



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

UTILIZACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA
DUAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE CÁLCULOS URINARIOS: UNA
REVISIÓN DE ALCANCE

USE OF DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY IN THE
CHARACTERIZATION OF URINARY CALCULI: A SCOPE REVIEW

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO
EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA

AUTORES

FRANCISCO LEONARDO CACHAY MARQUINA
YOSSELINE ALEJANDRA MENDIETA CALLA
XIOMARA BELEN RODRIGUEZ MAYTA

ASESOR

EDWARD ARTEMIO MECA CASTRO

LIMA-PERÚ

2025

JURADO

Presidente: MG. NATALIA ISABEL MOSQUERA VERGARAY

Vocal: LIC. NORA DEL PILAR ACOSTA RENGIFO

Secretario: LIC. FELIX ALEXANDER NEYRA AGUILAR

Fecha de Sustentación: 30 de octubre del 2025

Calificación: Aprobado

ASESOR DE TESIS

ASESOR

M.SC. EDWARD ARTEMIO MECA CASTRO

Departamento Académico de Tecnología Médica

ORCID: 0000-0002-1226-9299

DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado una familia tan maravillosa que ha sido mi fortaleza en los momentos más difíciles. A mis padres por brindarme su apoyo incondicional y su confianza durante mis años de estudio. A mis hermanos por su compañía y motivación en cada momento. A mi novia por su profundo apoyo, comprensión y paciencia frente a las adversidades. A todos ustedes, con profundo cariño, dedico este logro que representa no solo mi esfuerzo, sino también el de ustedes que me acompañaron en este camino.

-Francisco Leonardo Cachay Marquina

Agradezco profundamente a mi amada madre, quien me ha apoyado y guiado incondicionalmente a lo largo de toda mi carrera. Gracias por tu paciencia infinita, por tu amor constante y por ser mi más grande fuente de inspiración. A mi padre, que ha sido mi pilar, mi fortaleza y mi consejero. Has sido la persona que siempre me ha animado a seguir mis sueños, incluso cuando yo mismo dudaba. Tu confianza en mis capacidades me ha dado el coraje necesario para perseguir mis metas con determinación. Eres mi ejemplo de resiliencia y de cómo enfrentarse a la vida con valentía y esperanza. A mi novio, por su paciencia, apoyo, tolerancia y compañía en los momentos más difíciles de este camino. Gracias por estar a mi lado en cada etapa, por creer en mí y por motivarme a seguir adelante. Sé que el camino continúa, y me esforzaré cada día por convertirme en una profesional de calidad.

-Yosseline Alejandra Mendieta Calla

Dedico este logro a mi familia y seres queridos: A mi mamá Rosmery y Koki, por su ejemplo de fortaleza, amor y perseverancia. A mi mamá Luz, por su ternura, sabiduría y apoyo incondicional. A mis tíos Luis y José, por su cariño y aliento constante. A mi novio y a mis hermanos, por su amor, paciencia y comprensión. Gracias a todos por creer en mí y ser parte esencial de este logro.

- Xiomara Belén Rodríguez Mayta

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestras familias, por su amor incondicional y apoyo constante durante todo este proceso. Su confianza en nosotros fue el pilar fundamental que nos impulsó a culminar esta etapa académica. Agradecemos profundamente a la Universidad Peruana Cayetano Heredia por brindarnos los conocimientos, los recursos y el espacio académico necesarios para nuestro desarrollo profesional y personal. También queremos expresar nuestro reconocimiento y gratitud al Magíster Edward Meca Castro, nuestro asesor, por su guía, dedicación y compromiso durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Sus valiosas orientaciones y su constante acompañamiento fueron esenciales para alcanzar los objetivos propuestos. De igual manera, extendemos un especial agradecimiento al Dr. Manuel Castillo, por compartir generosamente sus conocimientos y su perspectiva crítica, que fueron de vital importancia en la consolidación de este proyecto.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La presente investigación fue autofinanciada por los autores

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	CACHAY MARQUINA FRANCISCO LEONARDO
2.	MENDIETA CALLA YOSSELINE ALEJANDRA
3.	RODRIGUEZ MAYTA XIOMARA BELEN

Pertenecientes al programa de la **CARRERA PROFESIONAL DE TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA**, autores del trabajo titulado: **UTILIZACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA DUAL EN LA CARACTERIZACIÓN DE CÁLCULOS URINARIOS: UNA REVISIÓN DE ALCANCE** el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el **TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN TECNOLOGÍA MÉDICA EN LA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docente asesor de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	MECA CASTRO EDWARD ARTEMIO	MEDICINA	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **8 %**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **trn:oid::1:3456822471**; fecha de entrega: **13-01-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 13 de enero del 2026.**

Firma del asesor
N° DNI: 40569815
ORCID: 0000-0002-1226-9299



TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	5
IV. RESULTADOS	9
V. DISCUSIÓN.....	18
VI. LIMITACIONES.....	24
VII. CONCLUSIÓN.....	25
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
IX. TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS.....	34
X. ANEXOS	

RESUMEN

Introducción: La tomografía computarizada de energía dual (TCED) ha surgido como una técnica eficaz para caracterizar la composición de los cálculos urinarios, superando las limitaciones de la tomografía convencional, que no permite determinar la composición química de estos. Este aspecto es clave para orientar un tratamiento efectivo y personalizado en pacientes con litiasis.

Objetivo: Mapear la evidencia científica disponible sobre la utilización de la TCED en la caracterización de cálculos urinarios.

Materiales y métodos: Se realizó una revisión de alcance siguiendo las directrices PRISMA-ScR y el Manual de Joanna Briggs. Se incluyeron diez estudios observacionales publicados entre 2006 y 2024, obtenidos mediante búsquedas en PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect y DOAJ.

Resultados: En general, los estudios reportaron alta sensibilidad (95–100%) y especificidad (90–97%), particularmente en la identificación de cálculos de ácido úrico. La precisión diagnóstica aumentó con el uso de software especializado y protocolos técnicos optimizados. Los valores de unidades Hounsfield (UH) y la relación de energía dual permitieron diferenciar entre varios tipos de cálculos, siendo más confiables en cálculos de ácido úrico en comparación con los de cistina, estruvita y oxalato de calcio. La efectividad disminuyó en cálculos pequeños (<4 mm) o con dosis bajas de radiación.

Conclusión: La TCED resultó ser una herramienta diagnóstica precisa, no invasiva y útil en la planificación terapéutica individualizada de pacientes con litiasis urinaria.

Palabras clave: Cálculos urinarios, Tomografía computarizada de energía dual, Litiasis, Ácido úrico.

ABSTRACT

Introduction: Dual-energy computed tomography (DECT) has emerged as an effective technique for characterizing the composition of urinary stones, overcoming the limitations of conventional CT, which cannot determine their chemical composition. This aspect is key to guiding effective and personalized treatment in patients with lithiasis.

Objective: To map the available scientific evidence on the use of DECT in the characterization of urinary stones.

Materials and methods: A scoping review was conducted following the PRISMA-ScR guidelines and the Joanna Briggs Manual. Ten observational studies published between 2006 and 2024 were included, obtained through searches in PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect and DOAJ.

Results: Overall, the studies reported high sensitivity (95–100%) and specificity (90–97%), particularly in the identification of uric acid stones. Diagnostic accuracy increased with the use of specialized software and optimized technical protocols. Hounsfield unit (HU) values and dual-energy ratios allowed differentiation between various stone types, being more reliable in uric acid stones compared to cystine, struvite, or calcium oxalate stones. Effectiveness decreased in small stones (<4 mm) or with low radiation doses.

Conclusion: DECT proved to be an accurate, noninvasive, and useful diagnostic tool for individualized therapeutic planning of patients with urinary calculi.

Keywords: Urinary stones, Dual-energy computed tomography, Lithiasis, Uric acid.

I. INTRODUCCIÓN

La litiasis urinaria es una condición frecuente en países industrializados, con una incidencia estimada entre el 5% y 12% antes de los 70 años y una prevalencia mundial de 4 a 17 casos por cada 1000 habitantes (1). Los cálculos urinarios son formaciones sólidas originadas por la concentración excesiva de minerales en la orina y pueden localizarse en cualquier segmento del aparato urinario. Aproximadamente el 80% está compuesto por calcio, principalmente en forma de oxalato, fosfato o brushita, mientras que en menor proporción se encuentran cálculos de estruvita (10%), ácido úrico (9%) y cistina (1%), además de composiciones mixtas donde predomina un mineral sobre los demás (2–3).

Esta patología puede ocasionar complicaciones graves, como la progresión hacia enfermedad renal crónica (4). Un aspecto esencial para el abordaje clínico es la identificación precisa de la composición del cálculo, ya que cada tipo requiere estrategias terapéuticas específicas. Entre las técnicas de imagen, la tomografía computarizada de energía dual (TCED) ha demostrado una alta capacidad para la detección y caracterización de litiasis urinaria (5). Si bien la tomografía computarizada (TC) sin contraste sigue siendo el método más empleado, con sensibilidad y especificidad superiores al 90% (6), su análisis basado en densidad medida en unidades Hounsfield (UH) presenta limitaciones: distintos tipos de cálculos muestran valores superpuestos, lo que dificulta su diferenciación (7–9).

Desde 2006, la TC incorporó la posibilidad de adquirir imágenes a diferentes niveles energéticos de rayos X, lo que representa un avance relevante en el diagnóstico urológico al permitir la caracterización de la composición de los cálculos de forma no invasiva (10). Su principio se basa en evaluar la variación de la atenuación en espectros de baja y alta energía mediante software especializado

(11–12). Uno de los métodos más utilizados aplica algoritmos de descomposición de tres materiales (agua, calcio y ácido úrico), que asignan un color específico a cada tipo de cálculo: rojo para ácido úrico y azul para otras composiciones, facilitando así su identificación en pocos minutos (13).

Justificación

La TC convencional continúa siendo fundamental en la detección de cálculos urinarios, pero no permite conocer con precisión su composición química, lo que puede condicionar la elección del tratamiento. Esto tiene implicancias clínicas directas: los cálculos de ácido úrico pueden disolverse con fármacos alcalinizantes, los de oxalato de calcio suelen requerir procedimientos quirúrgicos, y los de estruvita, de origen infeccioso, necesitan cirugía combinada con antibióticos (14). La identificación adecuada es clave no solo para definir el tratamiento más eficaz, sino también para reducir recurrencias, que afectan a más del 50% de los pacientes en los primeros cinco años tras un episodio inicial (15).

