percentiles de la OMS (0 = peso bajo [$P_{0.1} - P_{<3}$] y 1 = peso adecuado [$P_3 - P_{99}$]), talla adecuada actual (0 = talla baja [$P_{0.1} - P_{<3}$] y 1 = talla adecuada [$P_3 - P_{99}$]), lactancia materna exclusiva (0 = no y 1 = sí), antecedentes

exógenos como la exposición de pesticidas y metales pesados (0 = no y 1 = sí), así como de tabaco (0 = no y 1 = sí) y de alcohol (0 = no y 1 = sí) mediante una regresión logística binaria.

Se prescindió de analizar la relación de las variables independientes individualmente (p. ej. Volumen renal y lactancia materna exclusiva [0 = no y 1 = sí]) para evitar sesgos y mantener la congruencia con el objetivo general. No se encontró significancia estadística en la interacción de las variables en el modelo (tabla 9). Para realizar los dos análisis restantes, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov por el número de participantes que constituyó la muestra (n=76) para determinar la normalidad de las siguientes variables cuantitativas en la tabla 10.

Variable	Exp (b)	IC95% para exp (b)	P valor
Pesticidas	1.118	0.252 – 4.948	0.641
Lactancia exclusiva	0.892	0.325 – 2.460	0.971
Peso	error	0.000	1.000
Talla	1.729	0.217 – 13.789	0.703
Alcoholismo	1.039	0.333 – 3.242	0.948
Tabaquismo	0.494	0.146 – 1.673	0.257

Tabla 9. Resultados de la interacción de las variables independientes en el modelo de regresión logística binaria. Elaboración propia.

Variable	Estadístico K-S	gl	P valor	Interpretación
Volumen renal de acuerdo con la superficie corporal (variable independiente).	0.187	76	0.809	Los datos siguen una distribución normal.
Tasa de filtración glomerular (TFG) respecto al valor de Creatinina (variable dependiente).	0.245	76	<0.001	Los datos no siguen una distribución normal.
Tasa de filtración glomerular (TFG) respecto al valor de Cistatina C (variable dependiente).	0.065	76	<0.001	Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 10. Pruebas de normalidad de variables de variables cuantitativas del subanálisis de la relación entre volumen y funcionamiento renales. Elaboración propia.

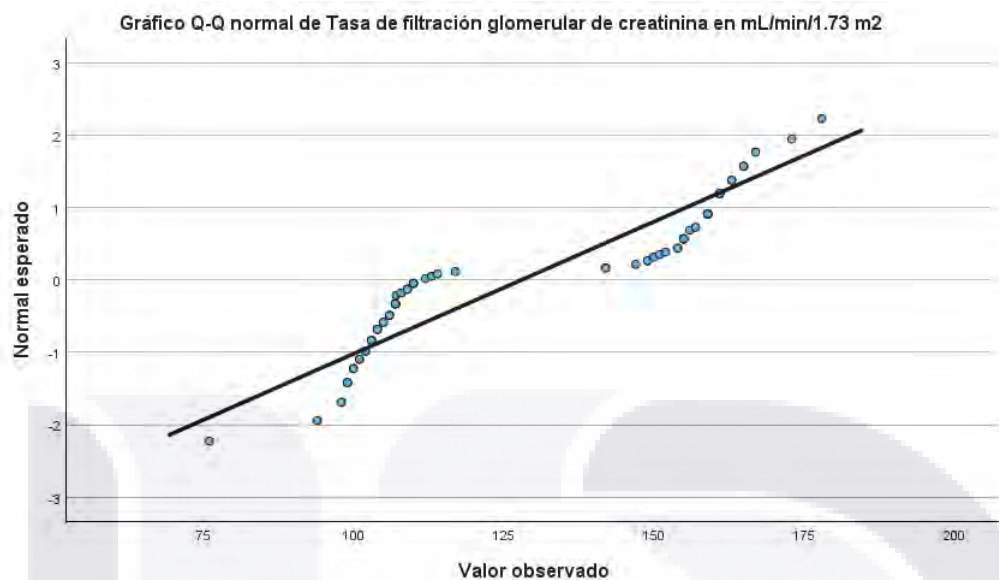


Figura 29. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable no siguen una distribución normal. Exportado de SPSS, versión 31.

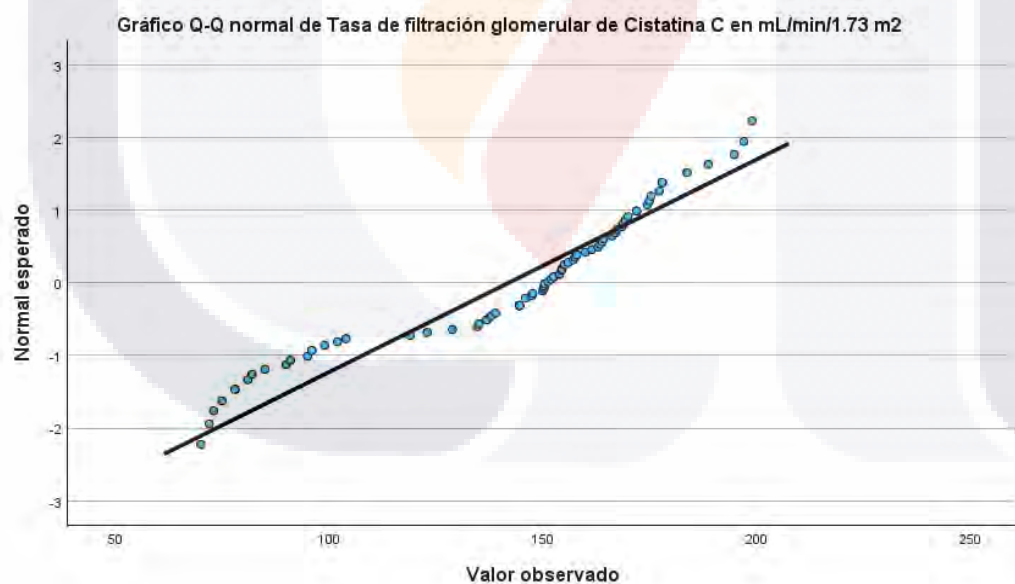


Figura 30. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable no siguen una distribución normal. Exportado de SPSS, versión 31.

