



EMPLEO DE LA ECOGRAFÍA DOPPLER EN EL ÁMBITO DE LA URGENCIA

Jorge López Mareca, Juan Ignacio Gracia
García, Paula Bas Alcolea, Javier Sainz Sánchez,
Beatriz Domínguez Lagranja, Eduardo Gómez
Morón, Marcos Berdejo Alloza, Amalia Aranz
Murillo

Hospital Universitario Miguel Servet, Zaragoza.

Objetivo Docente

La ecografía es uno de los pilares fundamentales en el diagnóstico por la imagen en el ámbito de la urgencia. Dado que su empleo es mayormente inocuo para el paciente ya que no implica el uso de radiaciones ionizantes, la indicación de esta prueba es cada vez más común en los servicios de urgencia.

El empleo del modo doppler color y doppler espectral es esencial para sacar el mayor partido a las capacidades diagnósticas de la ecografía en este contexto. Sin embargo, comparte la misma limitación que tiene la ecografía convencional en Modo B: la dependencia del observador.

El objetivo de este poster es refrescar algunas de las bases de la ecografía doppler, sus limitaciones, cómo optimizarla y algunas de sus indicaciones, desde las más conocidas hasta las situaciones en las que no se suele emplear pero puede tener utilidad.

Revisión del tema

Ecografía Doppler

La ecografía doppler mide el cambio de frecuencia del ultrasonido reflejado por una estructura en movimiento, interpretando el movimiento de ésta respecto del transductor y la velocidad a la que se desplaza.

Doppler en modo Potencia (Power-Doppler): se centra en la detección de movimiento de las estructuras abordadas. No es capaz de distinguir la dirección ni la intensidad del movimiento, pero es menos sensible al ángulo de abordaje, no presenta aliasing, el ruido de fondo de estructuras circundantes es menor, y permite detectar flujo intraparenquimatoso de manera mucho más sensible que el Doppler color, que necesita de mayores variaciones de frecuencia para mostrar cambios muy pequeños.

Doppler color: La representación del movimiento de estas estructuras depende de dos factores: la dirección de desplazamiento con respecto al transductor (azul-rojo) y la intensidad de movimiento (saturación del color).

Doppler Espectral (fig. 1): permite observar la variación de frecuencias de estructuras abordadas de manera lineal, siendo muy útil en la evaluación de las ondas de flujo vasculares. Con ella, podemos observar la frecuencia, amplitud, la distribución espacial de frecuencias a través del vaso y la variación temporal de la señal. Toda esta información debe ser interpretada por el observador en el contexto clínico dado y la región anatómica a estudio. Podemos obtener varias métricas en el estudio Doppler espectral, como los índices de resistencia (IR) y el índice de pulsatilidad (IP).

A la hora de medir la velocidad de desplazamiento, se emplea la desviación de la frecuencia Doppler (ΔF). En la mayoría de las situaciones, el haz de ecos no alcanza la estructura a valorar con de manera perpendicular, sino angulada. Este ángulo se conoce como ángulo Doppler (θ). Dado que la fórmula empleada para calcular la ΔF es

$$\Delta F = (F_R - F_T) = 2 * F_T * v * \frac{\cos\theta}{c}$$

Dónde F_R es la frecuencia del sonido reflejado por el objeto en movimiento; F_T es la frecuencia del sonido del transductor; v es la velocidad del objeto; y c es la velocidad del sonido en el medio.

Dado que el cálculo del $\cos\theta$ depende del ángulo doppler, y que el valor del coseno varía exponencialmente en ángulos mayores de 60° , aquellas medidas de velocidad en los que el ángulo esté por encima de 60° no son de fiar. Por tanto, debemos intentar modificar el abordaje para intentar obtener una medición con ángulos inferiores.

La medición de la velocidad es especialmente importante en aplicaciones vasculares periféricas y evaluación de grandes vasos. Al valorar estructuras parenquimatosas muy vascularizadas, la aparición de artefactos y la existencia de múltiples señales de diverso signo e intensidad pueden dificultar la obtención de una buena medida, limitando su eficacia en estos casos.

Dentro de las limitaciones del Doppler Color, encontramos la dependencia del ángulo, la imposibilidad de representar todo el espectro del Doppler en la imagen, los artefactos por el ruido de estructuras circundantes, y el artefacto por aliasing.

Doppler Espectral: permite observar la variación de frecuencias de estructuras abordadas de manera lineal, siendo muy útil en la evaluación de las ondas de flujo vasculares. Con ella, podemos observar la frecuencia, amplitud, la distribución espacial de frecuencias a través del vaso y la variación temporal de la señal. Toda esta información debe ser interpretada por el observador en el contexto clínico dado y la región anatómica a estudio. Podemos obtener varias métricas en el estudio Doppler espectral, como los índices de resistencia (IR) y el índice de pulsatilidad (IP).

Artefactos y cómo solucionarlos: en el estudio doppler podemos cometer errores a la hora de ajustar los parámetros que den lugar a la aparición de artefactos.

- Frecuencia Doppler: el uso de frecuencias demasiado altas aumenta la atenuación del sonido en los tejidos.
- Filtro de pared: el uso de filtros de pared es útil para eliminar frecuencias bajas que puedan distorsionar la valoración de estructuras. Sin embargo, su aplicación sistemática puede conllevar el no evaluar estructuras de baja frecuencia. La aplicación de filtros de pared debe hacerse de manera seleccionada, evaluando individualmente la necesidad de estos.
- Amplitud espectral: es consecuencia de una excesiva ganancia del Doppler, un volumen de muestra demasiado amplio o un volumen demasiado próximo a la pared del vaso. Debe seleccionarse cuidadosamente el área a estudiar, limitándonos a abarcar el mínimo área a estudio necesaria.
- Aliasing: aparece cuando existen incongruencias en la medición de las desviaciones elevadas de la frecuencia. Para disminuirlo, se puede aumentar la frecuencia de repetición del, adaptarse el ángulo doppler, o disminuir la frecuencia en el transductor doppler.
- Ángulo Doppler: por encima de 60° es muy impreciso. Debe cambiarse el abordaje para intentar obtener mediciones por debajo de esa cifra.

HÍGADO:

El estudio doppler espectral de la arteria hepática muestra, de manera fisiológica, IR bajos (entre 0.55 y 0.7). Un aumento de este índice es poco específico, pudiendo corresponder a pacientes en estado postprandial, ancianos, o enfermedad microvascular, en relación con hepatopatía crónica (desde cirrosis a hepatitis crónica).

De cara al ámbito de la urgencia, puede ser más relevante el estudio doppler de la vena porta. De manera fisiológica, el flujo de la vena porta debe ser hepatópeto. Dada la relación de la vena porta con el retorno venoso, la morfología de la onda doppler puede ser útil para la valoración de la función cardiaca.

Podemos encontrarnos ondas con pulsatilidad disminuida, que tiende a guardar relación con compresión de la vena hepática. A la hora de evaluar este parámetro, debe prestarse atención a las variaciones respiratorias, así como a las maniobras de Valsalva, siendo lo ideal realizar la evaluación con el paciente manteniendo la respiración a mitad de inspiración. Podemos ver estas alteraciones en hígados cirróticos, **trombosis de la vena hepática**, enfermedad venooclusiva hepática y obstrucción del flujo de salida de la vena hepática de etiología variable.

Un indicador útil para evaluar la gravedad de la situación es valorar el pico de la onda “a” con respecto a la base, aumentado la gravedad del cuadro cuanto más inferior con respecto a la base se encuentre. En estos casos, el estudio del recorrido abordable de la vena puede permitir la identificación del trombo y su localización, así como la presencia de colaterales (indicando cronicidad). La prevalencia de trombosis portal es superior a la de la vena hepática, siendo importante buscar una etiología compresiva (tumoral) en estas situaciones. Cabe mencionar que, en pacientes con trombosis de la vena portal completa o invasión tumoral completa, el estudio doppler de la región puede no mostrar flujo en la vena porta principal, significando una ausencia de flujo (fig. 2).

El estudio doppler también es útil para la **evaluación del TIPS**. Es indicativo de disfunción del TIPS un aumento anormal de la velocidad (>190m/s) o una disminución significativa (<90 m/s).

VESÍCULA BILIAR:

Colecistitis aguda es la causa más común de dolor agudo en hipocondrio derecho. La ecografía permite valorar la presencia de piedras y barro biliar, distensión biliar y hallazgos sugestivos de inflamación parietal y regional., así como evaluar la presencia de etiología obstructiva en algunos casos.

Se observa un aumento del flujo en estudio doppler color (fig.3) en la pared en relación con el proceso inflamatorio presentando alta correlación con cambios anatomopatológicos, siendo útiles en aquellos casos en los que nos enfrentemos a una alta sospecha clínica con hallazgos ecográficos poco evidentes.

Las colecistitis gangrenosas, en las que hay afectación isquémica parietal, se pueden observar áreas de disminución o ausencia del flujo doppler que corresponden con tejido isquémico.

El estudio con doppler de masas isoecogénicas o hiperecogénicas con respecto a la pared de la vesícula es útil para la diferenciación entre acúmulos de barro biliar adherida (fig. 4) a la pared de neoplasias biliares, mostrando únicamente flujo interno en el segundo caso.

También puede ser útil en empleo del doppler color en aquellos casos en los que se dude de si estamos ante una piedra biliar sin clara sombra acústica aprovechando el artefacto de centelleo posterior.

TRACTO DIGESTIVO:

La ecografía con doppler aporta información útil acerca de la vascularización mural en conjunción con los hallazgos visibles en modo B y los datos clínico-analíticos de los que se disponga. No obstante, los movimientos peristálticos y la baja velocidad de flujo vascular de la pared dificultan la valoración. Antes de comenzar la exploración, se han de comprobar los umbrales de detección empleados para poder realizar medidas correctas.

Es especialmente útil para la evaluación de enfermedad inflamatoria intestinal (enfermedad de Crohn y colitis ulcerosa), diverticulitis, isquemia intestinal o neoplasias que produzcan obstrucción en el contexto de la urgencia. Un aumento de la cantidad y velocidad de flujo es sugestivo de inflamación.