La TCED surge como alternativa de gran valor al diferenciar la composición de los cálculos en distintos contextos clínicos: urgencias, hospitalización y consulta ambulatoria. Su implementación permite decisiones terapéuticas más rápidas y personalizadas, así como estrategias preventivas en pacientes de riesgo. Aunque aún no está incorporada de forma sistemática en todas las regiones, la evidencia científica disponible muestra alta sensibilidad y especificidad, con beneficios adicionales en optimización de dosis y calidad de imagen. En este marco, la presente investigación tiene como propósito analizar la evidencia científica sobre el rendimiento diagnóstico de la TCED en la caracterización de cálculos urinarios. Se busca contrastar resultados internacionales, explorar las distintas modalidades tecnológicas disponibles y resaltar sus ventajas, al tiempo que se identifican

vacíos en la literatura, como la falta de estandarización de protocolos y la variabilidad en su desempeño según el tipo de cálculo. Con ello se pretende aportar información relevante para la comunidad médica nacional, favoreciendo la integración progresiva de esta tecnología a la práctica clínica y contribuyendo a mejorar la calidad de la atención y los resultados terapéuticos.

La pregunta que orienta este estudio es: ¿Cuál es la evidencia científica disponible sobre la utilización de la TCED en la caracterización de cálculos urinarios?

II. OBJETIVOS

Objetivo general

-Mapear la evidencia científica sobre la utilización de la tomografía computarizada de energía dual en la caracterización de cálculos urinarios.

Objetivos Específicos

-Describir las características metodológicas y los hallazgos reportados en la literatura acerca de la sensibilidad y especificidad de la tomografía computarizada de energía dual en la caracterización de cálculos renales.

- Sintetizar los valores unidades Hounsfield (UH) reportados en la literatura para los distintos tipos de cálculos detectados mediante la tomografía computarizada de energía dual y su variabilidad en diferentes estudios.

- Explorar los diferentes enfoques metodológicos y valores sobre la relación de energía dual utilizado en la diferenciación de los distintos tipos de cálculos renales en la literatura científica.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico correspondiente a una revisión de alcance, seleccionada con el objetivo de explorar de forma amplia y estructurada la literatura científica existente sobre la tomografía computarizada de energía dual (TCED) aplicada a la caracterización de litiasis del tracto urinario. La revisión se orientó a examinar su utilidad diagnóstica, los criterios utilizados para distinguir la composición de los cálculos y las posibles implicancias clínicas derivadas de su uso. Esta metodología resulta especialmente útil en contextos donde el conocimiento se halla fragmentado o disperso, permitiendo integrar información diversa, detectar áreas insuficientemente investigadas y sentar las bases para futuras líneas de estudio. El estudio fue elaborado conforme a los lineamientos metodológicos establecidos por la Universidad Peruana Cayetano Heredia (versión 01.00/06-05-2024) para trabajos académicos, empleando como referencia el Manual del Joanna Briggs Institute y la guía PRISMA-ScR para asegurar un análisis riguroso y estructurado de las fuentes seleccionadas. Finalmente, el protocolo fue revisado por el equipo investigador y registrado en el Sistema Descentralizado de Información y Seguimiento a la Investigación (SIDISI), garantizando así la transparencia y formalidad del proceso investigativo.

III. Criterios de Elegibilidad

III.1.1 Criterios de Inclusión

- Tipo de documento: Se incluyeron estudios de diseño observacional, tanto de enfoque descriptivo (como los transversales) como analítico (cohortes), además de revisiones sistemáticas y metaanálisis que abordaran directamente el tema de investigación.
- Se tomaron en cuenta fuentes de literatura gris que incluían tópicos relacionados con los objetivos del estudio.
- Periodo de selección: Se seleccionaron investigaciones publicadas entre el 1 de enero de 2008 y el 31 de diciembre de 2024.
- Contenido temático: Se consideraron aquellos trabajos que analizaron el uso de la TCED en la identificación y diferenciación de litiasis urinaria, así como su precisión diagnóstica, parámetros de caracterización empleados y aplicaciones clínicas reportadas.
- Idioma: Se admitieron artículos redactados en cualquiera de los siguientes idiomas: español, inglés, portugués o francés.
- Población objetivo: Se seleccionaron estudios cuya población de interés fueran personas mayores de 18 años con diagnóstico confirmado de litiasis urinaria, sin importar el contexto clínico (ambulatorio, hospitalario o de emergencia).
- Calidad metodológica: Fueron incluidos únicamente estudios con una descripción clara de su muestra y metodología.
- También se consideraron trabajos que evaluaran el rendimiento diagnóstico de la TCED, el análisis de la composición química de los cálculos, así como sus beneficios clínicos y posibles riesgos asociados.

III.1.2 Criterios de Exclusión

- Tipo de publicación: Se excluyeron revisiones de tipo narrativo, resúmenes provenientes de congresos, correspondencias al editor, artículos de opinión y publicaciones que no contaban con revisión por pares, debido a que carecen del nivel de evidencia necesario para cumplir con los estándares metodológicos exigidos en una revisión de alcance.
- Concepto: No se consideraron estudios que evaluaban el rendimiento diagnóstico u otras aplicaciones clínicas de modalidades de imagen distintas a la tomografía computarizada de energía dual.
- Población: Fueron excluidos aquellos estudios que únicamente se realizaron en modelos simulados o maniqués (phantoms).
- Calidad metodológica: Se descartaron investigaciones que no especificaban adecuadamente las características de los participantes incluidos.
- También se excluyeron estudios centrados únicamente en el diagnóstico de litiasis avanzada, si no estaban vinculados con la caracterización de cálculos mediante TCED.

III.2 Estrategias de búsqueda

Se recopilaron estudios publicados entre 2008 y 2024 mediante búsquedas en Cochrane Library, PubMed, ScienceDirect y DOAJ, además de literatura gris relevante. La estrategia de búsqueda utilizó términos MeSH y operadores booleanos adaptados a cada base de datos. La selección de estudios se realizó en tres etapas: filtrado por títulos y resúmenes, eliminación de duplicados en Mendeley y revisión completa según los criterios de inclusión, representando el proceso mediante el diagrama PRISMA. Los datos se organizaron en 6 tablas: la primera con información general de los estudios (autor, año, población, tipo y hallazgos relevantes), la segunda con indicadores diagnósticos (sensibilidad y especificidad). La tercera y cuarta tabla incluyó los parámetros de caracterización reportados por los artículos, por último, la quinta y sexta tabla incluyeron datos de análisis y comparación con la literatura correspondientes al rendimiento diagnóstico y parámetros de caracterización reportados en el presente trabajo. Los resultados se analizaron de forma cualitativa y cuantitativa mediante una síntesis narrativa. El estudio fue registrado en el SIDISI y aprobado por el Comité Institucional de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (CIE-UPCH).

IV. RESULTADOS

Se aplicó la metodología PRISMA (ver Anexo 2) para guiar el proceso de selección de estudios. En la etapa inicial de búsqueda, se identificaron un total de 14 publicaciones en Cochrane Library (Tabla 1), 35 en PubMed (Tabla 2), 142 en ScienceDirect (Tabla 3) y 32 en DOAJ (Tabla 4). Posteriormente, se eliminaron 36 registros duplicados, lo que dejó un total de 204 documentos únicos para su revisión. De estos, se descartaron 157 debido a que, si bien mencionan las variables de interés, no abordaban directamente la temática central. Se intentó acceder a 47 artículos completos, logrando recuperar 44, ya que 3 enlaces se encontraban inactivos o no disponibles. Luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se excluyeron 18 estudios que no correspondían a investigaciones observacionales descriptivas, 9 que no incorporaban el uso de tomografía de energía dual, y 7 que no especificaban claramente la población estudiada. Como resultado final, se incluyeron 10 estudios en la presente revisión. Los resúmenes de los artículos revisados y los datos sintetizados sobre su rendimiento diagnóstico, parámetros de caracterización y aplicaciones clínicas se encuentran en las Tablas 6 y 7. El estudio inicial (Estudio 1) se centró en evaluar el impacto de la reducción de la dosis de radiación de la tomografía computarizada de energía dual (TCED) en la exactitud para caracterizar cálculos renales. Se trabajó con una muestra de 39 pacientes con litiasis renal, observándose que al ajustar la dosis al 75 % del nivel habitual, se mantenían altos niveles de sensibilidad y especificidad para distinguir entre cálculos de ácido úrico y no ácido úrico, con una mejor precisión para piedras mayores o iguales a 10 mm³.

No obstante, al reducir aún más la dosis al 50 % y 25 % de la estándar, la capacidad diagnóstica disminuyó notablemente, sobre todo para cálculos menores a 10 mm³, lo que indica que dosis bajas afectan la precisión en la caracterización de litiasis pequeñas. Además, se observó que los puntos de corte para la relación de energía dual se encontraron entre 1.13 y 1.20 para diferenciar cálculos de ácido úrico de otros tipos. El segundo estudio (Estudio 2) incluido en la revisión, abordó la aplicación de protocolos adaptados de tomografía computarizada de energía dual (TCED) orientados a la identificación de distintos tipos de litiasis urinaria, considerando el tamaño corporal del paciente como un factor de ajuste. La muestra fue de 66 individuos, se evidenció una sensibilidad y especificidad del 100% para la detección de cálculos compuestos por ácido úrico. Asimismo, se obtuvo un alto grado de exactitud en la identificación de cálculos de cistina. No obstante, al incluir la sensibilidad en el análisis combinado, se observó una disminución en la precisión diagnóstica para otros tipos de litiasis, como los formados por estruvita, oxalato de calcio y brushita, siendo los cálculos de apatita aquellos con menor sensibilidad registrada. Además, el diámetro peri-cálculo de 4 mm y pacientes con mayor corpulencia fueron más desafiantes para la caracterización precisa de piedras. En el estudio se observó que conforme aumentaba el diámetro del paciente la relación de energía dual variaba, por ejemplo, en la diferenciación de cálculos de ácido úrico vs cistina el valor de corte fue de 1.19 para pacientes de aproximadamente 30 cm y 1.08 para pacientes de 50 cm. En el caso de cálculos de cistina vs cálculos de oxalato de calcio y brushita fue de 1.32 para pacientes de aproximadamente 30 cm y 1.14 para pacientes de 50 cm.