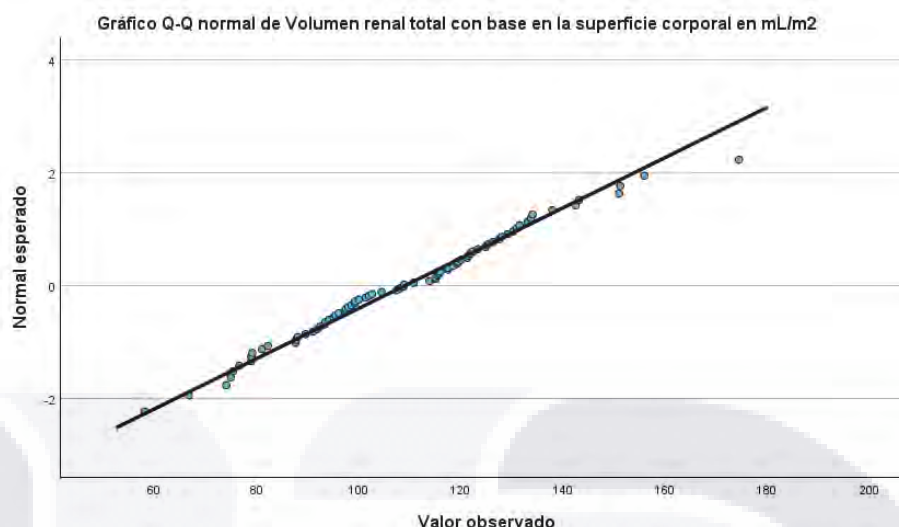


Figura 31. Gráfico Q-Q que exhibe que los datos de la variable siguen una distribución normal. Exportado de SPSS, versión 31.

De acuerdo con los valores de significancia resultantes, se acepta la hipótesis que los datos de las dos variables dependientes, TFG Cr y TFG Cys no siguen una distribución normal ($H_0 = <0.05$) (tabla 10, figuras 29 y 30) a diferencia del volumen renal respecto a la superficie corporal ($K.S = 0.187$, $p=0.809$) (Figura 31). Por lo anterior, se aplicó la prueba no paramétrica Rho de Spearman para determinar las relaciones entre las variables.

Al aplicar la prueba estadística, se encontró una correlación positiva muy débil entre la tasa de filtración glomerular, tomando en cuenta el valor de Cr ($R_s=0.089$, $n=76$, $p=0.445$), y una correlación débil entre la TFG CySC y el volumen renal ($R_s=0.196$, $n=76$, $p=0.09$); ambas sin significancia estadística. Este subanálisis se complementó con una regresión lineal simple. Se encontró que la variabilidad del funcionamiento de la TFG Cr respecto al volumen renal se explicaba en el 0.4% de los casos ($R^2= 0.004$), sin embargo, no se encontró significancia estadística ($p= 0.591$). Por otro lado, la variabilidad en el funcionamiento de la TFG CySC respecto al volumen renal se explicaba en el 1.3% de los casos ($R^2= 0.013$) sin significancia estadística ($p=0.321$).

Por lo anterior, se cuenta con evidencia suficiente para rechazar las hipótesis nulas de la presente investigación en torno a la relación de factores endógenos y exógenos en el desarrollo de un volumen renal relativo adecuado, ni que la volumetría del riñón explica los cambios en el funcionamiento renal medido por la creatinina y Cistatina C.

Capítulo V: Discusión.

La patología renal crónica ha tenido un exponencial incremento en su prevalencia global, y entre los países con mayor prevalencia se encuentra México (4,43). La etiología indeterminada es de los agentes causales predominantes de nefropatía crónica en pacientes jóvenes en México (37), con mayor prevalencia a nivel mundial en el estado de Aguascalientes (1,3). En nuestro estado, el volumen renal total bajo resulta un fenómeno evidenciado desde la población pediátrica, con repercusiones significativas en etapas posteriores del desarrollo, para el desenlace de la afección renal crónica (2,5). Aún se desconoce el factor que lo provoca (31,33,38). Por lo que este estudio se enfocó en analizar la relación del desarrollo del volumen renal adecuado actual, expresado en una variable dicotómica (sí/no), de una muestra de lactantes evaluada durante el periodo neonatal por De Santiago-Rodríguez et al (2024). Por lo tanto, el análisis realizado fue en función de la edad, la talla y el estado nutricional resultante de la consulta de seguimiento, considerando el supuesto que los factores post natales como los mencionados intervienen igualmente en la programación renal, incluyendo su volumen.

Las medidas de tendencia central discreparon de los títulos que fundamentaron el trabajo al observar que los volúmenes fueron, por diferencias decimales, homogéneos, mientras que los parámetros de laboratorio y de funcionamiento renal estaban dentro de valores no patológicos.

Por otro lado, resultó que alrededor de una quinta parte de los lactantes presentaron un bajo volumen renal relativo por segmento, y además el 35.5% de los lactantes presentó un volumen renal bajo por superficie corporal total, con base en los parámetros locales propuestos por Alcalde-Ortiz et al (2023).

Los resultados sugieren que la disminución del volumen renal medido por ecografía no se asocia de manera significativa con la función renal, determinada a partir de los niveles de creatinina y cistatina C, en la población analizada. Aunque se observaron correlaciones positivas, su magnitud fue débil y sin alcanzar significancia, lo cual indica que la disminución en el volumen renal no predice ni explica de manera consistente las variaciones en la tasa de filtración glomerular. A diferencia de otros estudios que señalan que la disminución del tamaño renal se vincula con el decremento en la tasa de filtrado

glomerular, determinando entonces que el tamaño renal ecográfico ya sea por volumen o especialmente por longitud se correlaciona con la TFG en niños sanos (10,25,29).

Las anomalías del crecimiento y desarrollo infantil en los lactantes, según las medidas antropométricas, no resultaron tan frecuentes de acuerdo con el análisis univariado, lo que es consistente con la baja incidencia de bajo peso al nacer reportada en la base de datos original. Estos resultados no se incluyeron en la presentación de datos, ya que no formaban parte de los análisis principales del protocolo de estudio. En general, se determinó que la mayor parte de los lactantes presentaban un desarrollo adecuado según las variables evaluadas. Hay que destacar que, al haberse presentando baja frecuencia y porcentaje de lactantes en estado de desnutrición, se prescindió de agregar la variable en el modelo estadístico propuesto. Lo anterior pudo ser parte de las razones de la poca significancia estadística de cada factor propuesto y respecto a la relación conjunta de cada variable con la disminución del volumen renal por superficie corporal total determinado por ecografía. Sin embargo, el valor de odds ratio sugiere una tendencia de mayor probabilidad de VRSC disminuido en pacientes con menor talla, posiblemente debido a la baja frecuencia de casos con talla baja o indicadores de desnutrición en la muestra analizada, no alcanzó significancia estadística. En correlación con lo encontrado en el estudio de Schmidt y otros donde se observó que el volumen renal relativo disminuyó significativamente con la edad en niños con retraso en el crecimiento, y que, asociado al antecedente de peso correspondiente a la edad gestacional, se encontraba un aumento de volumen renal de compensación (0,22 DE), no así en los niños que al nacer presentaron un desarrollo intrauterino por debajo del percentil esperado para la edad gestacional; difiriendo con nuestra muestra con relación al rango de edad, esta evaluación se realizó en pacientes de 0 a 18 meses. Lo cual resulta consistente con otro estudio realizado entre 1997-2002, con rango de edad de características similares al estudio previamente mencionado, igualmente se encontró que el peso actual estimado y la composición corporal tienen un efecto positivo significativo en el volumen renal, así como el peso para la edad gestacional al nacer, sin encontrar en este caso el crecimiento renal compensatorio asociado al retraso en el crecimiento (10,26). Aunque en nuestro estudio no se alcanzó significancia estadística, los resultados siguen una tendencia similar, lo cual podría tener relevancia clínica y justifica estudios adicionales con mayor potencia estadística.