EII: En pacientes con **enfermedad inflamatoria**, un aumento de la señal doppler en segmentos parietales engrosados es sugestivo de actividad de la enfermedad. En estos casos, la localización de la afectación y la preservación de la estructura del tracto digestivo va a ser útil para diferenciar entre las distintas entidades, siendo esencial la información clínica para una valoración global adecuada.

Diverticulitis: El estudio ecográfico del dolor en fosa iliaca izquierda en pacientes mayores de 50 años es una petición que se ve frecuentemente en los servicios de urgencia, siendo la diverticulitis una de las principales sospechas. El identificar divertículos en colon sigmoideo o porciones distales de colon descendente es insuficiente para el diagnóstico (alta prevalencia poblacional de diverticulosis), siendo necesario encontrar signos inflamatorios en el divertículo, regionales o complicaciones para llegar a un diagnóstico certero. En ese sentido, demostrar un aumento de la vascularización parietal mediante estudio doppler color es un valor indicativo de inflamación y **diverticulitis** para tener en cuenta.

Apendicitis: se observa un aumento de la vascularización y de la velocidad de flujo parietal, un dato adicional a tener en cuenta en aquellos casos en los que otros hallazgos ecográficos dejen dudas.

Isquemia o hemorragia intestinal, es común encontrar un engrosamiento parietal difuso con una señal doppler color disminuida, aunque puede ser normal. La falta de flujo mural es indicativa de la severidad de la colitis isquémica, con una sensibilidad y especificidad elevadas.

RIÑÓN:

Obstrucción de vía urinaria: ante el hallazgo de una ectasia renal, se ha de valorar la presencia de etiología obstructiva en caso de que exista que pueda influir en el manejo del paciente. Existen estudios que indican que IR superiores a 0.7 (fig. 5) pueden sugerir obstrucción distal, con un aumento del pico sistólico y una disminución del flujo diastólico. Los valores de IR tienden a verse aumentados con mayor frecuencia en aquellos casos de obstrucción total y/o de larga evolución. No obstante, este dato debe considerarse en conjunto con los valores del riñón contralateral y ser valorado en ese contexto. También es útil para evaluar la presencia del jet ureteral (fig. 6), pudiendo obtener información útil acerca de la permeabilidad de la obstrucción.

Pielonefritis: la ecografía es una prueba de primera línea en la valoración de esta patología. Los hallazgos son muy variables, siendo frecuente no observar alteraciones significativas debido a que la afectación del intersticio nefrítico es poco expresiva en escala de grises. En otras ocasiones podemos observar aumento de tamaño renal, hidronefrosis, pérdida de la diferenciación corticomedular, abscesos y áreas de hemorragia (hiperecogénicas) o nefritis (edema hipoecogénico). Podemos observar áreas de hipoperfusión visibles en estudio doppler color (fig. 7), con una marcada disminución focal de la señal, incluso ausente en algunos casos. Los abscesos no muestran flujo interno en estudio doppler, pudiendo estar aumentado en la periferia de este.

Infarto renal: se presenta como dolor agudo en flanco, hematuria, náuseas, vómitos e hipertensión. La función renal puede estar conservada en el episodio agudo. Se observa una ausencia de señal doppler color intraparenquimatosa distal a la obstrucción arterial (fig. 8). No obstante, tiene menor sensibilidad que el TC con contraste.

Trombosis de vena renal: la clínica suele incluir hematuria macroscópica, dolor en flanco y alteración de la función renal, tendiendo a aparecer en pacientes con glomerulonefritis, diabetes, antecedentes traumáticos, etc. Encontramos un riñón aumentado de tamaño con pérdida de la diferenciación corticomedular, sin evidenciarse flujo en la vena renal y observándose unas ondas de flujo invertido en diástole en la arteria renal principal en la valoración a nivel del hilio.

Litiasis renoureteral: se identifica como imagen hiperecogénica con sombra acústica posterior que, al ser estudiada con Doppler color muestra un defecto de centelleo posterior (fig. 9).

Pseudoaneurisma intraparenquimatoso: podemos encontrarlos aislados (post-biopsia) o múltiples (vasculitis, uso de anfetaminas). Pueden parecer quistes anecoicos, con turbulencias internas en estudio doppler (signo del “yin-yang”). Pueden romperse y presentar hematuria, dolor en flanco y shock hipotensivo en algunos casos.

Complicaciones del injerto renal: de todas las que nos podemos encontrar, las más comunes en el ámbito de la urgencia son las más tempranas (estenosis arterial, obstrucción ureteral, trombosis venosa, síndrome compartimental del injerto renal), así como cuadros de pseudoaneurisma post-biopsia cuando se haya realizado para evaluar la histología del tejido.

- **Síndrome compartimental:** suele darse en injertos de localización extraperitoneal en los que se haya dejado poco espacio para el riñón, pudiendo verse comprometido el flujo vascular ante la inflamación postquirúrgica o la aparición de colecciones adyacentes al trasplante. Observaremos un riñón aumentado de tamaño con disminución o ausencia de flujo cortical en estudio doppler.
- **Pseudoaneurisma y fístula arteriovenosa post-biopsia:** ambas patologías aparecen como regiones focales anecoicas con flujo desorganizado y turbulento. Las fistulas presentan una onda de flujo de alta velocidad con baja resistencia. El componente venoso muestra defecto de “aliasing” con una onda de flujo arterializada definida por el flujo del componente arterial en estudio espectral. El pseudoaneurisma muestra el signo del “yin-yang” comentado anteriormente.
- **Colecciones peri-injerto (fig. 10):** es relativamente común observar colecciones adyacentes al injerto o a la vejiga. Los hematomas son los más frecuentes en el postoperatorio inmediato. También podemos encontrar urinomas y abscesos. En este último caso, el estudio doppler color mostrará un aumento de la vascularización periférica al absceso con ausencia de señal interna que puede ayudar en el diagnóstico diferencial junto con la localización y las características de la colección en escala de grises. Los linfocelos son más comunes semanas o meses tras la cirugía.
- **Estenosis arterial (fig. 11) :** se objetiva un aumento de la velocidad de flujo arterial en el punto de la estenosis, con aplanamiento de la curva de flujo intraparenquimatoso distal a la obstrucción (morfología “tardus et parvus”) con disminución de los IR.
- **Trombosis venosa:** hallazgos superponibles a los descritos en el apartado de trombosis renal venosa previamente.

GLÁNDULAS SALIVARES

Sialoadenitis aguda: se observa un aumento del tamaño y una disminución difusa de la ecogenicidad parenquimatosa (fig. 12). Podemos observar un aumento del flujo intraglandular en doppler color. En caso de complicarse con absceso, se identificará como regiones redondeadas hipoecogénicas con un aumento marcado periférico de la vascularización. En aquellos casos en los que haya una sialolitiasis asociada, podemos identificarla por la ectasia secundaria de los conductos, la sombra acústica posterior, y el artefacto de centelleo posterior en estudio doppler color, entre otros hallazgos.

ESCROTO

Torsión testicular: importante urgencia urológica. En estadios iniciales podemos observar un aumento de tamaño testicular, sin que haya necesariamente una alteración en la estructura. Una vez se establece el cuadro isquémico, el teste tiene apariencia heterogénea (fig. 13).

En obstrucciones totales no se observa señal doppler color interna, pero en las parciales podemos identificar únicamente una disminución difusa de la vascularización con respecto al contralateral, con persistencia de vascularización arterial pero no de la venosa. Se observa una alteración de la onda de flujo espectral, con un aumento de los IR y marcada disminución del flujo diastólico.

En ocasiones estos cuadros tienden a la detorsión espontánea, observando un aumento difuso de la vascularización tanto arterial como venosa intratesticular, pudiendo hacernos llegar a un diagnóstico erróneo de orquitis.

Es útil valorar el trayecto del cordón espermático para identificar posibles zonas de torsión de este que permitan confirmar la etiología del cuadro.

Epididimitis y orquiepididimitis: aumento de tamaño del epidídimo con disminución de la ecogenicidad de manera heterogénea debido a la edematización tisular. Asocia un aumento de vascularización con respecto al contralateral (figs. 14 y 15).

Aquellos casos que presenten abscesos podrán identificarse por la marcada hipoecogenicidad y la ausencia de señal doppler color interna. Hallazgos similares se observan cuando también se afecta el testículo.

La edematización del testículo puede comprometer el retorno venoso, pudiendo producir cuadros isquémicos que se traducen como disminución difusa o ausencia de la vascularización.

Trauma testicular: puede observarse heterogeneidad del parénquima compatible con isquemia o contusión, que en el segundo de los casos asociará disminución de la vascularización. La irregularidad del contorno de la túnica albugínea es sugestiva de rotura testicular. Hematomas asociados (fig.16) pueden provocar compresión extrínseca que determinen una isquemia, traducándose como disminución o ausencia de señal doppler color.

Compresión testicular extrínseca : debida a hidrocele, piocel, hemorragia intratesticular, etc. Puede ocasionar disminución o anulación del retorno venoso, provocando una isquemia secundaria.

CONCLUSIONES

El estudio ecográfico en escala de grises aplicando el Doppler color y espectral aporta información diagnóstica adicional que puede tener un impacto directo en el manejo del paciente.

El radiólogo debe ser capaz de utilizarlo y conocer las distintas aplicaciones para optimizar la atención al paciente.