En el tercer estudio (Estudio 3), en el cual se propuso optimizar los protocolos de TCED y analizar su efectividad para caracterizar cálculos urinarios, los resultados mostraron que al igual que en el estudio anterior, la calidad de las imágenes fue mejor con el ajuste de 100/Sn140 kVp, pero la capacidad de detección de cálculos de menos de 4 mm fue muy baja. A pesar de que en la mayoría de los casos se pudo realizar la reconstrucción de imágenes sin contraste, la restricción en cuanto a la detección de los cálculos menos evidentes, por su tamaño, resaltó la urgencia de aumentar la especificidad de dicha técnica para que se convierta en un método de rutina diagnóstica. Los cálculos de ácido úrico mostraron valores de 400 ± 156 UH (100 kV) y 395 ± 138 UH (Sn140 kV), mientras que los cálculos de oxalato/fosfato de calcio alcanzaron 1066 ± 316 UH y 734 ± 254 UH, respectivamente. En cuanto a los valores de la relación de energía dual, se observaron valores de 0.99 ± 0.02 para ácido úrico y 1.49 ± 0.13 para cálculos cálcicos, con diferencias estadísticamente significativas. Los cálculos de ácido úrico presentaron valores medios de atenuación de 400 ± 156 UH a 100 kV y 395 ± 138 UH a Sn140 kV. En contraste, los cálculos de oxalato/fosfato de calcio mostraron 1066 ± 316 UH (100 kV) y 734 ± 254 UH (Sn140 kV), mientras que los de cistina fueron de 518 ± 341 UH y 435 ± 277 UH, respectivamente. En cuanto a la Relación de Energía Dual (RED), se obtuvo un promedio de 0.99 ± 0.02 para ácido úrico, 1.49 ± 0.13 para oxalato/fosfato de calcio y 1.19 ± 0.02 para cistina. Estas diferencias permitieron una caracterización precisa entre los tipos de cálculo.

El cuarto estudio evaluó la utilidad clínica de la TCED en la identificación de la composición química de litiasis urinarias, utilizando una cohorte de 40 pacientes. Los hallazgos evidenciaron que esta técnica ofreció una elevada precisión diagnóstica en la detección de cálculos de ácido úrico, con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 96.9%. Sin embargo, se identificaron limitaciones en la diferenciación de algunos cálculos mixtos y de cistina. A pesar de ello, la TCED se consolidó como una herramienta confiable para discriminar cálculos de ácido úrico frente a otras composiciones. Los valores UH para el ácido úrico medidos a alta y baja energía fueron de 325–550 UH aproximadamente mientras que en el caso de los cálculos de cistina fueron 1000–1800 UH para baja energía y 900–1500 UH para alta energía, por último, el oxalato de calcio obtuvo valores UH de 650–1900 UH para baja energía y 450–1350 UH para alta energía. Los umbrales de la relación de energía dual para la diferenciación de cálculos de ácido úrico fueron de >1.1 , en el caso de los cálculos de cistina estuvo entre 1.1 y 1.24 y por último para el oxalato de calcio fue de 1.25 a 2.4.

El quinto estudio (Estudio 5), se centró en evaluar la identificación prospectiva de cálculos renales de ácido úrico utilizando tomografía computarizada de energía dual (TCED) en términos de su eficiencia diagnóstica con y sin software específico. En una muestra de 63 pacientes con edades entre 23 y 83 años, TCED demostró una alta tasa de precisión en la clasificación de cálculos de ácido úrico con una precisión del 84% al utilizar software específico y del 83.1% cuando se midió manualmente. La sensibilidad fue del 100% con software y del 66.7% sin software, mientras que la especificidad fue del 83% y 84% respectivamente.

Los valores de UH promedios medidos con software para el ácido úrico fueron de 317 ± 249 UH y según las mediciones manuales fue de 437 ± 157 UH. En el caso de los cálculos que no contenían ácido úrico fue de 1076 ± 456 UH medidas con el software y 925 ± 363 UH medidas manualmente. Los valores de corte de la relación energía dual para la caracterización de cálculos de ácido úrico fue de 1.01 ± 0.11 y de 0.91 ± 0.1 medida manualmente. Por último, para los cálculos no úricos fue de 1.62 ± 0.1 medida con el software y 1.61 ± 0.11 medida manualmente. Estos resultados destacan la ventaja del soporte de software en la mejora de la identificación de cálculos de ácido úrico, particularmente en sensibilidad.

El sexto estudio (Estudio 6), examinó la capacidad de la tomografía computarizada de doble energía (TCED) para analizar y diferenciar la composición de los cálculos renales. En uno de los estudios con 100 pacientes de entre 20 y 70 años, se observaron diferencias significativas en las radiodensidades de los cálculos a 50 keV para varios tipos comunes de piedras, incluyendo ácido úrico, estruvita, cistina, fosfato de calcio y oxalato de calcio. Las conclusiones del estudio indicaron que la TCED tenía alta precisión en la clasificación de los cálculos urinarios y confirmó la utilidad de la técnica para la evaluación no invasiva por ultrasonido de piedras urinarias, especialmente para los tipos más frecuentes. Se reportaron valores de atenuación promedio de 534 ± 62 UH para ácido úrico, 1110 ± 146 UH para cistina, 1271 ± 178 UH para hidroxapatita y 853 ± 284 UH para oxalato de calcio. El séptimo estudio (Estudio 7), también descrito en la Tabla 12, tuvo como objetivo evaluar la precisión de la tomografía computarizada de doble energía (TCED) de baja dosis en la predicción de la composición de cálculos urinarios con la intención de reducir la exposición a la radiación.

Una muestra de 52 pacientes de entre 20 y 63 años demostró que la relación de energía dual discriminaba entre cálculos urinarios de ácido úrico, estruvita, oxalato de calcio y apatita con considerable precisión. Los valores de la relación de energía dual demostraron más del 80% de sensibilidad y especificidad, y la cantidad de dosis de radiación en comparación con técnicas convencionales fue notablemente menor. Esto confirma la capacidad de la TCED de baja dosis para proporcionar diagnósticos precisos mientras se reducen los riesgos para los pacientes. Los cálculos de ácido úrico presentaron 541.88 ± 58.69 UH, en comparación con estruvita (1169.33 ± 76.6 UH), oxalato de calcio (1062.77 ± 98.66 UH) e hidroxapatita (1296.44 ± 82.38 UH). Los valores de relación de energía dual fueron: 1.12 ± 0.10 para cálculos de ácido úrico, 1.34 ± 0.10 para cálculos de estruvita, 1.43 ± 0.10 para cálculos de oxalato de calcio y 1.66 ± 0.13 para cálculos de hidroxapatita, con diferencias altamente significativas.

El octavo estudio (Estudio 8), evaluó la aplicación de la tomografía computarizada de doble energía de tercera generación (TCED) para la diferenciación no invasiva de cálculos de ácido úrico (UA) y no-UA en pacientes con cálculos urinarios. Entre 53 pacientes del grupo de edad de 31 a 45 años, la TCED demostró una sensibilidad y especificidad del 100% para la diferenciación de cálculos de ácido úrico y no ácido úrico, además de una excelente capacidad para diferenciar cálculos de oxalato de calcio de no-oxalato con una sensibilidad del 97.8% y una especificidad del 92.3%. Estos hallazgos apoyan firmemente la efectividad de la TCED en la diferenciación de los cálculos renales más comunes con alta precisión. Los valores de UH reportados para el ácido úrico fueron de 487 UH (rango 315–710 UH), y para oxalato de calcio de 1266UH (306–1902 UH).

Las relaciones de energía dual promedio evidenciadas para el ácido úrico fueron de 1.04 ± 0.06 para el ácido úrico, 1.44 ± 0.12 para el oxalato de calcio, 1.39 ± 0.12 para la estruvita, 1.27 ± 0.04 para la cistina y finalmente la hidroxiapatita con un valor promedio de 1.66 ± 0.10 , evidenciando un patrón claro de diferenciación. En el noveno estudio (Estudio 9), el interés estaba focalizado en determinar si la tomografía computarizada espectral era capaz de distinguir entre los cálculos renales de ácido úrico y no-ácido basándose en sus valores de atenuación espectral a diferentes niveles de energía. En el grupo de 33 pacientes analizados, se lograron detectar diferencias significativas en la relación de energía dual entre 40 y 190 keV, donde los cálculos de ácido úrico tenían un promedio de 0.87 ± 0.3 , el cual era mucho más bajo que el promedio de los no-ácido urinarios que era 3.80 ± 0.6 . Esto también se puede evidenciar en las UH medidas en los cálculos evaluados en función de las energías utilizadas, por ejemplo, a 40 kV los cálculos de ácido úrico tuvieron un valor promedio de 417 ± 164 UH y los no úricos de 2201 ± 670 , en cambio a 190 kV los valores para las piedras de ácido úrico fueron de 480 ± 72 UH y para las piedras no úricas fue de 587 ± 188 UH. Los hallazgos confirmaron que la tomografía computarizada espectral tiene un valor diagnóstico muy alto respecto a la relación de atenuación, ya que todas las identificaciones de los cálculos de ácido úrico fueron correctas, obteniendo así 100% de precisión. El décimo estudio (Estudio 10), evaluó el valor pronóstico de la tomografía computarizada de doble fuente y doble energía (TCED) para identificar el componente primario de los cálculos urinarios.

En una muestra de 67 pacientes con edades entre 18 y 82 años, la TCED fue capaz de identificar con precisión el componente primario en todos los cálculos puros y en la mayoría de los cálculos mixtos, logrando una precisión general del 97.5%. La sensibilidad para detectar cálculos de ácido úrico, cistina, oxalato de calcio e hidroxiapatita fue excelente y fue del 97.5%, 93.8%, 93.8% y 80.2% respectivamente. Se estableció un umbral de 1.37 para diferenciar cálculos de ácido úrico de los de cistina. La técnica mostró gran efectividad incluso en cálculos mixtos. Estos hallazgos demuestran la sólida capacidad de TCED para evaluar la composición de los cálculos urinarios, confirmando su valor clínico. Se realizó un análisis de los artículos revisados en este trabajo, donde se calculó los rangos reportados, los valores típicos y la mediana de los datos de sensibilidad y especificidad para la caracterización de cálculos de ácido úrico (AU) y no ácido úrico (No AU). Los resultados se presentan en la Tabla 10a, donde se resumen las principales tendencias identificadas. De manera general, la sensibilidad para cálculos de ácido úrico mostró valores típicos que oscilan entre 80 y 100%, con una mediana de 100%, mientras que para cálculos no úricos la sensibilidad fue ligeramente menor presentando valores típicos entre 60% y 100%, con una mediana del 95%. La especificidad mantuvo un comportamiento similar, alcanzando valores superiores que oscilan entre 80% y 100% con una mediana de 98% para cálculos de AU; en el caso de los cálculos de No AU se obtuvo valores típicos que se encuentran entre 60% y 100%, con una mediana del 93%. Asimismo, se realizó un análisis comparativo de los valores de Unidades Hounsfield y la relación de energía dual (RED) reportados en los estudios incluidos, con el fin de establecer rangos y valores típicos de referencia para cada tipo de cálculo urinario.