Un hallazgo no previsto en los objetivos iniciales del estudio fue la alta proporción de lactantes con exceso de peso, detectado durante el análisis descriptivo. Aunque este factor no fue incluido en el modelo estadístico, su presencia plantea interrogantes sobre su posible influencia en la interpretación del volumen renal por superficie corporal (VRSC). Estudios previos han señalado que bebés de madres con obesidad tienen un volumen renal relativo menor al peso fetal estimado, lo que sugiere una discordancia entre el crecimiento corporal y renal (10), contamos con poca evidencia en el rango de edad lactante en pacientes con sobrepeso y la obesidad, por ello, se considera importante que futuras investigaciones incluyan esta variable de análisis, para evaluar su posible papel como factor asociado o confusor en la disminución del volumen renal en población pediátrica determinado por ecografía.

Resaltó que la mayoría de los lactantes, al momento de la consulta, acompañaban su alimentación con fórmula. Se presentó el caso de un lactante que no fue alimentado con lactancia materna desde el principio, y se limitó conocer las razones en ambos casos. El 98.68% de la muestra había sido amamantado, al menos, una vez. Por un lado, no se pudo demostrar la hipótesis de que la ausencia de lactancia materna desembocaba en un bajo volumen renal determinado por ecografía. El ajuste a lactancia materna exclusiva no estuvo relacionado con las alteraciones en el desarrollo de volumen renal, resaltando la necesidad de realizar análisis subsecuentes en función a tiempos de lactancia establecidos, como lo señalado por la OMS que son 6 meses de lactancia materna exclusiva (44). Lo referido en la literatura señala evidencia variable a lo encontrado en nuestro estudio, ya que en algunos análisis se determinó que la fórmula de alimentación propiciaba el crecimiento renal comparado con el seno materno, lo anterior explicado por una mayor hiperfiltración, mayor cantidad de solutos y alta ingesta de proteínas, asociándose a un daño renal potencial por la sobredosis temprana de proteínas, este mismo estudio refiere que cuando se tiene el antecedente perinatal de bajo peso al nacer se puede relacionar con daño del crecimiento renal relativo (26,27), este último punto puede ser útil de desarrollar en estudios futuros. Miliku y otros, difirieron del análisis en nuestra investigación, ya que la lactancia se analizó como variable ordinal, y en cuanto a resultados, estos fueron acorde a nuestra hipótesis, ya que se concluyó que los niños que nunca fueron amamantados y con menor duración de la lactancia, mostraban volúmenes renales y TFGe disminuidos en edad escolar (28). Otra diferencia encontrada en un estudio realizado en Holanda en 2015 fue la asociación de la lactancia materna en los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

primeros 4 meses de vida, con un mayor volumen renal combinado, pero conservando una TFG baja (27).

Luyckx et al., determinaron que el tabaquismo materno conlleva múltiples morbilidades en la salud de sus hijos, entre ellas bajo número de nefronas que se traduce en un volumen renal disminuido, pero este resultado no fue estadísticamente significativo (10). En nuestro estudio se observó una baja asociación respecto al volumen renal disminuido, resultado que además mostró poca significancia estadística. Otros autores en cambio encontraron una asociación con alteraciones en la TFG, pero no con la volumetría renal, siendo a la inversa en el caso de tabaquismo paterno (29). Al igual que la evidencia preexistente, los resultados en nuestro estudio son poco concluyentes.

En cuanto al alcoholismo materno en este estudio, existe una mayor probabilidad de asociación con un volumen renal disminuido en edad lactante determinado por ecografía, posiblemente acorde a los resultados observados por Luyckx et al., ya que en esta investigación se asoció con un menor número de nefronas, pudiendo traducir una disminución del volumen renal (10). Pero en el caso de nuestros resultados, no mostraron significancia estadística.

La variable exposición a pesticidas y metales pesados se consideró del periodo lactante, encontrando que el desarrollo renal estuvo influenciado en el (11.8%) por la exposición a pesticidas. Encontrando una asociación positiva, pero no significativa con la disminución del volumen renal ajustado por superficie corporal total determinado por ecografía. Empatando la asociación positiva a lo determinado por otros autores que señalan que la exposición a nefrotóxicos durante el desarrollo renal provoca disminución en el número de nefronas (30), que puede traducirse ecográficamente con una disminución del volumen renal. Contamos con poca evidencia real de esta asociación, ya que en este rango de edad la información es limitada (27,28).

Asimismo, ninguna de las otras variables propuestas influyó significativamente en el volumen renal respecto a la superficie corporal.

Capítulo VI: Conclusión.

Este estudio se enfocó en analizar la asociación entre el estado de crecimiento postnatal y los antecedentes prenatales en relación con el desarrollo del volumen renal relativo, evaluado mediante ecografía, durante la primera consulta de seguimiento. Los resultados muestran que, a pesar de las correlaciones positivas débiles, no se constata una relación estadísticamente significativa entre la volumetría renal determinada por ultrasonido y el estado funcional renal medido a través de la creatinina sérica y cistatina C.

Estos hallazgos dan soporte a la hipótesis de que el volumen renal ecográfico, ajustado por superficie corporal total, no explica de manera consistente las variaciones en la tasa de filtración glomerular en lactantes clínicamente sanos, al menos bajo las condiciones y el tamaño muestral de este estudio. En consecuencia, las hipótesis nulas no pueden ser rechazadas, lo cual sugiere que los factores endógenos y exógenos analizados no están directamente relacionados con un desarrollo renal relativo adecuado.