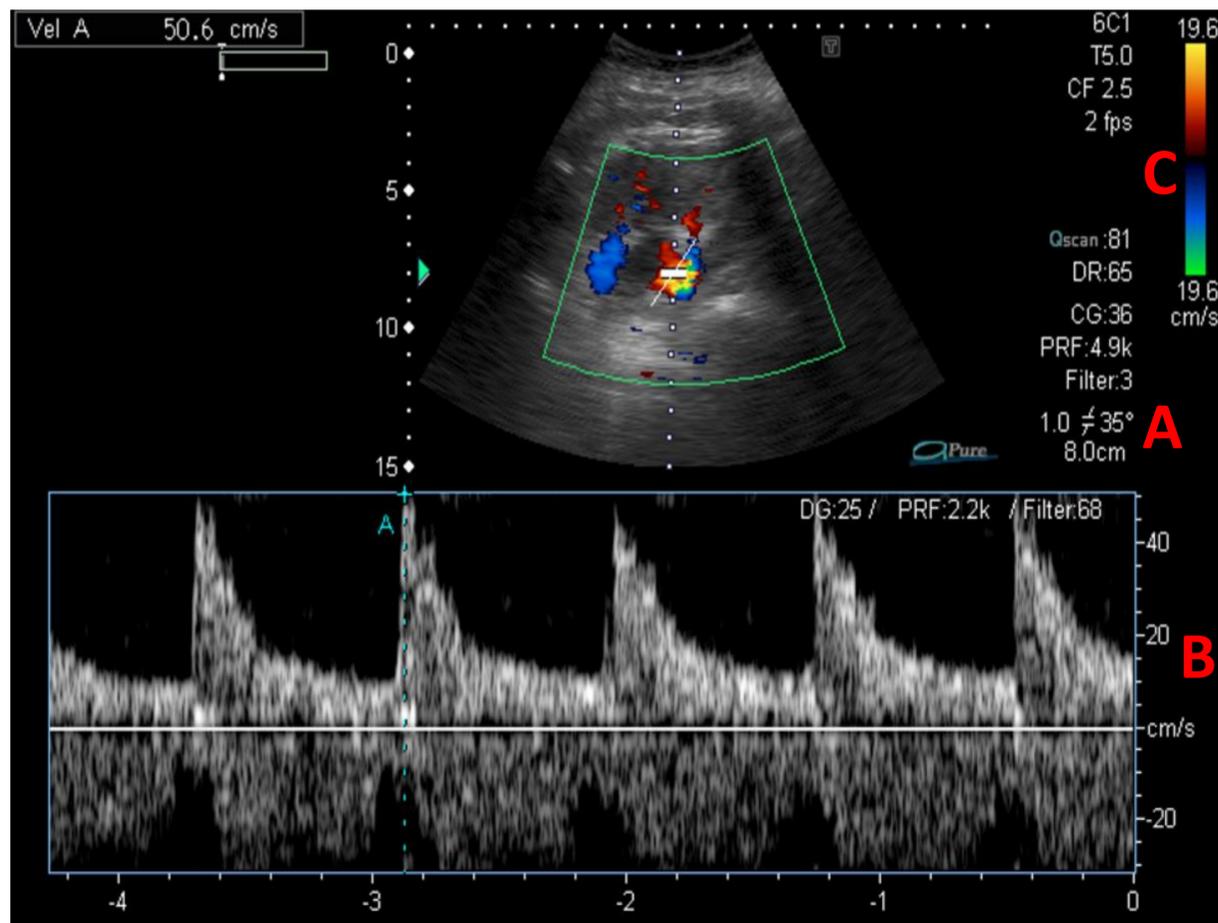


Figura 1. Parámetros Doppler. A. Ángulo; B: Onda de flujo; C: Escala

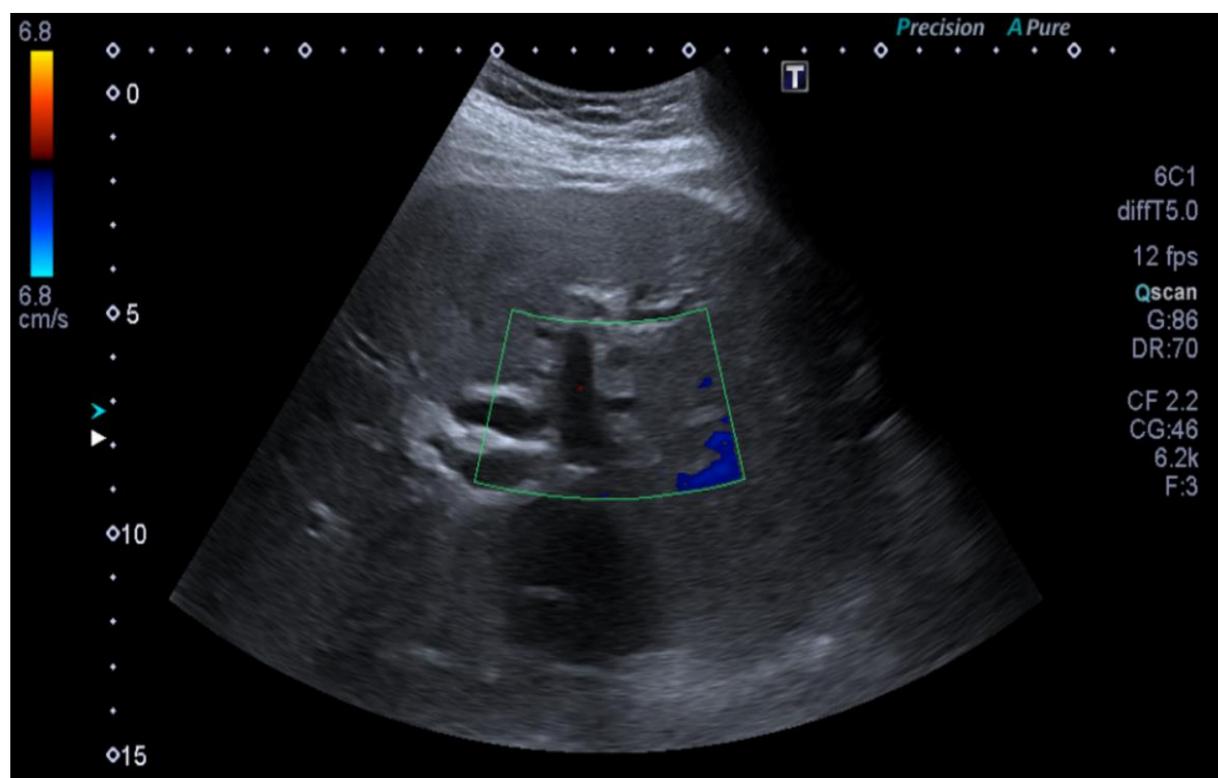


Figura 2. Trombosis Portal. No se aprecia señal Doppler color intravascular. Se confirmó el diagnóstico mediante TC con contraste.

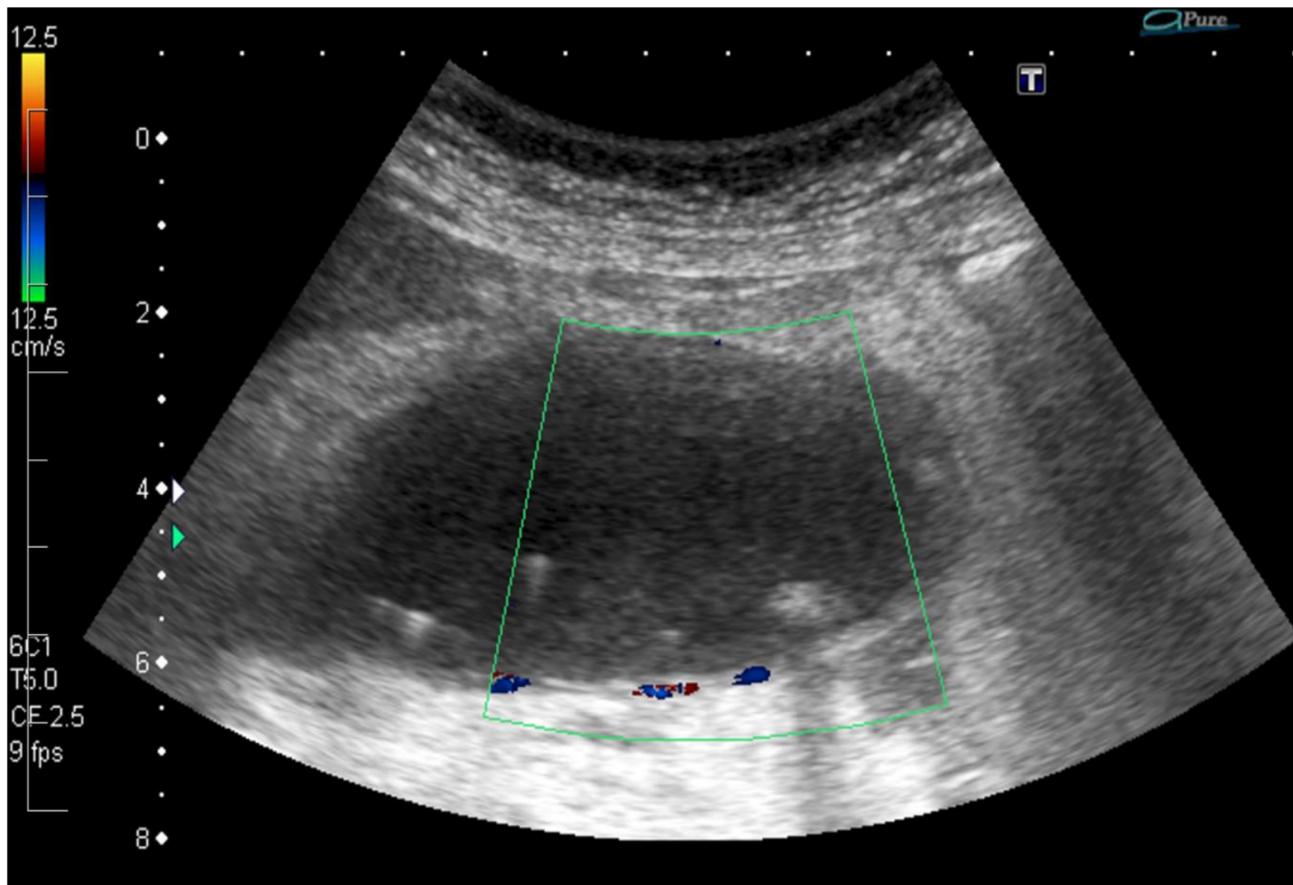


Figura 3. Colecistitis aguda perforada. Se observa aumento de la vascularización parietal en Doppler color. Pieza quirúrgica demostró colecistitis aguda aplastronada y perforada con colección adyacente.