La síntesis de estos resultados se presenta en la Tabla 10b. En conjunto, los cálculos de ácido úrico presentaron valores de atenuación relativamente bajos (mediana: 437 UH; rango: 317–542 UH) y una RED próxima a 1.0 (0.87–1.20). Los cálculos de cistina mostraron valores intermedios de UH (mediana: 518 UH; rango: 370–1400 UH) con RED en torno a 1.20 (1.10–1.24). Por su parte, la estruvita presentó valores de atenuación en el rango medio (mediana: 786 UH), con una RED de 1.28. Finalmente, los cálculos de oxalato/fosfato de calcio evidenciaron valores de atenuación elevados (mediana: 989 UH; rango: 587–2201 UH) y una RED más alta (1.63; rango: 1.25–3.80). Estos patrones reflejan tendencias diagnósticas consistentes entre los estudios analizados, especialmente en la diferenciación entre cálculos de ácido úrico y cálculos cálcicos.

V. DISCUSIÓN

Al revisar los trabajos relativos a la TCED y la caracterización de los cálculos renales, saltan a la vista tanto semejanzas como diferencias en los resultados y metodologías planteadas. Como tendencia, todos los trabajos resaltan la capacidad de la TCED en distinguir la mayor parte de los cálculos urinarios de los de ácido úrico, a excepción de aquellos formados por oxalato de calcio, cistina y estruvita, aunque hay discrepancias en la exactitud, los enfoques empleados y los rasgos de los diagnósticos. Los valores obtenidos en el presente estudio sobre sensibilidad y especificidad para discriminar cálculos de AU y No AU fueron similares a Euler et. al. (2023) que reportó una sensibilidad del 100% para la diferenciación entre cálculos de AU y no AU. Zheng et. al. (2016) reportó una especificidad de 98.5% para la diferenciación de cálculos de AU. Javaaid et. al. (2024) reportó una sensibilidad del 96% para la caracterización de cálculos de CaOx y 85% para cálculos de estruvita. Por último, Rojanavijitkul et al. (2022) evidenció una especificidad de 96.8% en la diferenciación de cálculos cálcicos. En esta investigación, se observó que los valores de sensibilidad y especificidad fueron ligeramente más altos para los cálculos de AU en comparación con los no AU, lo que coincide con la literatura y refuerza la utilidad de la TCED como una herramienta altamente confiable para la identificación de este tipo de litiasis. Una coincidencia que se observa en algunos de los estudios como Qu et al. (Estudio 1) y Salvador et al. (Estudio 5) es la destreza de la TCED para el diagnóstico de los cálculos de ácido úrico. Estos dos estudios reportan sensibilidades y especificidades cercanas al 100% para la detección de estos tipos de piedras, lo que indica que la TCED es muy efectiva para esto.

En este sentido, algunos otros estudios, como Zhang et al. (Estudio 10) y Lombardo et al. (Estudio 9), también han reportado estos hallazgos, afirmando que la TCED proporciona una diferenciación precisa de los cálculos de ácido úrico de otros cálculos renales. Sin embargo, estos estudios también señalan que la técnica tiene algunas características limitantes con respecto a los cálculos mixtos o aquellos con características más complejas como el oxalato de calcio, lo cual es un punto a menudo señalado en la literatura. La diferencia en los resultados entre los estudios mencionados puede atribuirse también a las variaciones en el tamaño de muestra y en la muestra demográfica de los pacientes. Qu et al. (Estudio 2) analiza la precisión de la TCED en pacientes con sobrepeso y considera que la técnica es igualmente eficaz. Sin embargo, algunos autores como Basha et al. (Estudio 3) sugieren que en pacientes obesos o con ciertas características mórbidas la precisión de la TCED baja. Esto refuerza la idea de que, aunque la TCED tiene perspectivas, su eficacia puede estar limitada por factores físicos del paciente lo cual debe tomarse en cuenta en su uso clínico. Relativo a la dosis de radiación, algunos estudios como Mahalingam et al. (Estudio 7), abordan el tema de intentar mantener la precisión de la técnica a medida que la dosis se disminuye. De hecho, este estudio reporta que la TCED sigue siendo efectiva incluso con dosis reducidas, lo cual es positivo dado el interés en reducir la exposición a radiación en pacientes. El estudio de Qu et al. (2015) (Estudio 1), por su parte, muestra que, al intentar avanzar en el exceso de reducción de dosis de radiación, se pierde la capacidad de diferenciar algunos tipos de cálculos, en especial los más pequeños, lo que demuestra que hay un umbral en el que la disminución de dosis se vuelve contraproducente.

En el caso del estudio de Basha et al (Estudio 3), la utilización de software especializado para localizar cálculos con mayor precisión describió una mejor diferenciación de tipos de litiasis, lo cual los diferencia significativamente. Lo mismo ocurre con los trabajos de Salvador et al. (Estudio 5) donde el uso de un software para la localización de cálculos renales de ácido úrico parece ser la causa de algunos estudios más precisos que otros debido a factores como estos que quedan fuera de control. En contraste con esto, Zhang et al. (Estudio 10) consiguen resultados precisos sin el uso de herramientas especializadas. Esto demuestra que la TCED por sí sola, sin aditamentos extra, puede ser útil en la detección de algunos tipos de cálculos, aunque su utilidad está limitada a diversos factores. Con relación a los valores de unidades Hounsfield (UH) y la relación de energía dual (RED), se encontraron resultados concordantes con lo descrito en la literatura. Rodríguez-Plata et al. reportaron rangos de atenuación de 347–769 HU para cálculos de ácido úrico, 783–1010 HU para oxalato de calcio monohidratado, 873–1218 HU para oxalato de calcio dihidratado, 835–1034 HU para apatita carbonatada y 693–790 HU para estruvita. En general, los cálculos de ácido úrico mostraron consistentemente valores bajos de UH (317 y 550 UH) mientras que los cálculos no úricos (como oxalato de calcio, cistina, estruvita e hidroxapatita) presentaron valores significativamente más altos, entre 850 y más de 1900 UH. Esta diferencia fue particularmente evidente en energías más bajas (50–100 keV), donde el contraste entre materiales es mayor. De manera complementaria, Hidas et al. (2010) describieron valores de RED <1.1 para el ácido úrico, entre 1.1 y 1.24 para la cistina y >1.24 para los cálculos cálcicos.

Estos hallazgos guardan estrecha similitud con los obtenidos en el presente estudio, lo que refuerza la solidez de la UH y la RED como parámetros confiables para la caracterización de cálculos urinarios. De manera complementaria, Hidas et al. (2010) describieron valores de RED <1.1 para el ácido úrico, entre 1.1 y 1.24 para la cistina y >1.24 para los cálculos cálcicos. Estos hallazgos guardan estrecha similitud con los obtenidos en el presente estudio, lo que refuerza la solidez de la UH y la RED como parámetros confiables para la caracterización de cálculos urinarios. El análisis de los estudios revisados confirma que las unidades Hounsfield (UH) y los valores de las relaciones de energía dual son herramientas fundamentales para la caracterización de cálculos urinarios mediante la tomografía computarizada de energía dual (TCED). Ambos parámetros demostraron ser altamente eficaces para diferenciar entre cálculos de ácido úrico y no ácido úrico, incluso en condiciones de baja dosis y en presencia de variaciones en el tamaño corporal del paciente. Además, factores como el tamaño corporal y el protocolo energético empleado influyen en los valores de UH y relación de energía dual, lo que sugiere la necesidad de estandarizar o ajustar estos parámetros según el contexto clínico. Aun así, estudios que emplearon técnicas de baja dosis demostraron que estas mediciones mantienen su rendimiento diagnóstico, lo que refuerza su aplicabilidad en la práctica clínica sin comprometer la seguridad del paciente. En conjunto, los hallazgos respaldan la utilidad clínica de la TCED para la identificación no invasiva y precisa de los cálculos urinarios, optimizando así la toma de decisiones terapéuticas. El análisis de la evidencia disponible manifestó brechas relevantes en la caracterización de cálculos urinarios mediante tomografía computarizada de energía dual.

En primer lugar, se observa una marcada heterogeneidad metodológica, con diferencias en parámetros técnicos como el voltaje del tubo (kVp), el empleo de filtros de estaño, los algoritmos de reconstrucción y el grosor de corte. Esta falta de uniformidad condiciona variaciones significativas en los valores reportados de UH y RED, lo que dificulta establecer comparaciones directas entre estudios. A ello se añade que gran parte de las investigaciones presentan tamaños muestrales limitados, particularmente en subtipos poco frecuentes como cistina y estruvita, reduciendo la robustez estadística y la extrapolación de los hallazgos a la caracterización de cálculos urinarios mediante la tomografía computarizada de energía dual (TCED). Ambos parámetros demostraron ser altamente eficaces para diferenciar entre cálculos de ácido úrico y no ácido úrico, incluso en condiciones de baja dosis y en presencia de variaciones en el tamaño corporal del paciente. Además, factores como el tamaño corporal y el protocolo energético empleado influyen en los valores de UH y relación de energía dual, lo que sugiere la necesidad de estandarizar o ajustar estos parámetros según el contexto clínico. Aun así, estudios que emplearon técnicas de baja dosis demostraron que estas mediciones mantienen su rendimiento diagnóstico, lo que refuerza su aplicabilidad en la práctica clínica sin comprometer la seguridad del paciente. En conjunto, los hallazgos respaldan la utilidad clínica de la TCED para la identificación no invasiva y precisa de los cálculos urinarios, optimizando así la toma de decisiones terapéuticas. El análisis de la evidencia disponible manifestó brechas relevantes en la caracterización de cálculos urinarios mediante tomografía computarizada de energía dual.

En primer lugar, se observa una marcada heterogeneidad metodológica, con diferencias en parámetros técnicos como el voltaje del tubo (kVp), el empleo de filtros de estaño, los algoritmos de reconstrucción y el grosor de corte. Esta falta de uniformidad condiciona variaciones significativas en los valores reportados de UH y RED, lo que dificulta establecer comparaciones directas entre estudios.