Asimismo, se identificó una proporción clínicamente relevante de lactantes con disminución del volumen renal, tanto por segmento como por superficie corporal total, lo cual, si bien no fue significativo estadísticamente, podría tener implicaciones fisiológicas importantes a largo plazo. Estos hallazgos invitan a considerar que otros factores no evaluados, como el número de nefronas o componentes genéticos, pueden estar involucrados en el fenómeno de reducción del volumen renal, y que su ausencia en el análisis limita las conclusiones actuales.

En términos de imagenología diagnóstica, la ecografía renal se consolida como una herramienta útil y no invasiva para la detección temprana de alteraciones estructurales en la morfología renal, incluso antes de que se manifiesten cambios funcionales. No obstante, su valor predictivo a corto plazo requiere estudios complementarios con modelos estadísticos más robustos y poblaciones más amplias.

Finalmente, los parámetros locales utilizados como referencia en este estudio fueron derivados de una población pediátrica con factores de riesgo similares, lo cual le otorga validez contextual. Sin embargo, se sugiere ampliar el análisis con cohortes más heterogéneas y aplicar modelos de regresión multivariada que integren variables estructurales, funcionales y ambientales para mejorar la comprensión de la programación

renal temprana. Además, dada la tendencia observada en la literatura a correlacionar el volumen renal con la función glomerular en etapas más avanzadas, es fundamental realizar estudios longitudinales que incluyan seguimiento clínico, bioquímico e imagenológico, para establecer el verdadero valor pronóstico del volumen renal determinado por ecografía en la población pediátrica.



Glosario.

Cistatina C: proteína endógena de producción intracelular en el ser humano, que funge como biomarcador para estimar la tasa de filtración glomerular (TFG), ya que sus niveles séricos son independientes de la masa muscular, a diferencia de la creatinina. Especialmente útil en poblaciones pediátricas y en individuos con masa muscular baja.

Creatinina: producto de desecho generado por la descomposición de la creatina, compuesto presente en el tejido muscular. Indicador de la función renal.

Enfermedad renal crónica de origen desconocido: patología en la que los riñones sufren daño progresivo durante un período prolongado sin una causa identificable.

Formula de Schwartz: ecuación utilizada para calcular la tasa de filtración glomerular en niños, basada en la concentración sérica de creatinina, la altura y una constante específica.

Glomerulogénesis: proceso de formación de los glomérulos renales durante el desarrollo embrionario.

Hipoplasia renal: afección caracterizada por riñones pequeños con decremento en la cantidad de nefronas normales.

Hipertrofia glomerular: incremento del tamaño glomerular renal, como respuesta a la sobrecarga de filtración, y puede ser un indicador de daño renal temprano.

Nefrogénesis: proceso de formación de nefronas durante el desarrollo fetal, crucial para la función renal postnatal.

Percentiles: medidas estadísticas que dividen un conjunto de datos ordenados de manera que un porcentaje específico de los datos cae por debajo de ese valor, permitiendo así determinar la posición relativa de un valor dentro de una distribución.

Pesticidas: productos químicos útiles para gestión de plagas que afectan la producción agrícola. Cuando se usan en exceso pueden repercutir negativamente en la salud humana y el medio ambiente.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Teoría de hiperfiltración renal: postula que, en condiciones de sobrecarga, los glomérulos renales experimentan un aumento en la tasa de filtración, lo que puede llevar a daño renal progresivo.

Volumen renal por superficie corporal total: es una medida que permite comparar el tamaño renal entre individuos de diferentes tamaños corporales, proporcionando una evaluación más precisa de la función renal.



Bibliografía.

1. De Santiago-Rodríguez KV, Peregrina-Lucano AA, Jaramillo-Arriaga F, Helguera-Gomez EO, Ibarra-Orenday D, González-Domínguez SI, et al. Association of perinatal exposition to xenobiotics with kidney volume at birth. *Nephrology Dialysis Transplantation* [Internet]. 2025 Apr 28 [cited 2025 May 31];40(5):1007–19. Available from: <https://dx.doi.org/10.1093/ndt/gfae238>
2. Wu J, Wang Y, Vlasschaert C, Lali R, Feiner J, Gaheer P, et al. Kidney Volume and Risk of Incident Kidney Outcomes. *Journal of the American Society of Nephrology* [Internet]. 2024 Sep 1 [cited 2025 Jun 1];35(9):1240–51. Available from: https://journals.lww.com/jasn/fulltext/2024/09000/kidney_volume_and_risk_of_incident_kidney_outcomes.11.aspx
3. Hoy WE, Bertram JF. Oligonephronia: another piece in the CKDu jigsaw? *Kidney Int* [Internet]. 2024 Apr 1 [cited 2025 Jun 1];105(4):671–3. Available from: <https://www.kidney-international.org/action/showFullText?pii=S0085253824000814>
4. Macias Diaz DM, Corrales Aguirre M del C, Reza Escalera AL, Tiscarenõ Gutierrez MT, Ovalle Robles I, Maciás Guzmán MJ, et al. Histologic characterization and risk factors for persistent albuminuria in adolescents in a region of highly prevalent end-stage renal failure of unknown origin. *Clin Kidney J* [Internet]. 2022 Jun 23 [cited 2025 May 31];15(7):1300–11. Available from: <https://dx.doi.org/10.1093/ckj/sfac018>
5. Roseman DA, Hwang SJ, Oyama-Manabe N, Chuang ML, O'Donnell CJ, Manning WJ, et al. Clinical associations of total kidney volume: the Framingham Heart Study. *Nephrology Dialysis Transplantation* [Internet]. 2016 Aug 1 [cited 2025 Jun 1];32(8):1344. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5837692/>
6. Viteri B, Calle-Toro JS, Furth S, Darge K, Hartung EA, Otero H. State-of-the-Art Renal Imaging in Children. *Pediatrics* [Internet]. 2020 Feb 1 [cited 2025 May 31];145(2):e20190829. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6993529/>
7. Alcalde-Ortiz ML, Arreola-Guerra JM, Calzada-Gallegos HD, Gonzalez-Dominguez SI, Jaramillo-Arriaga F, Ibarra-Orenday D. Normal renal size by body-surface-area renal volume using ultrasound in a population aged 0-18 years from Aguascalientes state, Mexico. *Journal of the Mexican Federation of Radiology and Imaging* [Internet]. 2023 Oct 5 [cited 2025 May 31];2(3):163–71. Available from: www.JMeXFRI.com
8. Luyckx VA, Brenner BM. Birth weight, malnutrition and kidney-associated outcomes - A global concern. *Nat Rev Nephrol* [Internet]. 2015 Mar 27 [cited 2025 May 27];11(3):135–49. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25599618/>