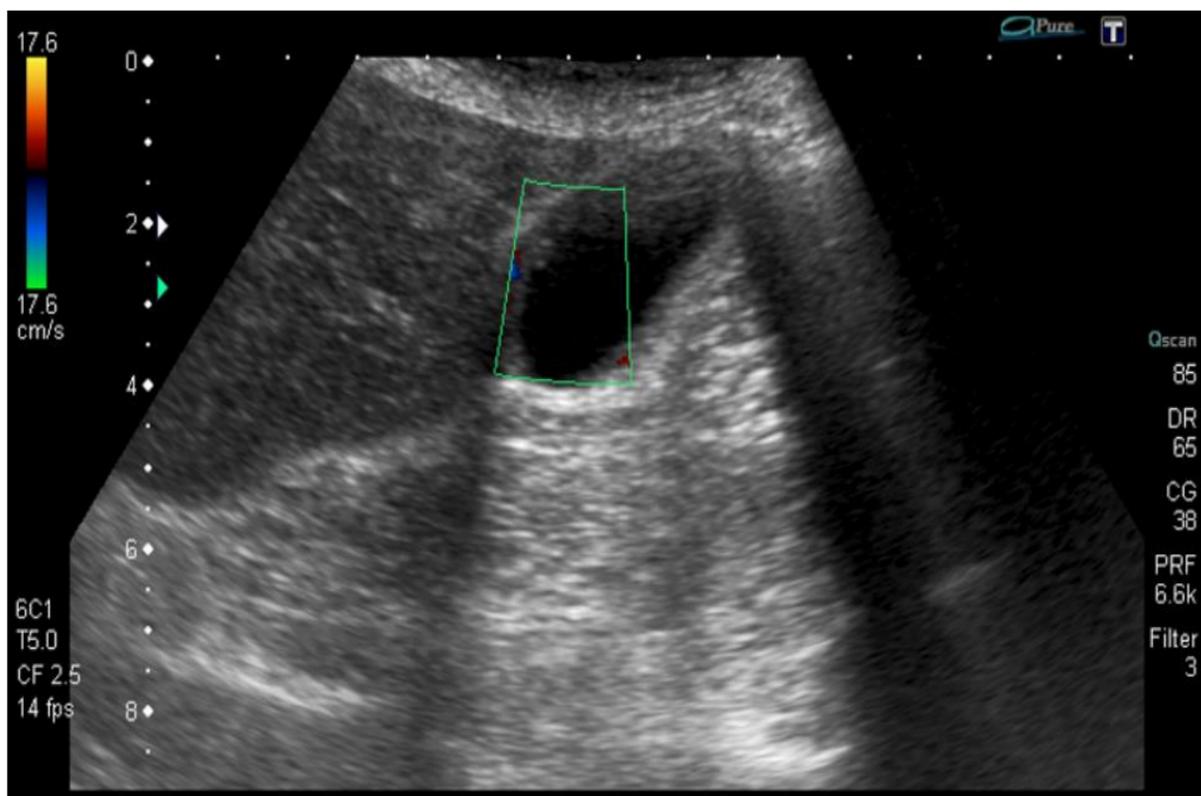


Figura 4. Acúmulo de barro. Imagen polipodea dependiente de la pared vesicular que no capta señal Doppler. Tras la movilización continua del paciente se desplazó el acúmulo biliar.

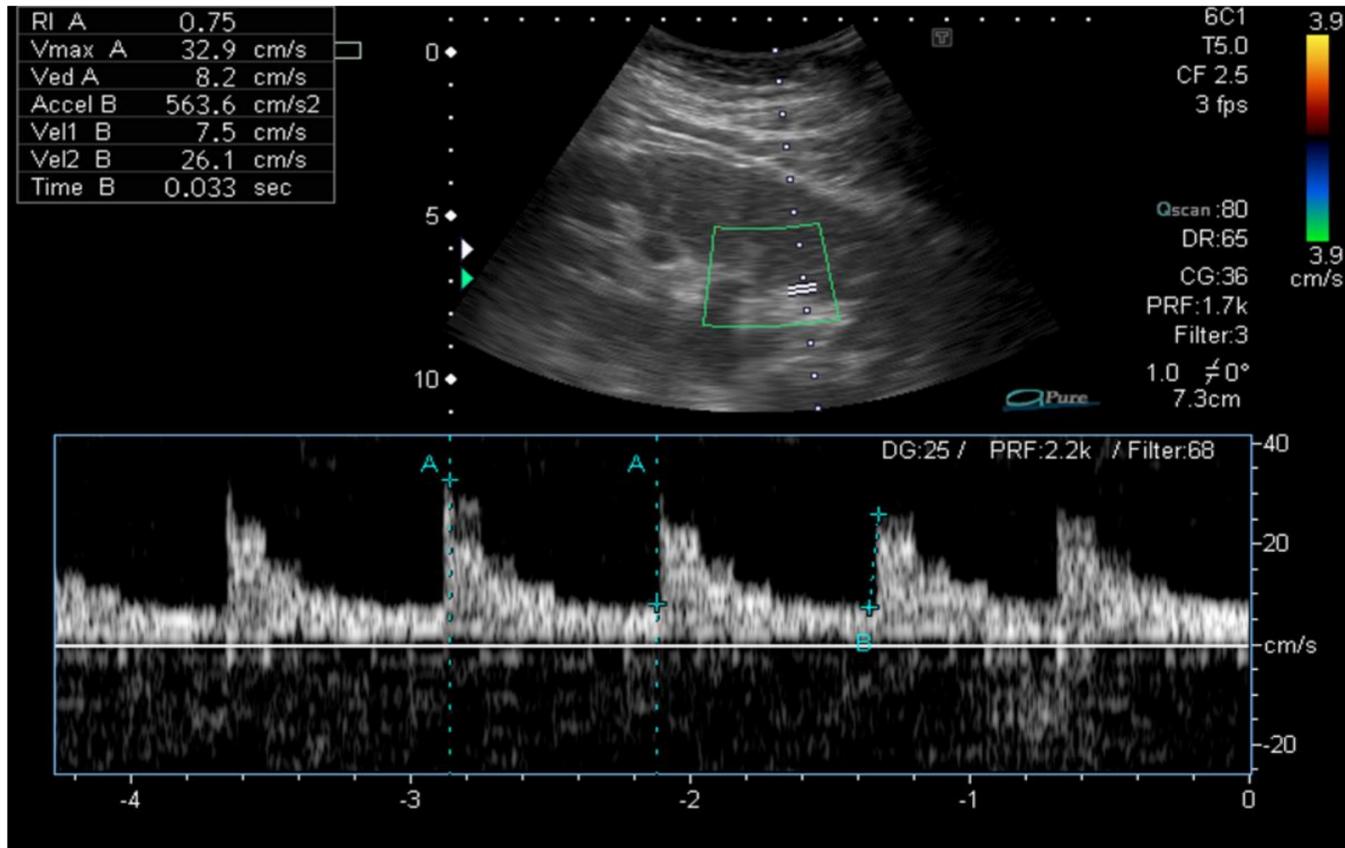


Figura 5: Obstrucción renal. Ectasia renoureteral grado II con litiasis obstructiva en unión ureterovesical. IR estaban aumentados con respecto al riñón contralateral.