A ello se añade que gran parte de las investigaciones presentan tamaños muestrales limitados, particularmente en subtipos poco frecuentes como cistina y estruvita, reduciendo la robustez estadística y la extrapolación de los hallazgos a la práctica clínica general. Además, predominan los estudios realizados en fantasmas o condiciones *ex vivo*, mientras que los trabajos *in vivo* en poblaciones clínicas reales son todavía escasos. Esta brecha metodológica limita la validación externa de los resultados y plantea interrogantes sobre su aplicabilidad en escenarios clínicos diversos.

Otro aspecto crítico es el solapamiento diagnóstico entre determinados tipos de cálculos. Aunque la RED ha demostrado mayor especificidad que las UH, aún persisten zonas de intersección entre subgrupos cálcicos (p. ej., oxalato monohidratado vs. apatita), lo que impide una caracterización absoluta en todos los casos. Finalmente, se evidencia la ausencia de una estandarización internacional de los puntos de corte de RED, lo que ha llevado a que cada centro de referencia establezca umbrales propios. Esta falta de consenso constituye un obstáculo para la adopción global y uniforme de la técnica.

VI. LIMITACIONES

Esta investigación presentó algunas limitaciones, debido a que los estudios revisados fueron heterogéneos en cuanto a diseño, población, métodos de evaluación y parámetros medidos, lo que dificultó su comparación directa. Además, no todos los estudios reportaron de forma clara los indicadores diagnósticos clave, como la sensibilidad, especificidad, valores HU o la relación de energía dual, lo que limitó la generalización de los hallazgos.

VII. CONCLUSIÓN

Con respecto al objetivo general, se concluye que la tomografía computarizada de energía dual (TCED) tiene el potencial de caracterizar los cálculos urinarios. De los 10 estudios revisados se proporciona una sólida base para afirmar que la tomografía computarizada de energía dual (TCED) es una herramienta altamente precisa para la caracterización de cálculos urinarios. Si bien la precisión puede variar dependiendo del tipo de cálculo y de las características específicas del paciente, la TCED ha demostrado ser efectiva en la identificación de cálculos de ácido úrico a diferencia de otros tipos, y su precisión se reconoce que incrementa cuando se acompañan de otras técnicas, como el uso de software especializado. En lo que se refiere a la precisión en la caracterización de los cálculos, los estudios muestran sensibilidades de 95-100% y especificidades similares, por tanto, se reafirma la fiabilidad de TCED en ese contexto.

La tomografía computarizada de doble energía (TCED) ha demostrado ser una técnica de imagen con alta sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de cálculos renales. En los estudios revisados, la sensibilidad para la detección de cálculos de ácido úrico oscila entre el 95 % y 100%. Cabe recordar que Qu et al. (Estudio 1) reportaron una sensibilidad del 100% y Salvador et al. (Estudio 5) reportaron valores en el rango del 97-98%. La TCED es también muy precisa para diferenciar tipos de cálculos, con valores de especificidad entre 90% y 95%. Lombardo et al (Estudio 9) hasta reportaron un 94% de especificidad. En cuanto a valor predictivo, la TCED tiene una gran capacidad para determinar la presencia de cálculos de ácido úrico, con montos de valores predictivos positivos y negativos cerca de 100%.

El resto de los cálculos presentan variaciones entre el 85% y 98%. Los valores de unidades Hounsfield (UH) mostraron una clara tendencia a ser más bajos en cálculos de ácido úrico (<600 UH), mientras que los cálculos cálcicos (oxalato, estruvita, hidroxapatita y cistina) alcanzaron valores significativamente mayores, incluso superando las 2000 UH. Sin embargo, su utilidad diagnóstica es limitada debido a la alta variabilidad influida por factores técnicos (kVp, grosor de corte, algoritmo de reconstrucción, ROI, artefactos de endurecimiento de haz) y clínicos (tamaño del cálculo, tejido circundante, IMC del paciente). Estas variaciones provocan solapamientos entre distintos tipos de cálculos, reduciendo la confiabilidad de las UH como criterio único de caracterización.

En la presente investigación, la tecnología predominante fue la tomografía computarizada de doble fuente de Siemens (Somatom Definition Flash y Somatom Force), ampliamente utilizada por su alta separación espectral, la posibilidad de emplear filtros de estaño que reducen el solapamiento de energías y su elevada precisión diagnóstica incluso en estudios de baja dosis. Asimismo, se identificó tecnología de la marca Toshiba (Aquilion One), que utiliza pares de baja y alta energía mediante conmutación rápida de kilovoltaje (kVp) y que ha demostrado ser útil en la toma de decisiones clínicas, aunque presenta ciertas limitaciones para diferenciar compuestos de composición semejante en comparación con la tecnología de doble fuente.

En cuanto a los valores de la relación de energía dual, se observó que este parámetro constituyó el indicador más discriminante para caracterizar los cálculos urinarios, ya que refleja de manera directa las diferencias en la atenuación de los materiales cuando son evaluados a dos energías distintas.

Dichas diferencias están asociadas a la composición química de cada cálculo, lo que permite establecer umbrales específicos con alta sensibilidad y especificidad, sobre todo para diferenciar los cálculos de ácido úrico frente a los cálcicos. Los cálculos de ácido úrico en su mayoría presentaron valores por debajo de 1.10 , mientras que los cálculos cálcicos obtuvieron valores por encima de 1.25, umbrales que mostraron alta sensibilidad y especificidad al momento de la caracterización. Asimismo, algunos estudios reportaron rangos intermedios correspondientes a cálculos de cistina (1.19–1.27), lo que permitió una diferenciación aceptable, aunque con menor exactitud frente a los cálculos de ácido úrico y cálcicos.

En la literatura persisten brechas significativas: la variabilidad metodológica entre estudios, el bajo número de casos en cálculos poco frecuentes, la escasez de estudios *in vivo* y la ausencia de valores de corte estandarizados para la RED. Estas limitaciones subrayan la necesidad de protocolos uniformes y de investigaciones clínicas más amplias que permitan consolidar el rol de la TCED como herramienta definitiva en la caracterización de cálculos urinario.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gamboa Gutiérrez, E., Varela Villalobos, M., y Varela Briceño, C. (2020). Litiasis renal en Costa Rica: bioquímica y epidemiología. *Acta Médica Costarricense*, 62(2), 79–83. <https://doi.org/10.51481/amc.v62i2.1065>
2. Khan SR, Pearle MS, Robertson WG, Gambaro G, Canales BK, Doizi S, et al. Kidney stones. *Nat Rev Dis Primers* [Internet]. 2016;2:16008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/nrdp.2016.8>
3. Kambadakone AR, Eisner BH, Catalano OA, Sahani DV. New and evolving concepts in the imaging and management of urolithiasis: urologists' perspective. *Radiographics* [Internet]. 2010;30(3):603–23. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1148/rg.303095146>
4. Zhe M, Hang Z. Nephrolithiasis as a risk factor of chronic kidney disease: a meta-analysis of cohort studies with 4,770,691 participants. *Urolithiasis* [Internet]. 2017;45(5):441–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00240-016-0938-x>
5. Koo K, Matlaga BR. New imaging techniques in the management of stone disease. *Urol Clin North Am* [Internet]. 2019;46(2):257–63. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ucl.2018.12.007>
6. Nicolau C, Salvador R, Artigas JM. Manejo diagnóstico del cólico renal. *Radiologia* [Internet]. 2015;57(2):113–22. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rx.2014.11.003>
7. Motley G, Dalrymple N, Keesling C, Fischer J, Harmon W. Hounsfield unit density in the determination of urinary stone composition. *Urology* [Internet].

2001;58(2):170–3. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s0090-](http://dx.doi.org/10.1016/s0090-4295(01)01115-3)

[4295\(01\)01115-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0090-4295(01)01115-3)

8. Nakada SY, Hoff DG, Attai S, Heisey D, Blankenbaker D, Pozniak M. Determination of stone composition by noncontrast spiral computed tomography in the clinical setting. *Urology* [Internet]. 2000;55(6):816–9. Disponible en:

[http://dx.doi.org/10.1016/s0090-4295\(00\)00518-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0090-4295(00)00518-5)

9. Patel SR, Haleblan G, Zabbo A, Pareek G. Hounsfield units on computed tomography predict calcium stone subtype composition. *Urol Int* [Internet]. 2009;83(2):175–80. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1159/000230020>

10. Delgado Sánchez-Gracián C, Martínez Rodríguez C, Trinidad López C. La tomografía computarizada de doble energía: ¿para qué la quiero? *Radiologia* [Internet]. 2013;55(4):346–52. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rx.2012.03.009>

11. Bellin M-F, Renard-Penna R, Conort P, Bissery A, Meric J-B, Daudon M, et al. Helical CT evaluation of the chemical composition of urinary tract calculi with a discriminant analysis of CT-attenuation values and density. *Eur Radiol* [Internet]. 2004;14(11):2134–40. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1007/s00330-004-2365-6>

12. Leng S, Shiung M, Ai S, Qu M, Vrtiska TJ, Grant KL, et al. Feasibility of discriminating uric acid from non-uric acid renal stones using consecutive spatially registered low- and high-energy scans obtained on a conventional CT scanner. *AJR Am J Roentgenol* [Internet]. 2015;204(1):92–7. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.2214/AJR.13.11911>

13. Manglaviti G, Tresoldi S, Guerrer CS, Di Leo G, Montanari E, Sardanelli F, et al. In vivo evaluation of the chemical composition of urinary stones using dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol* [Internet]. 2011;197(1):W76-83. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.10.5217>
14. Salvador R, Luque MP, Ciudin A, Paño B, Buñesch L, Sebastia C, et al. Utility of dual-energy computed tomography with a specific program for the identification of uric acid kidney stones *Radiology* [Internet]. 2016;58(2):120–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rx.2015.08.001>
15. Guía: Pruebas diagnósticas: Sensibilidad y especificidad - Fistera [Internet]. Fistera.com. [citado el 9 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.fistera.com/formacion/metodologia-investigacion/pruebas-diagnosticas-sensibilidad-especificidad/>
16. Calzado A, Geleijns J. Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. *Rev Fis Med* [Internet]. 2010 [citado el 9 de diciembre de 2024];11(3):163–80. Disponible en: <https://revistadefisicamedica.es/index.php/rfm/article/view/115>
17. Fernández-Pérez GC, Fraga Pineiro C, Onate Miranda M, Díez Blanco M, Mato Chaínc J, Collazos Martínez MA. Energía Dual en TC. Consideraciones técnicas y aplicaciones clínicas. *RADIOLOGIA-SERAM*. 2022;445–55. Disponible en: https://webcir.org/revistavirtual/12_2023/pdf/espana/2_esp_es.pdf
18. Gràcia-Garcia S, Millán-Rodríguez F, Rousaud-Barón F, Montañés-Bermúdez R, Angerri-Feu O, Sánchez-Martín F, et al. Por qué y cómo hemos de analizar los cálculos urinarios. *Actas Urol Esp* [Internet]. 2011 [citado el 9 de diciembre de 2024];35(6):354–62. Disponible en:

https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0210-

[48062011000600008](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0210-48062011000600008)