9. Filler G, Bhayana V, Schott C, Díaz-González de Ferris ME. How should we assess renal function in neonates and infants? *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics* [Internet]. 2021 Mar 1 [cited 2025 May 27];110(3):773–80. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32869283/>
10. Luyckx VA, Bertram JF, Brenner BM, Fall C, Hoy WE, Ozanne SE, et al. Effect of fetal and child health on kidney development and long-term risk of hypertension and kidney disease. *The Lancet* [Internet]. 2013 Jul 20 [cited 2025 Jun 13];382(9888):273–83. Available from: <https://www.thelancet.com/action/showFullText?pii=S0140673613603116>
11. Bonsib SM. Renal Hypoplasia, from Grossly Insufficient to Not Quite Enough: Consideration for Expanded Concepts Based upon the Author's Perspective with Historical Review. *Adv Anat Pathol* [Internet]. 2020 Sep 1 [cited 2025 May 27];27(5):311–30. Available from: https://journals.lww.com/anatomicpathology/fulltext/2020/09000/renal_hypoplasia_from_grossly_insufficient_to_not.5.aspx
12. Moore KL PTTMG. *Embriología clínica*. . 11°. Barcelona: Elsevier; 2020. 413 p.
13. Subramaniam H, Taghavi K, Mirjalili SA. A reappraisal of pediatric abdominal surface anatomy utilizing in vivo cross-sectional imaging. *Clinical Anatomy* [Internet]. 2016 Mar 1 [cited 2025 May 31];29(2):197–203. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26615977/>
14. O'Neill WC. *Ecografía renal*. 1ra ed. 2002.
15. Staub E. Current and potential methods to assess kidney structure and morphology in term and preterm neonates. *Anatomical Record* [Internet]. 2023 Apr 1 [cited 2025 May 31];308(4):1229–50. Available from: /doi/pdf/10.1002/ar.25195
16. Salmi I Al, Hajriy M Al, Hannawi S. Ultrasound measurement and kidney development: A mini-review for nephrologists. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation* [Internet]. 2021 Jan 1 [cited 2025 May 31];32(1):174–82. Available from: https://journals.lww.com/sjkd/fulltext/2021/32010/ultrasound_measurement_and_kidney_development_a.20.aspx
17. Han BK, Babcock DS. Sonographic measurements and appearance of normal kidneys in children. *American Journal of Roentgenology* [Internet]. 1985 [cited 2025 May 31];145(3):611–6. Available from: /doi/pdf/10.2214/ajr.145.3.611?download=true
18. Yamazaki Y, Yago R, Toma H. SONOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF THE URINARY TRACT IN HEALTHY NEONATES. *J Urol* [Internet]. 2001 [cited 2025

- May 31];166(3):1054–7. Available from: /doi/pdf/10.1016/S0022-5347%2805%2965919-8
19. Blake J, Rosenblum ND. Renal branching morphogenesis: Morphogenetic and signaling mechanisms. *Semin Cell Dev Biol* [Internet]. 2014 Dec 1 [cited 2025 May 31];36:2–12. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1084952114002225?via%3Dihub>
 20. Ecografía del riñón normal y variantes anatómicas. - Nefrología al día [Internet]. [cited 2025 Dec 10]. Available from: <https://nefrologiaaldia.org/es-articulo-ecografia-del-rinon-normal-y-variantes-anatomicas-328>
 21. Sanna-Cherchi S, Caridi G, Weng PL, Scolari F, Perfumo F, Gharavi AG, et al. Genetic approaches to human renal agenesis/hypoplasia and dysplasia. *Pediatr Nephrol* [Internet]. 2007 [cited 2025 May 31];22(10):1675. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1994209/>
 22. Kataoka H, Nitta K, Hoshino J. Glomerular hyperfiltration and hypertrophy: an evaluation of maximum values in pathological indicators to discriminate “diseased” from “normal.” *Front Med (Lausanne)* [Internet]. 2023 [cited 2025 May 31];10:1179834. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10372422/>
 23. Riccabona M, Fritz GA, Schöllnast H, Schwarz T, Deutschmann MJ, Mache CJ. Hydronephrotic kidney: Pediatric three-dimensional US for relative renal size assessment - Initial experience. *Radiology* [Internet]. 2005 Jul 1 [cited 2025 Aug 25];236(1):276–83. Available from: /doi/pdf/10.1148/radiol.2361040158
 24. Geelhoed JJM, Kleyburg-Linkers VE, Snijders SPE, Lequin M, Nauta J, Steegers EAP, et al. Reliability of renal ultrasound measurements in children. *Pediatric Nephrology*. 2009;24(7):1345–53.
 25. Adibi A, Adibi I, Khosravi P. Do kidney sizes in ultrasonography correlate to glomerular filtration rate in healthy children? *Australas Radiol*. 2007 Dec;51(6):555–9.
 26. Schmidt IM, Chellakooty M, Boisen KA, Damgaard IN, Mau Kai C, Olgaard K, et al. CLINICAL NEPHROLOGY-EPIDEMIOLOGY-CLINICAL TRIALS Impaired kidney growth in low-birth-weight children: Distinct effects of maturity and weight for gestational age. Vol. 68, *Kidney International*. 2005.
 27. Boutrid N, Rahmoune H, Bioud B, Abdelmalek D, Amrane M. Breastfeeding Impact on Kidney Functions: A Systematic Review. *Am Heart J* [Internet]. 2022 Dec 1 [cited 2025 Jun 14];254:258. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0002870322002599>