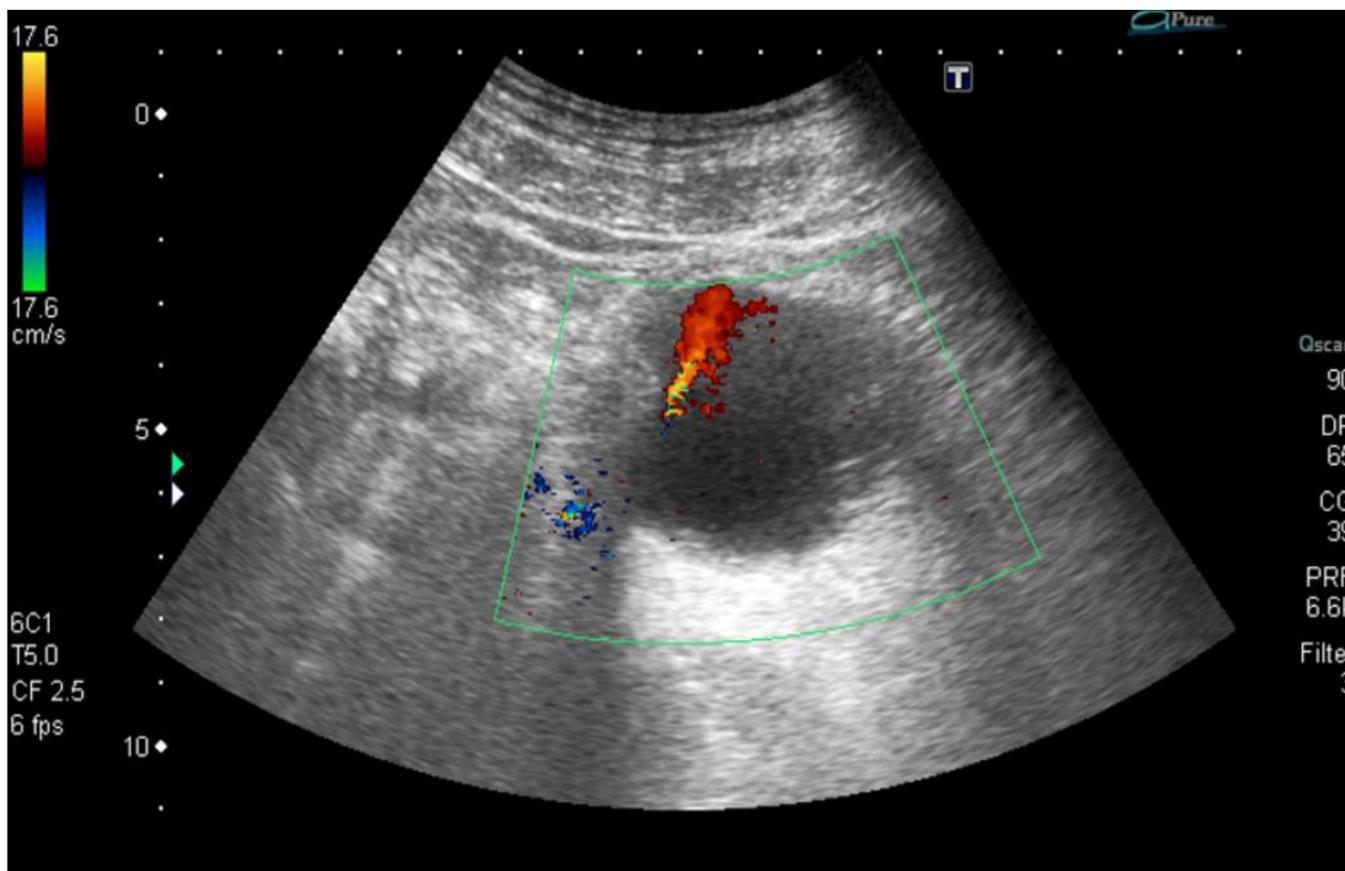


Figura 6. Jet ureteral

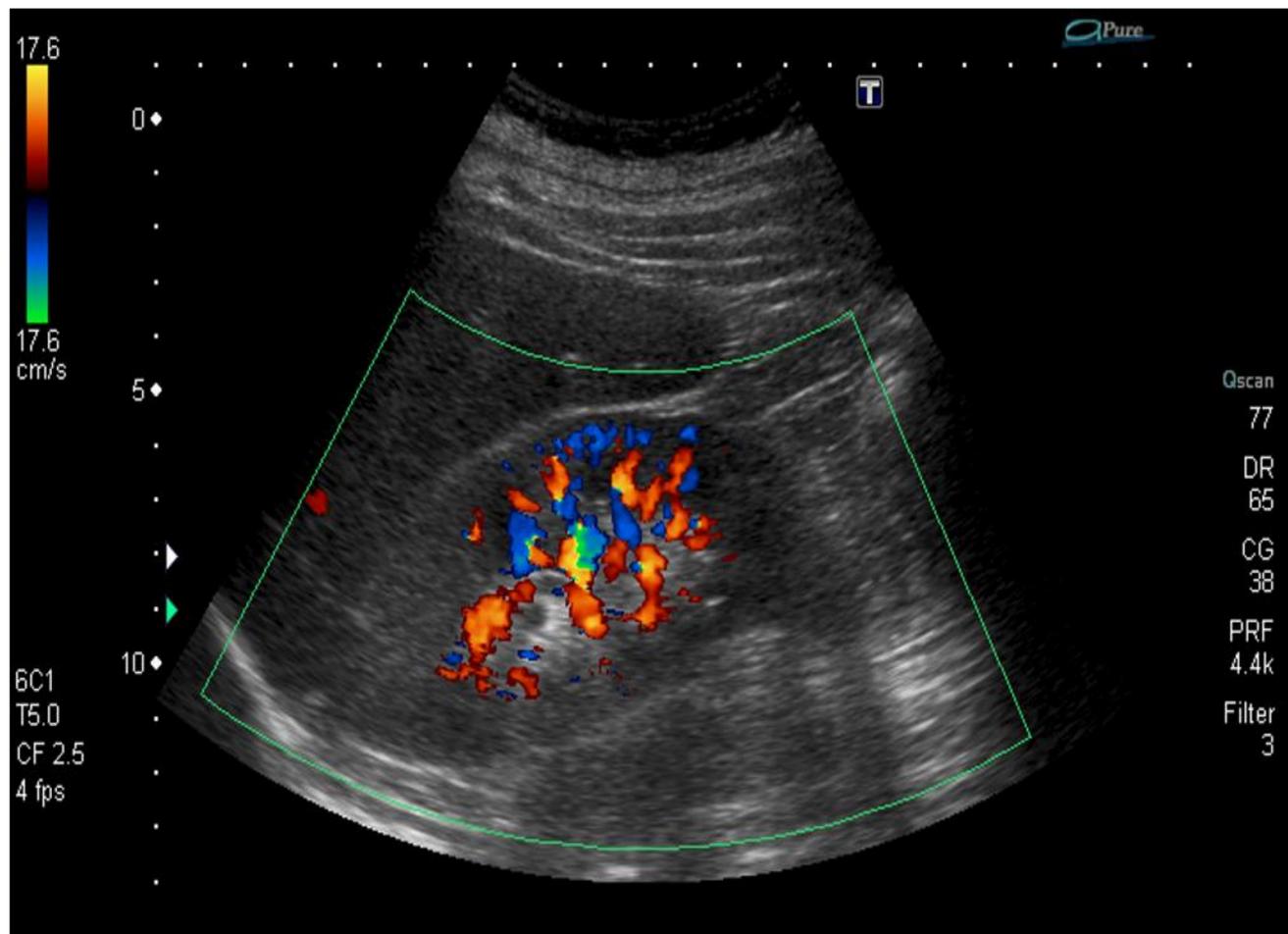


Figura 7. Foco de hipovascularización en polo superior renal compatible con foco de nefritis, confirmado mediante TC abdominal.

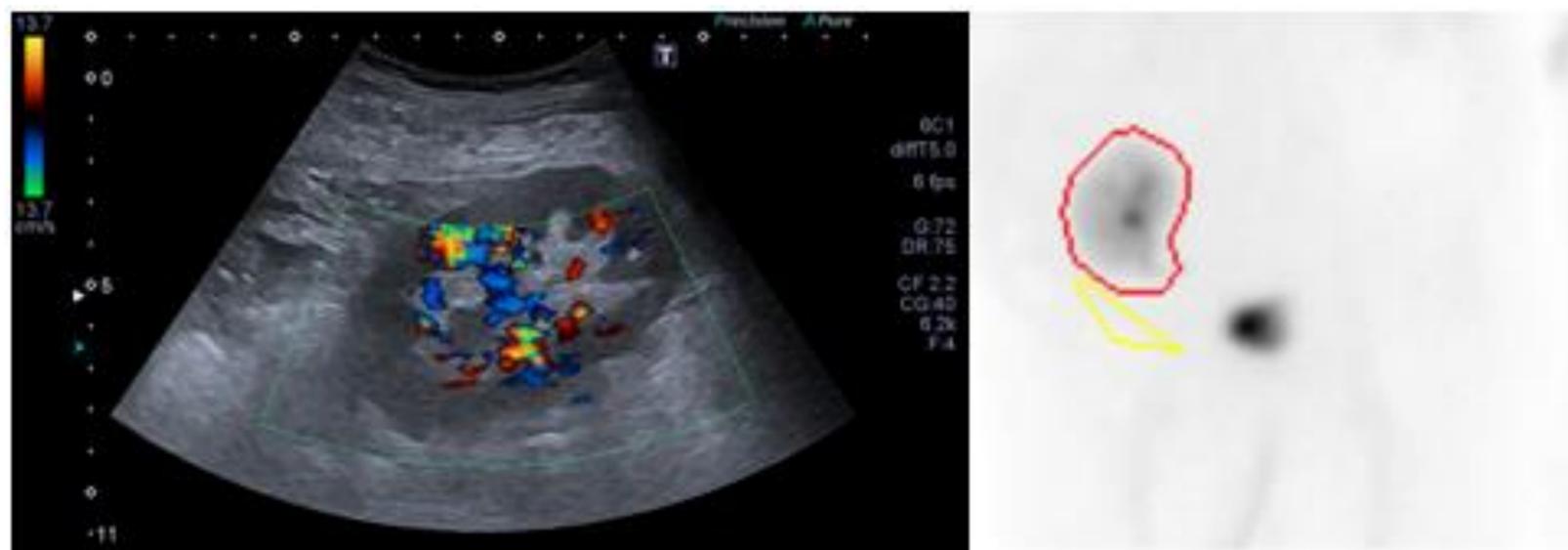


Figura 8. Región avascular en polo superior de riñón trasplantado sugestivo de infarto focal. Se confirmó mediante renograma isotópico.