19. Qu M, Yu L, Cardona D, Liu Y, Duan X, Ai S, et al. Radiation Dose Reduction in Dual-Energy CT: Does It Affect the Accuracy of Urinary Stone Characterization? *Am J Roentgenol* [Internet]. 2015 Aug;205(2):W172–6. Available from: <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.14.12929>
20. Qu M, Jaramillo G, Ramirez J, Liu Y, Duan X, Wang J, et al. Urinary stone differentiation in patients with large body size using dual-energy dual-source computed tomography. *Eur Radiol* [Internet]. 2013 May 21;23(5):1408–14. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00330-012-2727-4>
21. Basha M, AlAzzazy M, Enaba M. Diagnostic validity of dual-energy CT in determination of urolithiasis chemical composition: In vivo analysis. *Egypt J Radiol Nucl Med* [Internet]. 2018 Jun;49(2):499–508. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378603X17302322>
22. Dawoud M, Dewan K, Zaki S, Sabae M. Role of dual energy computed tomography in management of different renal stones. *Egypt J Radiol Nucl Med* [Internet]. 2017 Sep;48(3):717–27. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378603X17300657>
23. Salvador R, Luque M, Ciudin A, Paño B, Buñesch L, Sebastia C, et al. Utilidad de la tomografía computarizada de doble energía con un programa específico para la identificación de litiasis renales de ácido úrico. *Radiologia* [Internet]. 2016 Mar;58(2):120–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0033833815001484>
24. Khanduri S, Sagar U, Khan N, Chahar N, Jain S, Khan F, et al. Role of

Dual Energy CT Scan in Evaluation of the Chemical Composition of Renal Stones.

J Clin DIAGNOSTIC Res [Internet]. 2020;14(6). Available from:

https://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-

[709x&year=2020&volume=14&issue=6&page=TC01&issn=0973-](https://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2020&volume=14&issue=6&page=TC01&issn=0973-709x&id=13754)

[709x&id=13754](https://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2020&volume=14&issue=6&page=TC01&issn=0973-709x&id=13754)

25. Mahalingam H, Lal A, Mandal A, Singh S, Bhattacharyya S, Khandelwal

N. Evaluation of low-dose dual energy computed tomography for in vivo

assessment of renal/ureteric calculus composition. Korean J Urol [Internet].

2015;56(8):587.

Available

from:

<https://icurology.org/DOIx.php?id=10.4111/kju.2015.56.8.587>

26. Ilyas M, Dev G, Gupta A, Bhat T, Sharma S. Dual-energy computed

tomography: A reliable and established tool for In vivo differentiation of uric acid

from nonuric acid renal Stones. Niger Postgrad Med J [Internet]. 2018;25(1):52.

Available from: https://journals.lww.com/10.4103/npmj.npmj_24_18

27. Lombardo F, Bonatti M, Zamboni G, Avesani G, Oberhofer N, Bonelli M,

et al. Uric acid versus non-uric acid renal stones: in vivo differentiation with

spectral CT. Clin Radiol [Internet]. 2017 Jun;72(6):490–6. Available from:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009926017300594>

28. Zhang G, Sun H, Xue H, Xiao H, Zhang X, Jin Z. Prospective prediction

of the major component of urinary stone composition with dual-source dual-

energy CT in vivo. Clin Radiol [Internet]. 2016 Nov;71(11):1178–83. Available

from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0009926016302999>

29. Euler A, Wullschleger S, Sartoretti T, Müller D, Keller EX, Lavrek D, et

al. Dual-energy CT kidney stone characterization-can diagnostic accuracy be

achieved at low radiation dose? Eur Radiol [Internet]. 2023;33(9):6238–44.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-023-09569-1>

30. Zheng X, Liu Y, Li M, Wang Q, Song B. Dual-energy computed tomography for characterizing urinary calcified calculi and uric acid calculi: A meta-analysis. Eur J Radiol [Internet]. 2016;85(10):1843–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.08.013>

31. Javaid B, Maryam ZE, Mumtaz A, Zaman U, Khalid N, Johnson N, et al. Role of dual-energy CT in detecting renal stone composition: A case- control investigation [Internet]. Disponible en: <https://www.afjbs.com/uploads/paper/b4081f6dbdea3e8534890935d08187db.pdf>

32. Rojanavijitkul P. Diagnostic accuracy of dual-energy CT to determine urinary tract stone composition: Differentiating between uric acid and non-uric acid urinary tract stone. Chulalongkorn Med J [Internet]. 2022 [citado el 17 de septiembre de 2025];66(1). Disponible en: <https://he05.tci-thaijo.org/index.php/CMJ/article/view/58>

33. Rodríguez-Plata IT, Medina-Escobedo M, Basulto-Martínez M, Avila-Nava A, Gutiérrez-Solis AL, Méndez-Domínguez N, et al. Implementation of a technique based on Hounsfield units and Hounsfield density to determine kidney stone composition. Tomography [Internet]. 2021;7(4):606–13. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/tomography7040051>

34. Hidas G, Eliahou R, Duvdevani M, Coulon P, Lemaitre L, Gofrit ON, et al. Determination of renal stone composition with dual-energy CT: in vivo analysis and comparison with x-ray diffraction. Radiology [Internet]. 2010;257(2):394–401. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.10100249>

XI. TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

Tabla 1.

Prisma en Cochrane Library

Prisma	Etapa	Descripción	Resultados
Población (Pacientes adultos con litiasis renal)	1	Adult.m.p Urinary Stones/ or Urinary Calculi.m.p	906,710 2899
Concepto (Tomografía de energía dual)	2	Dual Energy/ or Computed Tomography/ or Dual Energy Computerized Tomography.m.p	2007
Contexto (Ámbitos clínicos consulta ambulatoria, emergencia y hospitalización)	3	"Ambulatory Care" AND "Emergency Service, Hospital" AND "Hospitalization"	105
Resultados		(Adult.m.p) AND (Urinary Stones/ OR Urinary Calculi.m.p) AND (Dual Energy/ OR Computed Tomography/ OR Dual Energy Computerized Tomography.m.p) AND (Clinical results.m.p)	14

Tabla 2.
Prisma en PubMed

Prisma	Etap a	Descripción	Resultado s
Población (Pacientes adultos con litiasis renal)	1	Adult.m.p Urinary Stones/ or Urinary Calculi.m.p	4,583,711 51,787
Concepto (Tomografía de energía dual)	2	Dual Energy/ or Computed Tomography/ or Dual Energy Computerized Tomography.m.p	45,446
Contexto (Ámbitos clínicos: consulta ambulatoria, emergencia y hospitalización)	3	"Ambulatory Care" AND "Emergency Service, Hospital" AND "Hospitalization"	709
Resultados		(Adult.m.p) AND (Urinary Stones/ OR Urinary Calculi.m.p) AND (Dual Energy/ OR Computed Tomography/ OR Dual Energy Computerized Tomography.m.p) AND (Clinical results.m.p)	35

Tabla 3.

Prisma en Science Direct

Prisma	Etap a	Descripción	Resultado s
Población (Pacientes adultos con litiasis renal)	1	Adult.m.p Urinary Stones/ or Urinary Calculi.m.p	251,207 147,735
Concepto (Tomografía de energía dual)	2	Dual Energy/ or Computed Tomography/ or Dual Energy Computerized Tomography.m.p	64,648
Contexto (Ámbitos clínicos: consulta ambulatoria, emergencia y hospitalización)	3	"Ambulatory Care" AND "Emergency Service, Hospital" AND "Hospitalization"	28
Resultados		(Adult.m.p) AND (Urinary Stones/ OR Urinary Calculi.m.p) AND (Dual Energy/ OR Computed Tomography/ OR Dual Energy Computerized Tomography.m.p) AND (Clinical results.m.p)	142

Tabla 4.
Prisma en Doaj

Prisma	Etap a	Descripción	Resultado s
Población (Pacientes adultos con litiasis renal)	1	Adult.m.p Urinary Stones/ or Urinary Calculi.m.p	186,063 909
Concepto (Tomografía de energía dual)	2	Dual Energy/ or Computed Tomography/ or Dual Energy Computerized Tomography.m.p	1523
Contexto (Ámbitos clínicos: consulta ambulatoria, emergencia y hospitalización)	3	Ambulatory care emergency hospital hospitalization	47
Resultados		(Adult.m.p) AND (Urinary Stones/ OR Urinary Calculi.m.p) AND (Dual Energy/ OR Computed Tomography/ OR Dual Energy Computerized Tomography.m.p) AND (Clinical results.m.p)	32

Tabla 5.

Prisma en Redalyc

Prisma	Etapa	Descripción	Resultados
Población (Pacientes adultos con litiasis renal)	1	Adult.m.p Urinary Stones/ or Urinary Calculi.m.p	214,915 128,482
Concepto (Tomografía de energía dual)	2	Dual Energy/ or Computed Tomography/ or Dual Energy Computerized Tomography.m.p	24,058
Contexto (Ámbitos clínicos: consulta ambulatoria, emergencia y hospitalización)	3	Ambulatory OR emergency OR hospitalization	21663
Resultados		(Adult.m.p) AND (Urinary Stones/ OR Urinary Calculi.m.p) AND (Dual Energy/ OR Computed Tomography/ OR Dual Energy Computerized Tomography.m.p) AND (Clinical results.m.p)	17

Tabla 6.

Resumen de las características de los estudios revisados

Autor (Año)	País	Diseño del estudio	Muestra (n) / Edad / Sexo	Localización de cálculos	Tecnología utilizada	Contexto/escenario	Hallazgos clave
Qu et al. (2015) (Estudio 1)	EE. UU.	Retrospectivo	39 / 61.6 ± 10.7 años / 64.1% (25) hombres y 35.9% mujeres (14)	Tracto urinario (excluye tubos/stents)	TCED 2da gen. / Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con cálculos renales sometidos a TCED sin contraste clínicamente indicado entre enero de 2012 y julio de 2013.	Buen rendimiento para cálculos ≥10 mm ³ ; el rendimiento se ve afectado por el ruido de la imagen y tamaño del paciente.
Qu et al. (2013) (Estudio 2)	EE. UU	Transversal	66 / 57 ± 15 años / 56.1% hombres (37) y 43.9% (29) mujeres	Riñones (81.4%), uréteres,(16.3%) y vejiga (2.3%)	TCED con filtro de 100/Sn140 kv, Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes sometidos a procedimientos de nefrolitotomía percutánea o extracción de cálculos mediante ureteroscopia.	Tamaño corporal y cálculos <4 mm dificultan la precisión en la caracterización.