28. Miliku K, Voortman T, Bakker H, Hofman A, Franco OH, Jaddoe VWV. Infant Breastfeeding and Kidney Function in School-Aged Children. *American Journal of Kidney Diseases* [Internet]. 2015 Sep 1 [cited 2025 Jun 14];66(3):421–8. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027263861500089X>
29. Roberts JR, Karr CJ, HEALTH COE, Paulson JA, Brock-Utne AC, Brumberg HL, et al. Pesticide Exposure in Children. *Pediatrics* [Internet]. 2012 Dec 1 [cited 2025 Jun 26];130(6):e1765–88. Available from: [/pediatrics/article/130/6/e1765/30343/Pesticide-Exposure-in-Children](https://pediatrics/article/130/6/e1765/30343/Pesticide-Exposure-in-Children)
30. Weidemann DK, Weaver VM, Fadrowski JJ, Edu D. Toxic environmental exposures and kidney health in children.
31. Kalantar-Zadeh K, Jafar TH, Nitsch D, Neuen BL, Perkovic V. Chronic kidney disease. *The Lancet* [Internet]. 2021 Aug 28 [cited 2025 May 31];398(10302):786–802. Available from: <https://www.thelancet.com/action/showFullText?pii=S0140673621005195>
32. Stevens PE, Ahmed SB, Carrero JJ, Foster B, Francis A, Hall RK, et al. KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney Int* [Internet]. 2024 Apr 1 [cited 2025 May 31];105(4):S117–314. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38490803/>
33. Guo J, Jiao W, Xia S, Xiang X, Zhang Y, Ge X, et al. The global, regional, and national patterns of change in the burden of chronic kidney disease from 1990 to 2021. *BMC Nephrol* [Internet]. 2025 Dec 1 [cited 2025 May 31];26(1):1–15. Available from: <https://bmcnephrol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12882-025-04028-z>
34. Bello AK, Levin A, Tonelli M, Okpechi IG, Feehally J, Harris D, et al. Assessment of global kidney health care status. *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2017 May 9;317(18):1864–81.
35. Bikbov B, Purcell C, Levey AS, Smith M, Abdoli A, Abebe M, et al. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet* [Internet]. 2020 Feb 29 [cited 2025 May 31];395(10225):709–33. Available from: <https://www.thelancet.com/action/showFullText?pii=S0140673620300453>
36. Qin K, Qing J, Wang Q, Li Y. Epidemiological shifts in chronic kidney disease: a 30-year global and regional assessment. *BMC Public Health*. 2024 Dec 18;24(1):3519.
37. Rutter CE, Njoroge M, Cooper PJ, Prabhakaran D, Jha V, Kaur P, et al. International prevalence patterns of low eGFR in adults aged 18–60 without traditional risk factors from a population-based cross-sectional disadvantaged populations eGFR epidemiology (DEGREE) study. *Kidney Int* [Internet]. 2025 Mar 1

- [cited 2025 May 31];107(3):541–57. Available from: <https://www.kidney-international.org/action/showFullText?pii=S0085253824009104>
38. Rao IR, Bangera A, Nagaraju SP, Shenoy SV, Prabhu RA, Rangaswamy D, et al. Chronic kidney disease of unknown aetiology: A comprehensive review of a global public health problem. *Tropical Medicine & International Health* [Internet]. 2023 Aug 1 [cited 2025 May 31];28(8):588–600. Available from: /doi/pdf/10.1111/tmi.13913
 39. United States Renal Data System. Bethesda (MD): National Institutes of Health, National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. 2021. USRDS 2021 Annual Data Report: Epidemiology of kidney disease in the United States.
 40. Gutierrez-Peña M, Zuñiga-Macias L, Marin-Garcia R, Ovalle-Robles I, García-Díaz AL, Macías-Guzmán MJ, et al. High prevalence of end-stage renal disease of unknown origin in Aguascalientes Mexico: role of the registry of chronic kidney disease and renal biopsy in its approach and future directions. *Clin Kidney J*. 2021 Apr 2;14(4):1197–206.
 41. Instituto de Servicios de Salud del Estado de Aguascalientes (ISSEA). Aguascalientes: ISSEA. 2025. Causas frecuentes de la enfermedad renal crónica en el Estado de Aguascalientes.
 42. Berger RP, Beers SR, Papa L, Bell M. Common data elements for pediatric traumatic brain injury: Recommendations from the biospecimens and Biomarkers Workgroup. *J Neurotrauma* [Internet]. 2012 Mar 1 [cited 2025 Aug 23];29(4):672–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22106839/>
 43. Bello AK, Levin A, Tonelli M, Okpechi IG, Feehally J, Harris D, et al. Assessment of Global Kidney Health Care Status. *JAMA* [Internet]. 2017 May 9 [cited 2025 May 31];317(18):1864–81. Available from: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2623225>
 44. Organización Mundial de la Salud. OMS. 2025. Lactancia materna. Recomendaciones.

Anexos.

Anexo A.



**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN EL PROYECTO:
FACTORES ASOCIADOS A UN VOLUMEN RENAL DISMINUIDO MEDIDO POR
ECOGRAFÍA EN LACTANTES DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES. ESTUDIO DE
COHORTE PROSPECTIVO.**

FECHA DE PREPARACIÓN: MARZO 2024 VERSIÓN: 1.0

Investigador principal: Dr. Héctor David Calzada Gallegos

Dirección del investigador: Av. Ferrocarril S/N, Alameda, 20259 Aguascalientes, Ags.

Teléfono de contacto del investigador (incluyendo uno para emergencias): 449 990 84 14

Investigadores participantes: Dr. José Manuel Arreola Guerra, Dra. Andrea Silva Rubalcava

Nombre del patrocinador del estudio: Ninguno

Dirección del patrocinador: No aplica

Versión del consentimiento informado y fecha de su preparación: 1.0, marzo 2024

INTRODUCCIÓN:

Por favor, tómese todo el tiempo que necesite para leer este documento y no dude en consultar al investigador cualquier duda que tenga. Este consentimiento informado cumple con los lineamientos del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, la Declaración de Helsinki y las Buenas Prácticas Clínicas establecidas por la Comisión Nacional de Bioética.

Para decidir si desea participar en este estudio, es importante que tenga conocimiento suficiente sobre los posibles riesgos y beneficios, de manera que pueda tomar una decisión informada. Este formulario le proporciona información detallada sobre la

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

investigación, la cual puede revisar con su médico tratante o con algún miembro del equipo de investigadores. Al final, se le invitará a participar voluntariamente en el proyecto y, si acepta, podrá firmar este consentimiento sin ninguna presión o coerción.

Procedimiento para otorgar su consentimiento: Usted tiene derecho a decidir si quiere participar en la investigación y puede tomarse todo el tiempo que necesite para considerarlo. El investigador le explicará detalladamente los beneficios y riesgos del estudio, sin presionarlo, y usted podrá reflexionar solo o consultando a quien considere conveniente antes de comunicar su decisión. Su decisión no afectará de ninguna manera la atención médica que reciba en el Instituto. Al finalizar la explicación, debe comprender los siguientes aspectos:

- I. La justificación y objetivos de la investigación.
- II. Los procedimientos que se aplicarán, su propósito y cuáles son experimentales.
- III. Los riesgos o molestias que podrían presentarse.
- IV. Los posibles beneficios.
- V. Los procedimientos alternativos que podrían ser más adecuados para usted.
- VI. La posibilidad de resolver cualquier duda sobre los procedimientos, riesgos, beneficios y otros aspectos relacionados con la investigación y su tratamiento.
- VII. Su libertad para retirar el consentimiento y dejar de participar en cualquier momento, sin que esto afecte su atención médica.
- VIII. La garantía de confidencialidad y de que no se revelará su identidad.
- IX. El compromiso del investigador de mantenerlo informado sobre cualquier hallazgo relevante durante el estudio, incluso si esto influye en su decisión de continuar participando.
- X. La disponibilidad de atención médica y compensación legal en caso de daños derivados directamente de la investigación.