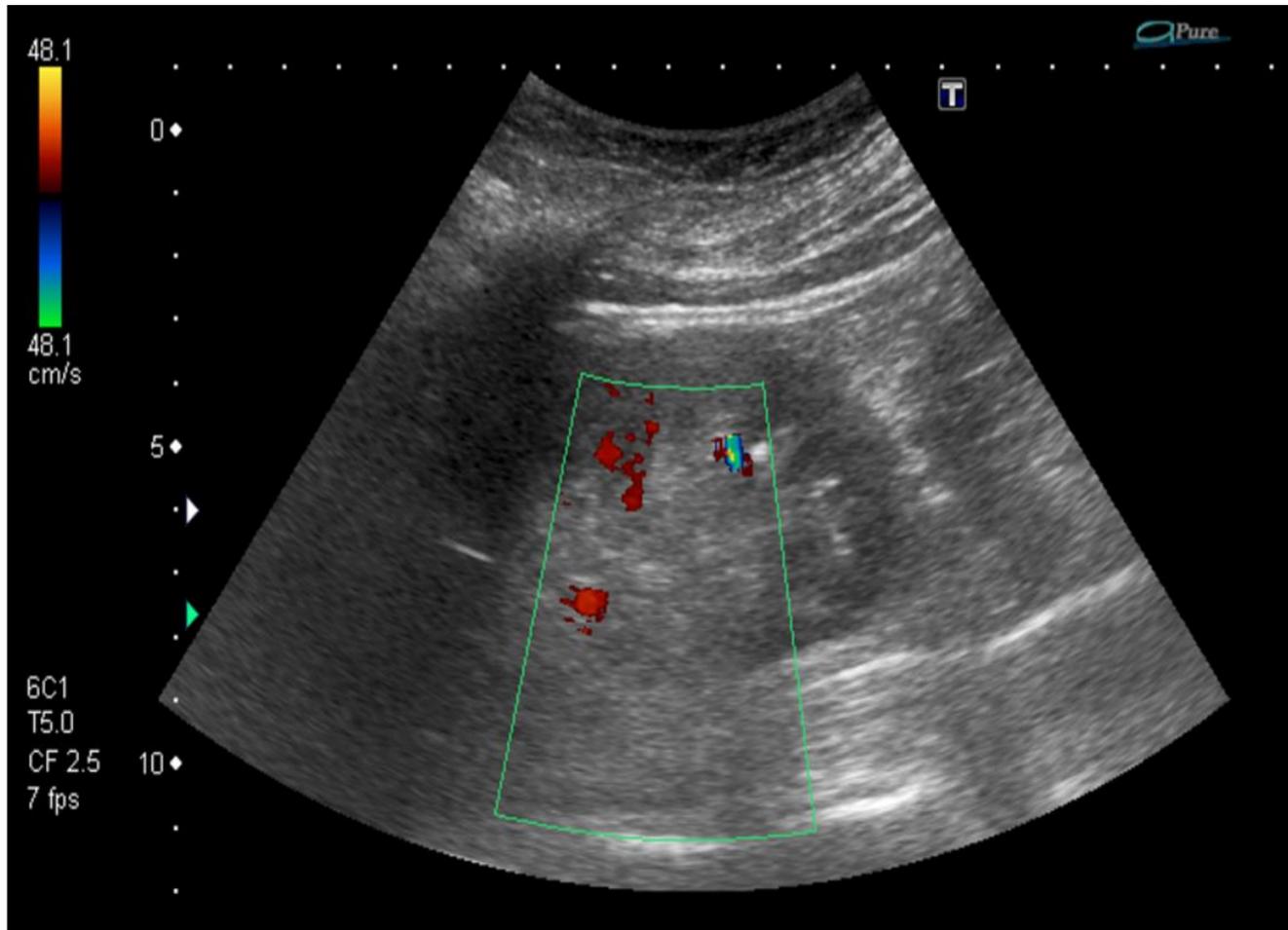


Figura 9. Litiasis en polo inferior renal con artefacto de centelleo y tenue sombra acústica posterior.

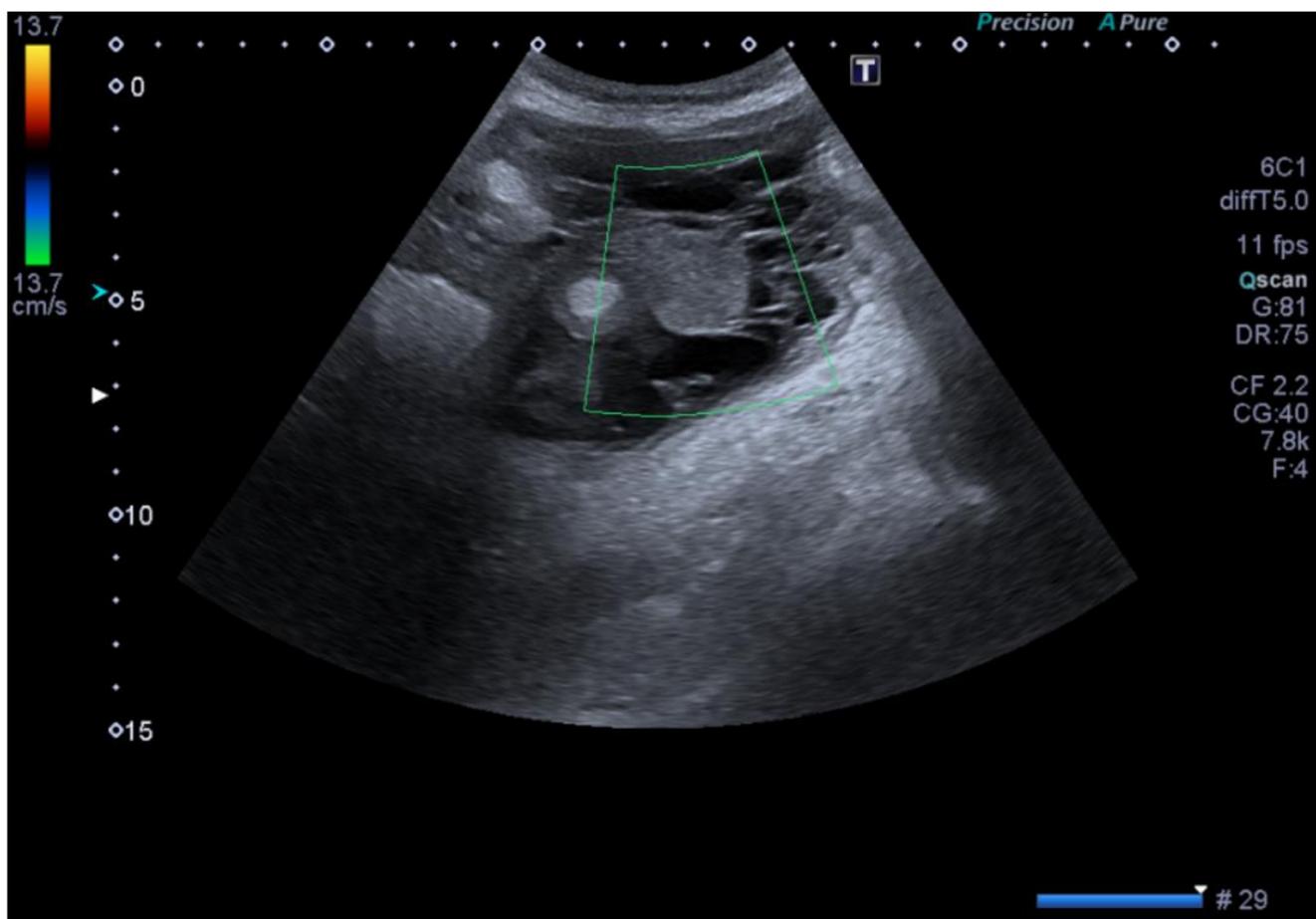


Figura 10. Colección peri-injerto que no muestra vascularización interna ni periférica en estudio Doppler, sugestiva de hematoma organizado.

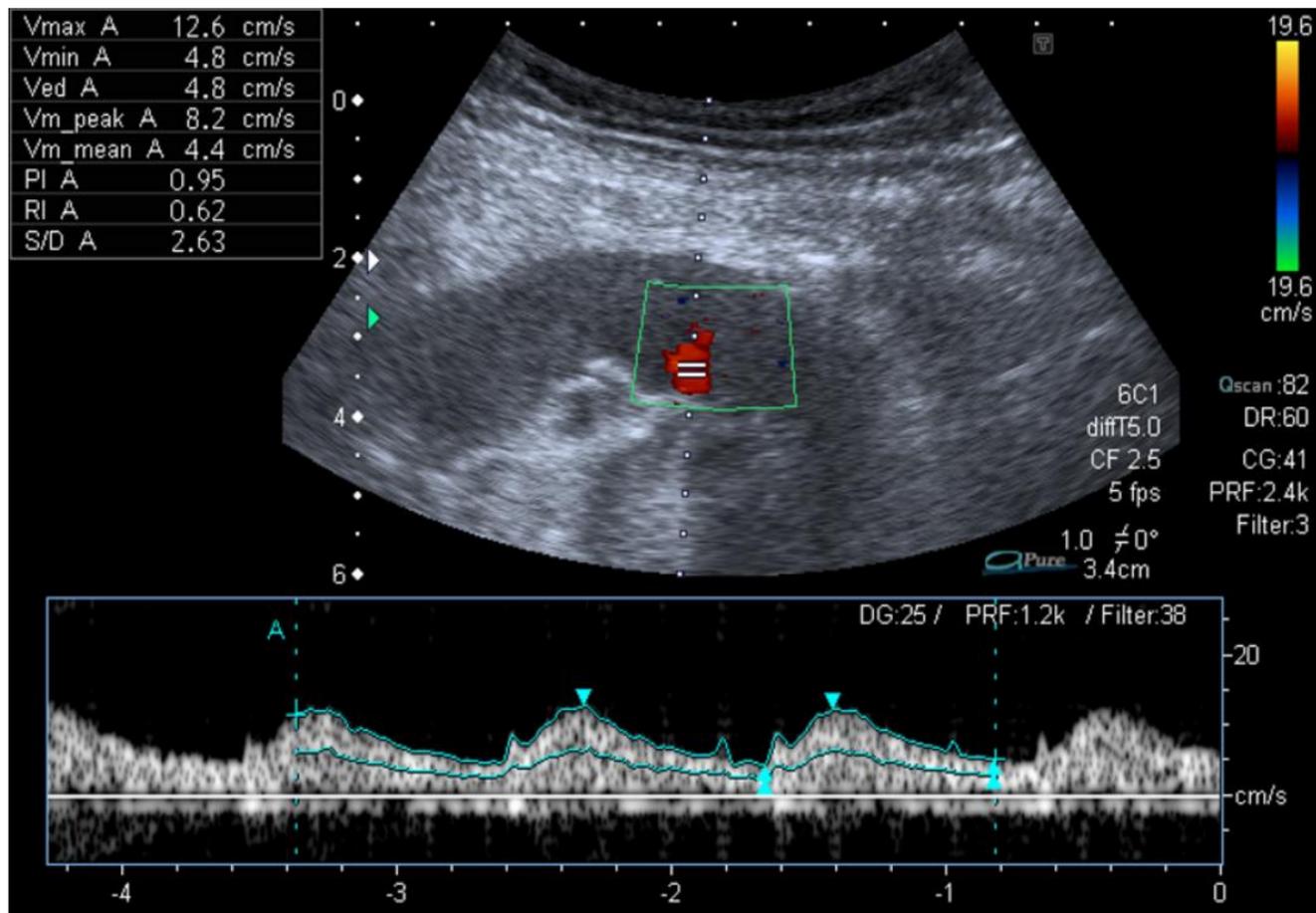


Figura 11. IR intraparenquimatosos disminuidos con onda de flujo de morfología “parvus et tardus”, signo indirecto de estenosis arterial. Se confirmó mediante AngioTC una estenosis significativa.