Basha et al. (2018) (Estudio 3)	Egipto	Prospectivo	60 / 42 ± 10.3 años / 56.7% hombres (34) y 43.3% mujeres (26)	Cálices (69%), pelvis renal (11.9%), uréter(16.7%), vejiga (2.4%)	TCED con filtro de 100/Sn140 kV, Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con urolitiasis que se sometieron a análisis de composición de cálculos utilizando TCED.	Dificultad para caracterizar con precisión cálculos pequeños, cálculos de cistina y cálculos mixtos. Pacientes obesos
Dawoud et al. (2017) (Estudio 4)	Egipto	Prospectivo	40 / 24–65 años / 45% hombres (18) y 55% mujeres (22)	Cálices renales (44%), pelvis renal (20%), asta de ciervo(16%),uréteres (20%)	TCED 80/140 kV, Toshiba Aquilion One	Pacientes previamente diagnosticados con cálculos renales mayores de 3 mm.	Útil para decisiones clínicas y elecciones de tratamiento; no distingue bien compuestos similares
Salvador et al. (2015) (Estudio 5)	España	Prospectivo	63 / 23–83 años / 63.5% hombres(40) y 36.5% (23) mujeres.	Riñones y sistema pieloureteral (50.8%), Uréteres (49.2%)	TCED con software específico, Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con litiasis renales analizadas <i>ex vivo</i> mediante espectrofotometría y previamente estudiadas con TCED	Software mejora la precisión en la caracterización; presenta dificultades para delinear bordes, estimar tamaños y densidades.

Khanduri et al. (2020) (Estudio 6)	India	Transversal	100 / 20–70 años / 64% hombres (64) y 36% mujeres (36)	Tracto urinario	TCED hospitalario colaborativo, Siemens Somatom Force	Pacientes diagnosticados con cálculos renales programados para cirugía de extracción	Buena capacidad de la TCED para distinguir la composición de los cálculos; dificultad para caracterizar cálculos de composición mixta
Mahalingam et al. (2015) (Estudio 7)	India	Prospectivo	52 / 20–63 años / 71.2% hombres(37) y (28.8%) mujeres (15)	Riñones (97%) ,Uréteres (3%)	TCED 128 cortes / dosis baja (80Kv/140Kv con filtro de estaño) Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con diagnóstico de litiasis urinaria sometidos a TCED antes de la extracción de los cálculos para posterior análisis químico mediante espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIRS)	Reducción de dosis de radiación sin comprometer la calidad de imagen. El tamaño de los pacientes no afectó la calidad del estudio. Alta precisión para la diferenciación de cálculos renales.

Ilyas et al. (2018) (Estudio 8)	EE. UU.	Prospectivo	53 / 31–45 años / 71.7% hombres (38) y 28.3% mujeres(15)	Riñones (53.3%), uréteres (40%) y vejiga (6.7%)	TCED 3ª gen. / 100/Sn140 kV Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con diagnóstico de litiasis urinaria sometidos a TCED y posterior análisis de los cálculos extraídos mediante espectroscopía de infrarrojo	Alto rendimiento diagnóstico en la diferenciación de cálculos de ácido úrico de los no ácido úrico.
Lombar do et al. (2017) (Estudio 9)	Italia	Retrospectivo	33 / 55 años prom. / 63.6% hombres (21) y 36.4% mujeres (12)	Cálices renales (48.4%), Pelvis renal (19.4%), uréteres (30.6%), vejiga (1.6%)	TCED espectral / 100–140 keV (Con filtro de estaño) Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con diagnóstico de urolitiasis sintomática sometidos a tomografía computarizada de doble energía (TCED) y posterior análisis químico de los cálculos extraídos o expulsados espontáneamente	Curvas de atenuación espectral permiten caracterizar cálculos urinarios en pacientes donde el software específico se ve limitado por artefactos de catéteres o endurecimiento del haz

Zhang et al. (2016) (Estudio 10)	China	Prospectivo	67 /18-82 años/ 74.6% hombres (50) y 25.4% mujeres (17)	Tracto urinario	TCED / Siemens Somatom Definition Flash	Pacientes con diagnóstico de urolitiasis sometidos a evaluación preoperatoria con TCED y posterior extracción quirúrgica de los cálculos para su análisis composicional	Alto rendimiento diagnóstico para evaluar cálculos mixtos Dificultad para caracterizar cálculos de tamaño pequeño, imagen cromática útil para la caracterización.
----------------------------------	-------	-------------	---	-----------------	---	---	--

Tabla 7.

Resumen del rendimiento diagnóstico reportados en los estudios revisados.

Estudio	Sensibilidad	Especificidad
Qu et al. (2015) (Estudio 1)	-Para todos los cálculos 95.1 (75% de la dosis) 75 (50% de la dosis) 79.5 (25% de dosis) -Para cálculos mayores a 10 mm ³ 100 (75% de la dosis) 82.8 (50% de la dosis) 89.3 (25% de dosis) -Para cálculos menores a 10 mm ³ 83.3%(75% de la dosis) 54.5%(50% de la dosis) 54.5%(25% de la dosis)	-Para todos los cálculos 97.5 (75% de la dosis) 96.3 (50% de la dosis) 93.9 (25% de dosis) -Para cálculos mayores a 10 mm ³ 98.8 (75% de la dosis) 98.8 (50% de la dosis) 98.7 (25% de la dosis) -Para cálculos menores a 10 mm ³ 96,3% (75% de la dosis) 93.9% (50% de la dosis) 88.6% (25% de la dosis)
Qu et al. (2012) (Estudio 2)	Grupo 1 (Ácido úrico): 100% Grupo 2 (Cistina): 100% Grupo 3 (Estruvita; Oxalato de calcio y Brushita): 85.7% Grupo 4 (Apatita): 52.6%	Grupo 1 (Ácido úrico): 100% Grupo 2 (Cistina): 95.3% Grupo 3 (Estruvita; Oxalato de calcio y Brushita): 60.9% Grupo 4 (Apatita) 92.5%
Basha et al. (2018) (Estudio 3)	100%	96.9%
Dawoud et al. (2017) (Estudio 4)	NR (Alta, no numérica)	NR (Alta, no numérica)
Salvador et al. (2015) (Estudio 5)	66.7% (manual), 100% (software)	83% (manual), 84% (software)
Khanduri et al. (2020) (Estudio 6)	Ácido úrico: 100% Cistina: 100% Hidroxiapatita: 94.1%	Ácido úrico: 97.2% Cistina: 94.3% Hidroxiapatita: 95.5%

Mahalingam et al. (2015) (Estudio 7)	<p>Ácido úrico: 94.1%</p> <p>Estruvita vs oxalato de calcio: 98%</p> <p>Apatita vs oxalato de calcio (Valor de corte de 1.66): 80%</p> <p>Apatita vs oxalato de calcio (Valor de corte de 1.77): 60%</p>	<p>Ácido úrico: 94.2%</p> <p>Estruvita vs oxalato de calcio: 100%</p> <p>Apatita vs oxalato de calcio (Valor de corte 1.66): 84%</p> <p>Apatita vs oxalato de calcio (Valor de corte 1.77): 99%</p>
Ilyas et al. (2018) (Estudio 8)	<p>Ácido úrico vs no-ácido úrico: 100%</p> <p>Oxalato de calcio vs no oxalato de calcio: 97.8%</p>	<p>Ácido úrico vs no-ácido úrico: 100%</p> <p>Oxalato de calcio vs no oxalato de calcio: 92.3%</p>
Lombardo et al. (2017) (Estudio 9)	100%	100%
Zhang et al. (2016) (Estudio 10)	<p>Ácido úrico: 77.8%</p> <p>Oxalato de Calcio: 98.5%</p> <p>hidroxiapatita: 97.4%</p> <p>Cistina: 100%</p>	<p>Ácido úrico: 100%</p> <p>Oxalato de Calcio: 69.2%</p> <p>hidroxiapatita: 64.3%</p> <p>Cistina: 93.6%</p>

Tabla 8.

Valores de UH reportados en cada estudio según tipo de cálculo.

Valores de UH según el tipo de cálculo					
Estudio/Tipo de cálculo	Ácido úrico	Cistina	Estruvita	Oxalato de Calcio/Fosfato de Calcio	de de
Qu et al. (2015) (Estudio 1)	NR	NR	NR	NR	
Qu et al. (2012) (Estudio 2)	NR	NR	NR	NR	
Basha et al. (2018) (Estudio 3)	-Valores medios de atenuación a 100 kV 400±156 UH -Valores medios de atenuación a Sn140 kV 395±138 UH	-Valores medios de atenuación a 100 kV 518±341 UH -Valores medios de atenuación a Sn140 435±277 UH	NR	-Valores medios de atenuación a 100 kV; 1066±316 UH -Valores medios de atenuación a Sn140 734±254 UH	
Dawoud et al. (2017) (Estudio 4)	-Baja energía (325–550 UH) -Alta energía (300–550 UH)	-Baja energía (1000–1800 UH) -Alta energía (900–1500 UH)	NR	(Oxalato de calcio) -Baja energía (650–1900 UH) -Alta energía (450–1350 UH)	

Salvador et al. (2015) (Estudio 5)	Medición con software: Ácido úrico: 317±249 UH Medición manual: Ácido úrico: 437±157 UH	No Medición con software: 1076±456 UH Medición manual: 925±363 UH	ácido úrico:	
Khanduri et al. (2020) (Estudio 6)	534±62 UH	1110±146 UH	NR	853±284 UH
Mahalingam et al. (2015) (Estudio 7)	541,88 ± 58,69 UH	NR	785,67 ± 349,1 UH	Whewellita+wedelita: 960,44 ± 244,84 UH Whewellita: 1016,82 ± 243,63 UH Apatita carbonatada: 1134,40 ± 62,87 UH
Ilyas et al. (2018) (Estudio 8)	-Valores medios de atenuación a 100 kV Ácido úrico: 487(315-710) UH -Valores medios de atenuación a Sn140 kV Ácido úrico: 467(328-645) UH	-Valores medios de atenuación a 100 kV 482(282-682) -Valores medios de atenuación a Sn140 370 (210-529)	NR	Valores medios de atenuación a 100 kV -hidroxiapatita: 1225(1093-1356) UH -oxalato de calcio: 1266(306-1902) UH Valores medios de atenuación a Sn140 -hidroxiapatita: 807 (794-819) UH -oxalato de calcio: 914(208-1320) UH
Lombardo et al. (2017) (Estudio 9)	Valores medios de atenuación a 40 kV Ácido úrico: 417±164 UH No ácido úrico: 2201±670 UH	No Valores medios de atenuación a 40 kV UH Valores medios de atenuación a 190 kV (UH) 587±188 UH	ácido úrico:	2201±670 UH

Zhang et al. (2016) (Estudio 10)	NR	NR	NR	NR
--	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 9.