Puede solicitar más tiempo o llevarse este formulario a casa antes de tomar una decisión final.

INVITACION A PARTICIPAR Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Estimado Sr(a).

El Centenario Hospital Miguel Hidalgo, mediante su equipo de investigación, le invita a formar parte de este estudio cuyo objetivo es: identificar factores de riesgo asociados a disminución del volumen renal determinado por ecografía.

La duración del estudio es de 5 años.

El número aproximado de participantes será: 299 participantes.

Se le ha invitado a participar en el estudio porque presenta las siguientes características: fue invitado a participar en el estudio a niños en edad lactante, radicados en el estado de Aguascalientes a los que se les realizó en la edad lactante, la medición del volumen renal determinado por ecografía, de creatinina y cistatina C séricos, así como medición de niveles de metales pesados y pesticidas.

PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

Su participación en el estudio consiste en: acudir a valoración al Centenario Hospital Miguel Hidalgo donde se realizará una encuesta, revisión somatométrica, toma de laboratorios y ultrasonido renal.

Los procedimientos del estudio incluyen la realización de: responder encuesta, revisión somatométrica, toma de ultrasonido renal, medición en sangre de Cr, cistatina C, albumina y biometría hemática.

Las responsabilidades de los participantes incluyen: acudir a su cita.

RIESGOS E INCONVENIENTES

El ultrasonido renal es un procedimiento de bajo riesgo, no invasivo. La toma de sangre para laboratorio puede generar dolor a la punción, enrojecimiento en la zona y en algunos casos coloración morada por hematoma, todas estas molestias son transitorias y no tienen repercusiones de relevancia.

BENEFICIOS POTENCIALES

Identificar a los infantes con alteraciones renales e iniciar tratamiento oportuno en caso de necesitarlo.

Tendrá una consulta médica con un especialista en pediatría.

Podremos conocer los factores que intervienen en el crecimiento renal.

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

El presente estudio no tendrá costos en las consultas y estudios que se solicitarán.

COMPENSACION

En caso de detectar alguna anomalía en la revisión clínica, laboratorios o ultrasonido, se referirá con un especialista.

ALTERNATIVAS A SU PARTICIPACIÓN:

Su participación es voluntaria. Sin embargo, usted puede elegir no participar en el estudio.

POSIBLES PRODUCTOS COMERCIALES DERIVABLES DEL ESTUDIO:

Los resultados o materiales obtenidos en el estudio serán propiedad del Centenario Hospital Miguel Hidalgo. Si un producto comercial es desarrollado como resultado del estudio, tal insumo será propiedad del Centenario Hospital Miguel Hidalgo o quienes ellos designen. En tal caso, usted no recibirá un beneficio financiero por el mismo.

ACCIONES DESPUÉS DEL TÉRMINO DEL ESTUDIO:

Usted puede solicitar los resultados de sus exámenes clínicos y las conclusiones del estudio.

Dado que la investigación es un proceso largo y complejo, los resultados finales pueden tardar varios meses en estar disponibles.

PARTICIPACIÓN Y RETIRO DEL ESTUDIO:

Su participación es voluntaria. Si decide no participar, esto no afectará su relación con el Centenario Hospital Miguel Hidalgo ni su derecho a recibir atención médica o servicios correspondientes. Si participa, tiene la libertad de retirar su consentimiento y dejar de participar en cualquier momento, sin que esto afecte su atención médica. Se le informará oportunamente si surge nueva información que pueda influir en su decisión de continuar en el estudio.

Para retirarse, solo debe comunicar su decisión verbalmente al investigador principal.

CONFIDENCIALIDAD Y MANEJO DE SU INFORMACIÓN

Su identidad no será revelada en ningún reporte o estudio. Las muestras biológicas se codificarán mediante un número de serie, sin información personal, para proteger su privacidad. Por disposición legal, las muestras, incluyendo la sangre, se consideran residuos peligrosos biológico-infecciosos y no podrán devolverse durante el estudio.

Aunque existe un riesgo mínimo de afectación a su privacidad, se aplicarán medidas legales para protegerla. Ninguna información personal será compartida sin su autorización, excepto:

- Si es necesario para proteger sus derechos o bienestar (por ejemplo, en caso de lesión que requiera atención médica de emergencia).
- Cuando la ley lo solicite.

El personal autorizado (monitores o auditores) podrá revisar la información del estudio.

Si decide retirarse, podrá solicitar la destrucción de sus muestras y datos. Los registros se conservarán con estrictas medidas de confidencialidad y solo los investigadores principales tendrán acceso a información vinculada a su nombre. Para esto, deberá contactar por escrito a la **Dra. Andrea Silva Rubalcava**.

El Comité de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo aprobó este estudio, supervisando su desarrollo y asegurando la protección de los participantes. Si se encuentra información importante para su salud, el comité decidirá la mejor manera de comunicarla a usted y a su médico. Usted también autoriza ser contactado en caso de requerirse información adicional relevante para el proyecto.

Los resultados científicos del estudio pueden ser publicados o presentados en conferencias, siempre eliminando su nombre y cualquier dato personal.

Si lo solicita, su médico de cabecera será informado sobre su participación.

IDENTIFICACIÓN DE LOS INVESTIGADORES:

Para dudas sobre el estudio: **Dra. Andrea Silva Rubalcava – Tel: 449 223 0934**

Para dudas sobre sus derechos como participante: Presidente del Comité de Ética en Investigación, Dr. Jaime Asael López Valdez – Tel: 449 994 6720 ext. 8646

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

He leído este consentimiento informado cuidadosamente y he recibido respuestas satisfactorias a todas mis preguntas. Al firmar, confirmo que:

Estoy de acuerdo en participar en el estudio descrito, comprendiendo sus objetivos, procedimiento de reclutamiento y posibles riesgos.

Autorizo voluntariamente la donación de mis muestras biológicas (como sangre) y la utilización de mi información médica para fines de investigación.

Acepto ser contactado en el futuro si se requiere información adicional o si se encuentra información relevante para mi salud.

He recibido una copia de este consentimiento informado.