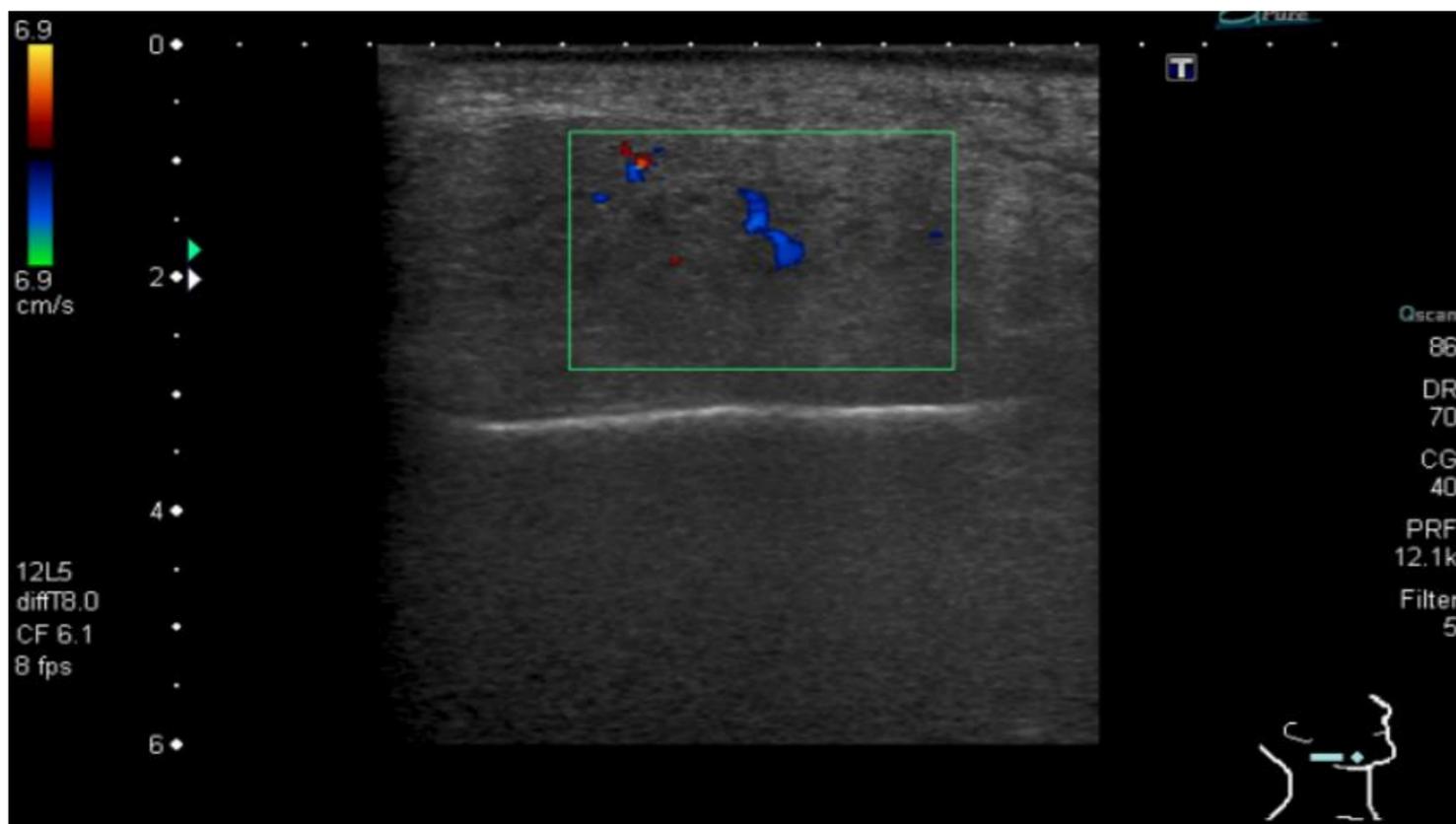


Figura 12. Glándula submaxilar aumentada de tamaño con aumento difuso de la ecogenicidad sin evidenciarse abscesos, con aumento focal de la señal doppler color.

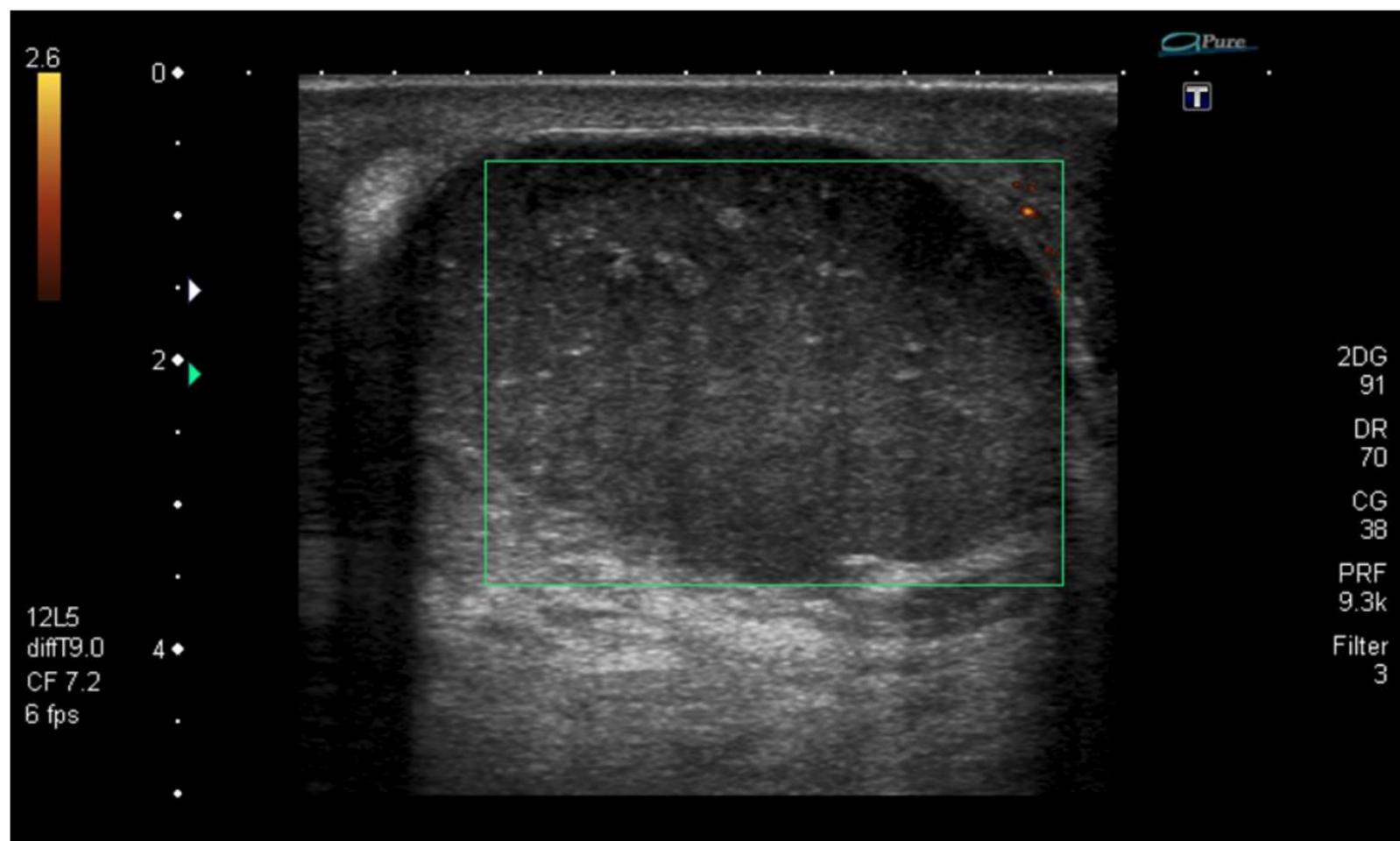


Figura 13. Teste hipocogénico heterogéneo sin vascularización en estudio Doppler color. La pieza quirúrgica mostró un teste no viable con pedículo vascular torsionado.

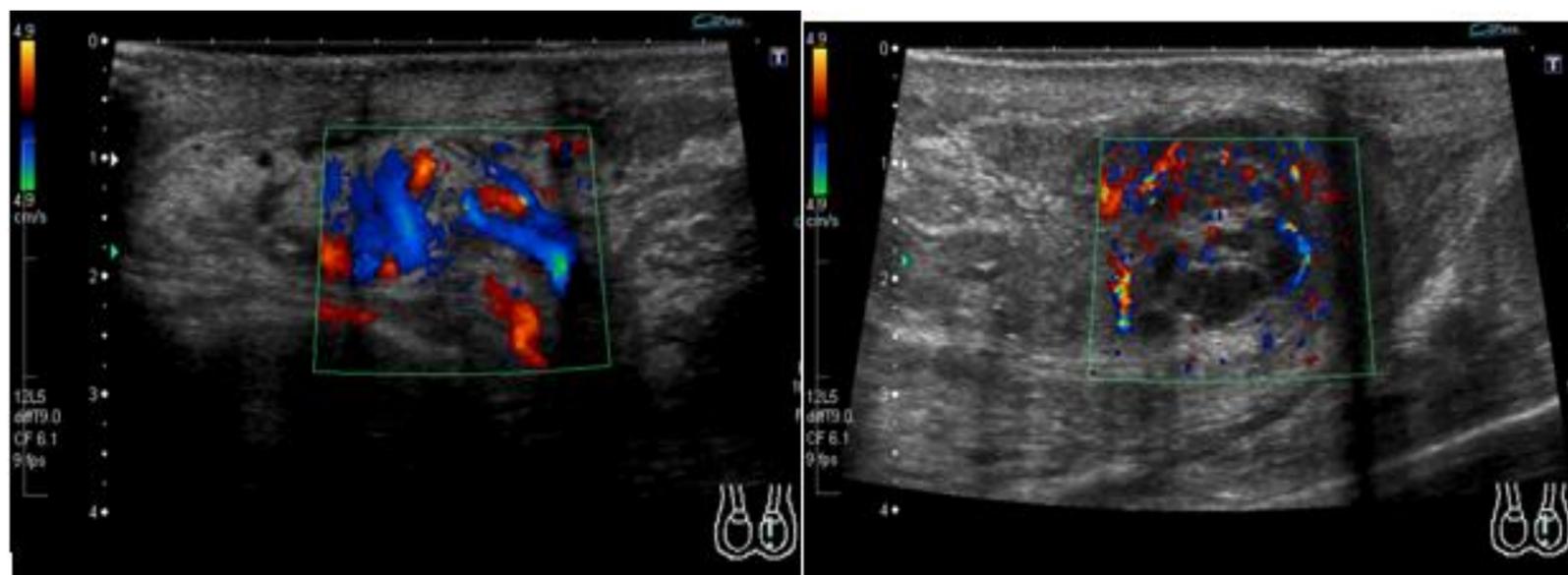


Figura 14. Epidídimo engrosado de ecogenicidad aumentada con señal doppler significativamente incrementada. En la cola se observa región hipocogénica sin vascularización interna sugestiva de absceso, que fue drenado.