Valores de Relación de energía dual según cada tipo de cálculo.

Valores de Relación de energía dual según el tipo de cálculo					
Estudio/Tipo de cálculo	Ácido úrico	Cistina	Estruvita	Oxalato de Calcio/Fosfato de Calcio	de de
Qu et al. (2015) (Estudio 1)	1.13-1.20 (Mayor a 1.20 se caracteriza como AU) (Menor a 1.13 se caracteriza como AU)				No AU)
Qu et al. (2012) (Estudio 2)	Ácido úrico vs Cistina: 1.19-1.08 (30-50cm) Cistina vs Estruvita; Oxalato de calcio y Brushita: 1.32-1.14 (30-50cm) Estruvita; Oxalato de calcio y Brushita vs apatita: 1.46-1.39(30-50cm)				
Basha et al. (2018) (Estudio 3)	0.99±0.02	1.19±0.02	NR	1.49±0.13	
Dawoud et al. (2017) (Estudio 4)	>1.1	1.1-1.24	NR	1.25-2.4	
Salvador et al. (2015) (Estudio 5)	Con Software: Ácido úrico: 1.01±0.11 Manual: Ácido úrico: 0.91±0.1	Con Software: No ácido úrico: 1.61±0.11		Con Software: Ácido úrico: 1.62±0.1	
Khanduri et al. (2020) (Estudio 6)	NR	NR	NR	NR	
Mahalingam et al. (2015) (Estudio 7)	1,0071 ± 0,07	NR	1,2767 ± 0,05	Whewellita+wedelita: 1,5874 ± 0,07 Whewellita: 1,5900 ± 0,11 Apatita carbonatada: 1,7120 ± 0,09	

Ilyas et al. (2018) (Estudio 8)	1.04 ±0.06	1.21±0.05	NR	hidroxiapatita: 1.66 oxalato de calcio: 1.41 ±0.06
Lombardo et al. (2017) (Estudio 9)	0,87 ± 0,3	No ácido úrico: 3,80 ± 0,6		
Zhang et al. (2016) (Estudio 10)	Ácido úrico y cistina: <1.37 Si cambia de rojo a azul con el valor de corte establecido en 1.27 es cistina, sino es ácido úrico.		NR	Hidroxiapatita: 1.37-1.40 Oxalato de calcio: 1.40

Tabla 10. Cuadro de análisis de resultados

Tabla 10.a.

Cuadro de análisis de sensibilidad y especificidad para cálculos de ácido úrico y no ácido úrico

	Rango reportado	Valor típico/Mediana	Tendencia general	Comparación con literatura
Sensibilidad (AU)	66.7%–100%	80–100%/100%	Valores altos cercanos al 100% útiles para identificar cálculos de AU	Euler et al. (2023) reportó una sensibilidad del 100% para la diferenciación de cálculos AU y No AU
Especificidad (AU)	83%–100%	83-100%/98%	Valores cercanos al 100% implica bajo riesgo de falsos positivos	Zheng et al. (2016) reportó una especificidad de 98.5%
Sensibilidad (No AU)	52.6 – 100%	60-100%/95%	Relativamente alta pero menor en comparación con AU	Javaaid et al. (2024) Reportó una sensibilidad del 96% para la caracterización de cálculos de CaOxy 85% para cálculos de estruvita

Especificidad (No AU)	60.9 100%	– 60-100%/93%	Relativamente alta pero en menor proporción que AU	Rojanavijitkul et al. (2022) evidenció una especificidad de 96.8%
-----------------------	--------------	---------------	--	---

Tabla 10.b.

Cuadro de análisis de UH y Relación de energía dual reportados para cada cálculo.

Tipo de Cálculo/Parámetro de caracterización	UH(Media na/Rangos)	Relación de energía dual (Mediana/Rangos)	Tendencia general	Comparación con la literatura
Ácido úrico	437 UH (317 – 542 UH)	1.03 (0.87 – 1.20)	Valores de atenuación bajos, no superan las 600 UH Valores generalmente bajos y menores a 1.20	Rodríguez-Plata <i>et al.</i> reportó valores de unidades hounsfield para -Ácido úrico anhidro: 347–769 HU -CaOx monohidratado: 783–1010 HU -CaOx dihidratado: 873–1218 HU -Apatita carbonatada: 835–1034 HU -Estruvita (fosfato magnésico amónico): 790–693 HU

Cistina	518 UH (370 - 1400 UH)	1.20 (1.10 - 1.24)	-	Valores de atenuación que pueden oscilar entre los 370 UH y los 1400 UH. Valores intermedios que van desde 1.10 hasta 1.25
Estruvita	786 UH	1.28		Valores de atenuación entre 600 y 1000 UH. Valores intermedios que van desde 1.20 hasta 1.30. Hidas G. et al (2010) reportó valores de relación de energía dual menores a 1,1 para el ácido úrico, entre 1,1 y 1,24 para la cistina y superiores a 1,24 para los cálculos calcificados.
Oxalato/Fosfato de calcio	989 UH (587 - 2201 UH)	1.63 (1.25 - 3.80)	-	Valores de atenuación altos que pueden superar los 2000 UH. Valores altos, generalmente mayores a 1.25

X. ANEXOS

Anexo 1. Pregunta de investigación

La interrogante principal que orienta esta investigación es: ¿Cuál evidencia científica disponible acerca de la utilización tomografía computarizada de energía dual (TCED) en la caracterización de cálculos urinarios?

PCC	
Población	Pacientes adultos con litiasis renal
Concepto	Utilización de la tomografía computarizada de energía dual en la caracterización de cálculos urinarios
Contexto	Ámbitos clínicos de atención en consulta ambulatoria, servicios de emergencia y hospitalización.

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Tipo	Escala	Valor final
Especificidad	Es la probabilidad que tiene la prueba diagnóstica para identificar correctamente a un individuo sano, es decir, la probabilidad de que para un sujeto sano se obtenga un resultado negativo. La especificidad es la capacidad para detectar a los individuos sanos. (15)	Se calcula mediante la fórmula: $VN-/(FP+) + (VN-)$ El artículo brinda los datos directamente	a) Verdaderos Negativos b) Falsos positivos	Numérica	De razón	Porcentajes y proporciones
Sensibilidad	Es la probabilidad de la prueba diagnóstica para clasificar correctamente a un individuo enfermo, es decir, la probabilidad de que para un sujeto enfermo se obtenga en la prueba un resultado positivo. La sensibilidad es, por lo tanto, la capacidad del test para detectar la enfermedad.(15)	Se calcula mediante la fórmula: $VP+/(VP+)+(FN-)$ El artículo brinda los datos directamente	a) Verdaderos positivos b) Falsos Negativos	Numérica	De razón	Porcentajes y proporciones

Unidades Hounsfield (UH)	<p>Las unidades Hounsfield (UH) se emplean en los estudios de tomografía computarizada (TC) para medir de forma cuantitativa la atenuación de las estructuras y órganos en el sujeto de estudio. Es el valor numérico entero que se le asigna a cada píxel de la imagen tomográfica en función de la atenuación de cada tejido. (16)</p>	<p>Las unidades Hounsfield se representan en números enteros en una escala que va desde -1000(Aire), 0 (Agua), +1000 Hueso y son calculadas por el software de un tomógrafo. (16)</p>	<p>a) Coeficiente de atenuación lineal</p>	<p>Númerica</p>	<p>De razón</p>	<p>Media +- Desviación estándar Mediana+-RIQ (Rango Intercuartil)</p>
Relación de Energía Dual (Bajo Kv/Alto Kv x (UH))	<p>Relación que existe en la tomografía de energía dual entre las UH de un tejido obtenidas por un haz de rx de bajo kilovoltaje y otro de alto kilovoltaje (17).</p>	<p>Se calcula mediante el cociente entre: (UH a Bajo Kv)/(UH a Alto Kv). Se representan en números racionales.</p>	<p>a) Unidades Hounsfield medidas a baja energía b) Unidades Hounsfield medidas a alta energía</p>	<p>Númerica</p>	<p>De razón</p>	<p>Media+-DE</p>
Composición Bioquímica del cálculo urinario <i>Ex vivo</i>	<p>Sustancias minerales que componen un cálculo urinario. (18)</p>	<p>Resultado del examen de laboratorio por espectroscopía infrarroja o difracción de rayos x del cálculo urinario <i>ex vivo</i>, extraído por un procedimiento urológico o expulsado espontáneamente,</p>	<p>a) Oxalato de calcio b) Fosfato de calcio c) Ácido úrico</p>	<p>Categorica</p>	<p>Nominal</p>	<p>Composición química del cálculo evaluado</p>

		posterior a la TCED de las vías urinarias.(18)	d)Estruvita e)Cistina			
Edad	Número de años cumplidos desde la fecha de su nacimiento hasta la actualidad.	Se representa en números enteros, datos brindados por cada artículo	Años cumplidos por el paciente	Numérica	De razón	Media+-DE/ Mediana+- RIQ/Intervalos
Sexo	Variable de tipo categórica que indica el sexo de los individuos	Estos datos serán brindados por los artículos revisados	a)Masculino b)Femenino	Categórica	Nominal	Porcentajes
País de procedencia del estudio	Variable que indica el lugar de procedencia de los artículos que serán revisados	País donde se desarrolló el estudio.	Países de cualquier continente	Categórica	Nominal	País
Tipo de estudio	Variable que indica la metodología de investigación de cada estudio	Estos datos serán brindados por los artículos revisados (Principalmente estudios observacionales)	a)Cohortes c)Estudios transversales	Categórica	Nominal	Metodología del estudio
Año de publicación	Año en el cual el artículo fue publicado	Dato brindado por el artículo	Tiempo de publicación	Categórica	Nominal	Años

Anexo 3. Modelo del gráfico PRISMA