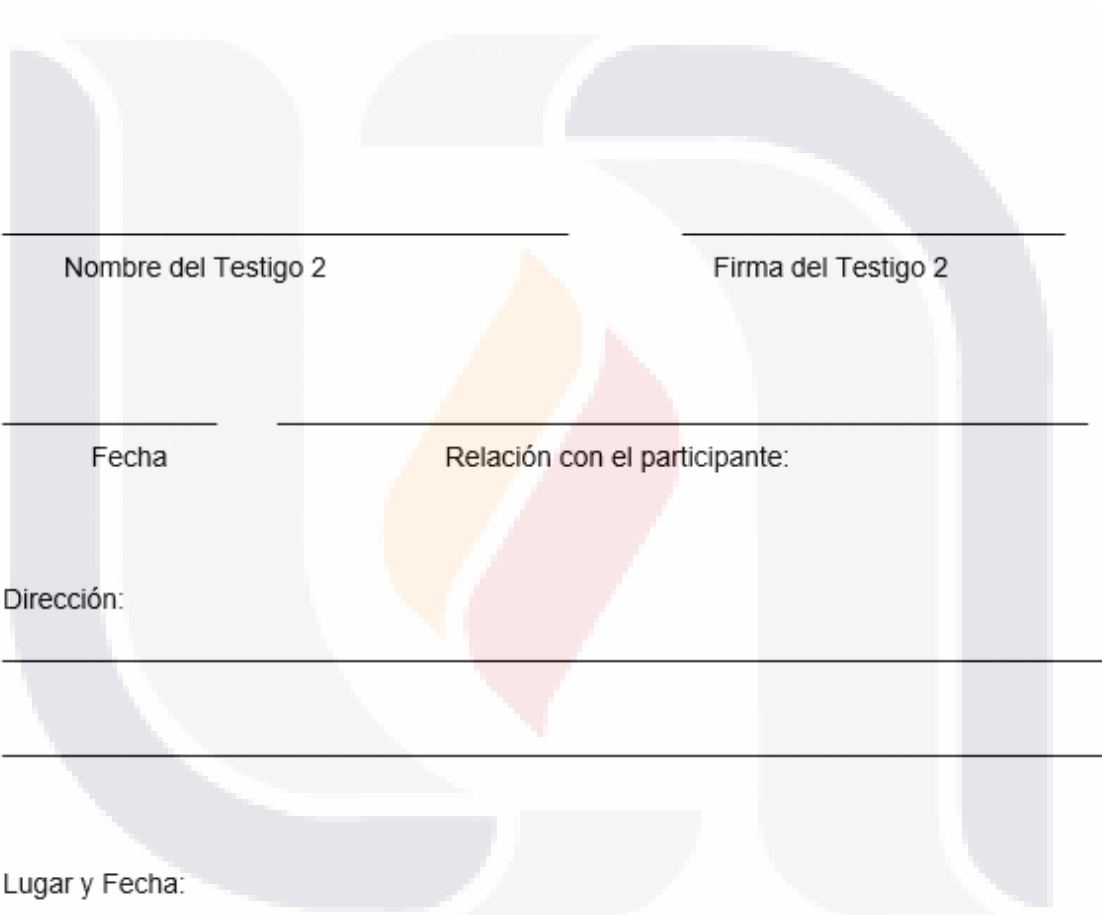
	SÍ (marque por favor)	NO (marque por favor)
a. ¿Ha leído y entendido la forma de consentimiento informado, en su lenguaje materno?	☐	☐
b. ¿Ha tenido la oportunidad de hacer preguntas y de discutir este estudio?	☐	☐
c. ¿Ha recibido usted respuestas satisfactorias a todas sus preguntas?	☐	☐
d. ¿Ha recibido suficiente información acerca del estudio y ha tenido el tiempo suficiente para tomar la decisión?	☐	☐
e. ¿Entiende usted que su participación es voluntaria y que es libre de suspender su participación en este estudio en cualquier momento sin tener que justificar su decisión y sin que esto afecte su atención médica o sin la pérdida de los beneficios a los que de otra forma tenga derecho?	☐	☐
f. ¿Entiende los posibles riesgos, algunos de los cuales son aún desconocidos, de participar en este estudio?	☐	☐
g. ¿Entiende que puede no recibir algún beneficio directo de participar en este estudio?	☐	☐
h. ¿Entiende que no está renunciando a ninguno de sus derechos legales a los que es acreedor de otra forma como sujeto en un estudio de investigación?	☐	☐
i. ¿Entiende que el médico participante en el estudio puede retirarlo del mismo sin su consentimiento, ya sea debido a que Usted no siguió los requerimientos del estudio o si el médico participante en el estudio considera que médicamente su retiro es en su mejor interés?	☐	☐
j. ¿Entiende que usted recibirá un original firmado y fechado de esta Forma de Consentimiento, para sus registros personales?	☐	☐

Declaración del paciente:

Yo, _____ declaro que es mi decisión participar en el estudio. Mi participación es voluntaria. He sido informado que puedo negarme a participar o terminar mi participación en cualquier momento del estudio sin que sufra penalidad alguna o pérdida de beneficios. Si suspendo mi participación, recibiré el tratamiento médico habitual al que tengo derecho en el Centenario Hospital Miguel Hidalgo y no sufriré perjuicio en mi atención médica o en futuros estudios de investigación. Yo puedo solicitar información adicional acerca de los riesgos o beneficios potenciales derivados de mi participación en el estudio. Puedo obtener los resultados de mis exámenes clínicos si los solicito. Si tengo preguntas sobre el estudio, puedo ponerme en contacto **Andrea Silva Rubalcava Tel 449 223 09 34**. Si usted tiene preguntas sobre sus derechos como participante en el estudio, problemas, preocupaciones o preguntas, obtener información u ofrecer información sobre el desarrollo del estudio, siéntase en la libertad de hablar con el coordinador del Comité de Ética en Investigación del Centenario Hospital Miguel Hidalgo (Dr. Jaime Asael López Valdez, teléfono: 449 994 6720 ext. 8646). Debo informar a los investigadores de cualquier cambio en mi estado de salud (por ejemplo, uso de nuevos medicamentos, cambios en el consumo de tabaco) o en la ciudad donde resido, tan pronto como sea posible. He leído y entendido toda la información que me han dado sobre mi participación en el estudio. He tenido la oportunidad para discutirlo y hacer preguntas. Todas las preguntas han sido respondidas a mi satisfacción. He entendido que recibiré una copia firmada de este consentimiento informado.

_____ Nombre del Participante	_____ Firma del Participante
_____ Fecha	
_____ Coloque la huella digital del participante sobre esta línea si no sabe escribir	
_____ Nombre del representante legal (si aplica)	_____ Firma del representante legal
_____ Fecha	
_____ Nombre del Investigador que explicó el documento	_____ Firma del Investigador
_____ Fecha	
_____ Nombre del Testigo 1	_____ Firma del Testigo 1
_____ Fecha	_____ Relación con el participante:

Dirección:



Nombre del Testigo 2	Firma del Testigo 2
Fecha	Relación con el participante:
Dirección:	
Lugar y Fecha:	