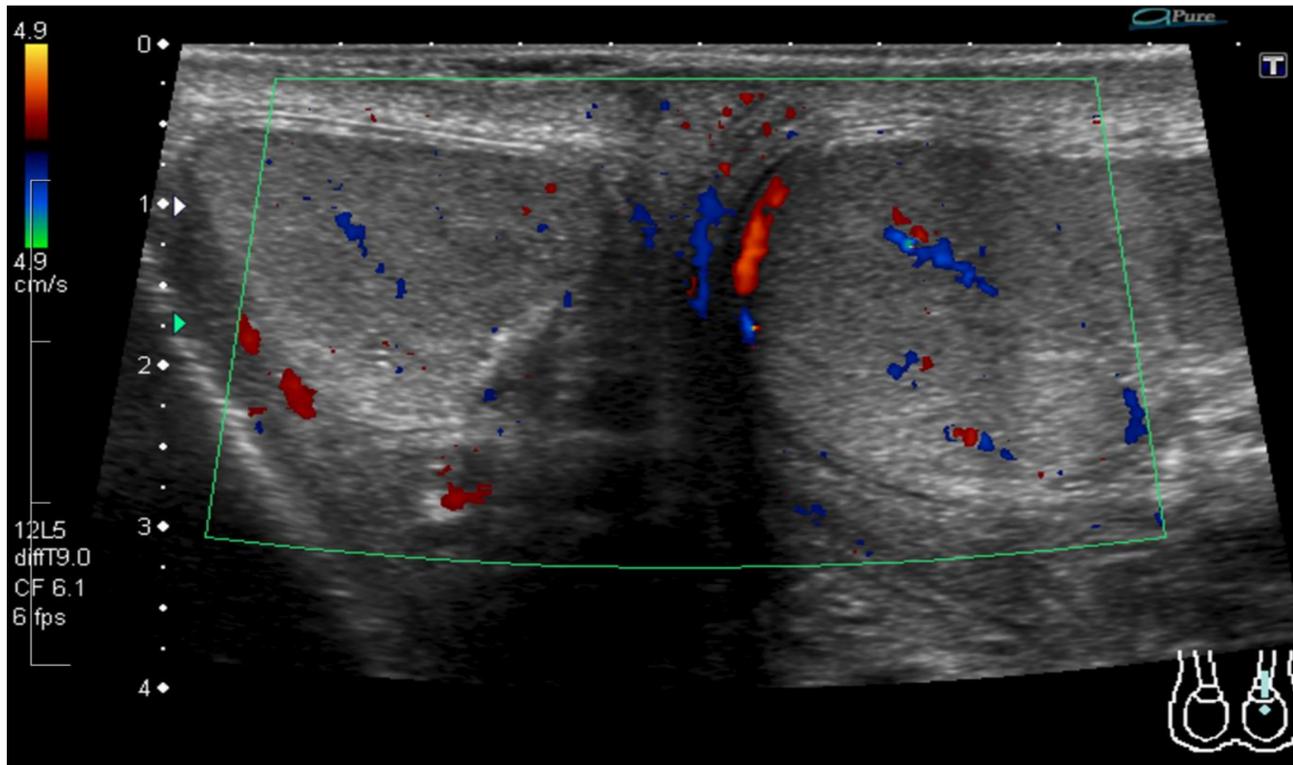


Figura 15. Asimetría en la vascularización del testis izquierdo con respecto a su contralateral en relación con cuadro

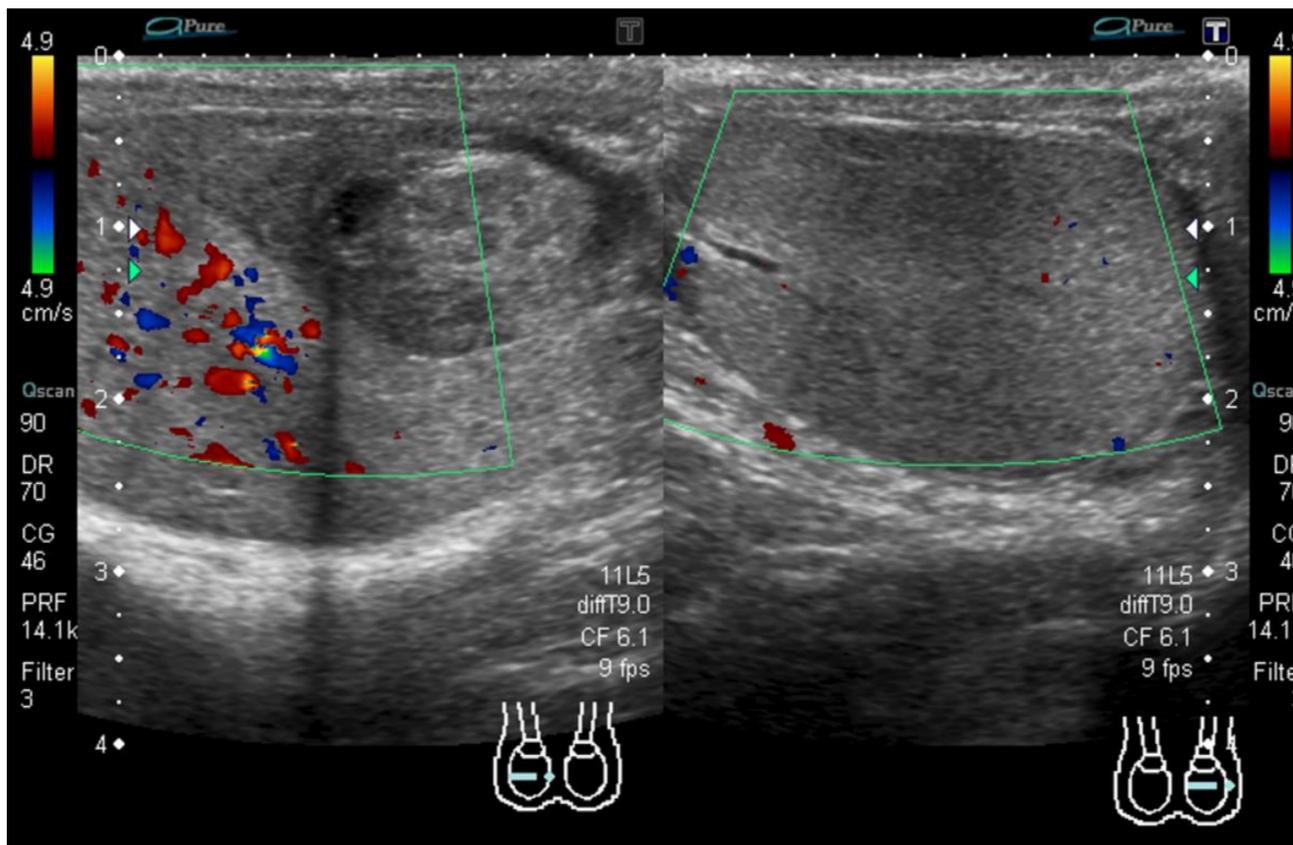


Figura 16. Traumatismo testicular con región heterogénea avascular en polo inferior sugestiva de hematoma, confirmada en pieza quirúrgica.

1. Sugi MD, Joshi G, Maddu KK, Dahiya N, Menias CO. Imaging of renal transplant complications throughout the life of the allograft: Comprehensive multimodality review. *Radiographics*. 2019;39(5):1327–55.
2. Muradali D, Goldberg DR. Us of gastrointestinal tract disease. *Radiographics*. 2015;35(1):50–68.
3. Avery LL, Scheinfeld MH. Imaging of penile and scrotal emergencies. *Radiographics*. 2013;33(3):721–40.
4. McNaughton DA, Abu-Yousef MM. Doppler US of the liver made simple. *Radiographics*. 2011;31(1).
5. Chang HC, Bhatt S, Dogra VS. Pearls and pitfalls in diagnosis of ovarian torsion. *Radiographics*. 2008;28(5):1355–68.
6. Singewald T, Cassidy F, Aganovic L, Richman K, Campbell SC, Cullinan JA, et al. Optimizing image quality when evaluating blood flow at doppler US: A Tutorial. *Radiographics*. 2004;39(2):899–900.
7. Paulson EK, Kliwer MA, Hertzberg BS, Paine SS, Carroll BA. Diagnosis of acute cholecystitis with color Doppler sonography: Significance of arterial flow in thickened gallbladder wall. *Am J Roentgenol*. 1994;162(5):1105–8.
8. Rumack CM, Wilson SR, Charboneau JW, Levine D. Diagnóstico por ecografía. 4ª Edición. Madrid: Marbán; 2014,
9. Platt JF, Rubin JM, Ellis JH. Acute renal obstruction: Evaluation with intrarenal duplex Doppler and conventional US. *Radiology*. 1993;186(3):685–8.