

XV Jornadas Nacionales de Geografía Física
Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024

DETERMINACIÓN DE LÍNEA DE RIBERA EMPLEANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES ÓPTICAS: EL CASO DE LA LLANURA TUCUMANA

Horacio Leonardo Madariaga^{abc}

^a *Depto. de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Tucumán*

^b *Instituto de Estudios Geográficos, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Tucumán* ·
Instituto de Luz, Ambiente y Visión. CONICET, Universidad de Tucumán

e-mail: madariagah@gmail.com

RESUMEN EXTENDIDO

Este trabajo surge como necesidad durante la elaboración del mapa correspondiente a la actualización de la ley de bosques nativos de la provincia de Tucumán (OTBN), ya que para concretar el mismo, es necesario fijar entre otras numerosas tareas la línea de ribera, que se refiere a la línea o borde de un cuerpo de agua, es decir la línea que separa el dominio público del privado. En el caso del OTBN, se utiliza para definir un área de protección de los cuerpos de agua dentro del dominio privado, es decir cada propiedad involucrada con un cuerpo de agua, debe reservar una franja para la restauración del bosque, o al menos restringir el uso de construcciones y cultivos, permitiendo la reforestación. Esta franja de terreno se mide a partir de la línea de ribera, de ahí la importancia de su definición.

Es decir, tiene considerada importancia en lo que se refiere a la restauración del bosque de ribera, debido a que es indispensable a la hora de definir el área de restricción. La restauración se realiza implantando una especie nativa, o permitiendo que se propague otra especie de manera espontánea. Con el mismo hecho de no cultivar el área restringida, la naturaleza se encarga, posiblemente con semillas transportadas por el mismo río, en restaurar los márgenes, lo que en consecuencia le dará estabilidad al mencionado margen, evitando la inundación de cultivos y las pérdidas materiales. Otras leyes y ordenanzas también hacen referencia a la línea de ribera, de ahí la importancia de la misma.

La metodología a emplear depende de las características del paisaje. En nuestro caso en particular nos interesan los ríos de la llanura tucumana, es decir trataremos cauces de ríos de régimen permanente en un terreno de poca pendiente, dominado por cultivos de caña de azúcar, plantaciones de limón y sectores de bosque secundario.

Es objetivo de este trabajo desarrollar una metodología que permita definir la línea de ribera para los cauces de la llanura tucumana.

La ley de aguas define a la línea de ribera como la cota promedio de las máximas crecientes ordinarias. Basados en esta definición, es necesario buscar una metodología apropiada, que se adapte a las características del cuerpo de agua analizado, al conocimiento del terreno, y a la información disponible.

Con ese objetivo se revisaron las metodologías existentes. Una de ellas, basada en la definición anterior, emplea la topografía del terreno y los niveles de las crecientes. Otra metodología se basa en los vestigios de las inundaciones, es decir, si el tipo de cobertura vegetal lo permite, es posible detectar mediante fotografías aéreas el cauce máximo histórico.

XV Jornadas Nacionales de Geografía Física

Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024

Finalmente existen otras metodologías basadas en modelos de simulación que analizan la morfología del cauce y el caudal, y que se procesan mediante algoritmos informáticos (por ejemplo, Hec-RAS). En este trabajo no consideraremos esta última metodología.

En la primera metodología, la línea de ribera se determina conociendo el perfil del cauce (empleando un modelo de elevación del terreno) y los niveles alcanzados por las crecientes ordinarias (mediante aforos). Con esta información, se promedian los niveles medidos durante las crecidas ordinarias, determinándose el nivel de inundación para cada perfil, de esta manera se define el ancho correspondiente a la llanura de inundación. Esta determinación se realiza con facilidad si se cuenta con un modelo de elevación del terreno y con los aforos hidráulicos correspondientes, información que en muchos casos no se dispone.

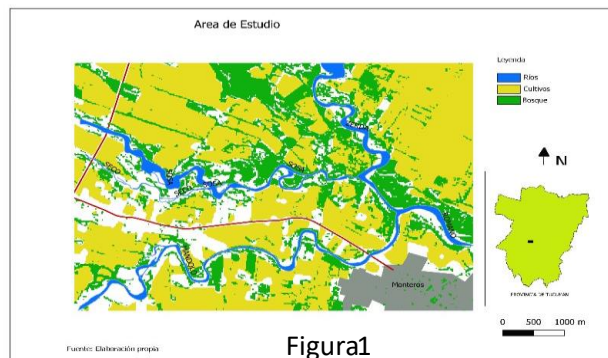
Hemos ensayado esta metodología procesando modelos de elevación empleando algoritmos (script propios) desarrollados con el software libre R. Con los modelos de elevación del terreno disponibles (ALOS) de 12,5 metros de resolución geométrica y 1 metro de desnivel, se han logrado buenos resultados para sectores donde el cauce recorre una quebrada bien definida, sin embargo, para sectores llanos, de pendientes menores al 2 % los resultados no son satisfactorios. Esto se debe a que el modelo de elevación mencionado no tiene la suficiente resolución.

La segunda metodología, basada en los vestigios históricos de crecientes, no tiene buen desempeño en zonas montañosas de pendientes abruptas, sin embargo, da buenos resultados en áreas de llanas. En el caso de la llanura tucumana, donde la pendiente es baja ($< 1\%$), el río sigue un curso poco definido, determinado por la topografía, pero también por numerosos factores como ser la velocidad de escurrimiento, la vegetación existente y la erosión precedente del mismo cauce. Esto último, más la falta de información de aforos y caudales, nos lleva a emplear la segunda metodología planteada, basada en vestigios o huellas.

De esta forma vamos a monitorear la recurrencia, es decir detectar los vestigios de las crecientes históricas, basándonos en procesamiento de imágenes de satélite. Es decir, si visualizamos la huella dejada en las márgenes del río por los eventos de los últimos años, podemos reconstruir con bastante exactitud una línea de ribera. Dado el tipo de vegetación existente en la llanura tucumana, es posible detectar con éxito esta huella. En este paisaje, predomina el cultivo de caña de azúcar y limón, interrumpido por manchones de bosques, que generalmente crece de forma espontánea, de especies nativas o invasoras como siempre verdes, y en otros casos de bosque en galería, o barreras de protección entre campos o propiedades. Durante gran parte del año el cultivo de caña de azúcar se encuentra bien desarrollado, mientras que las plantaciones de limón son perennes, lo que facilita la detección de la huella del cauce que al transportar sedimentos contrasta con el paisaje agrícola y deja su huella sobre el territorio.

En la Figura 1 se detalla el área de estudio, que ocupa 5500 ha, se extiende desde el pie de monte de la ladera oriental del Aconquija hasta la ciudad de Monteros, en el centro de la Provincia de Tucumán. Esta área es surcada de oeste a este por los ríos Sosa, Seco, Zerda y Mandolo, los que confluyen al norte de la Ciudad de Monteros para formar el Río Romano.

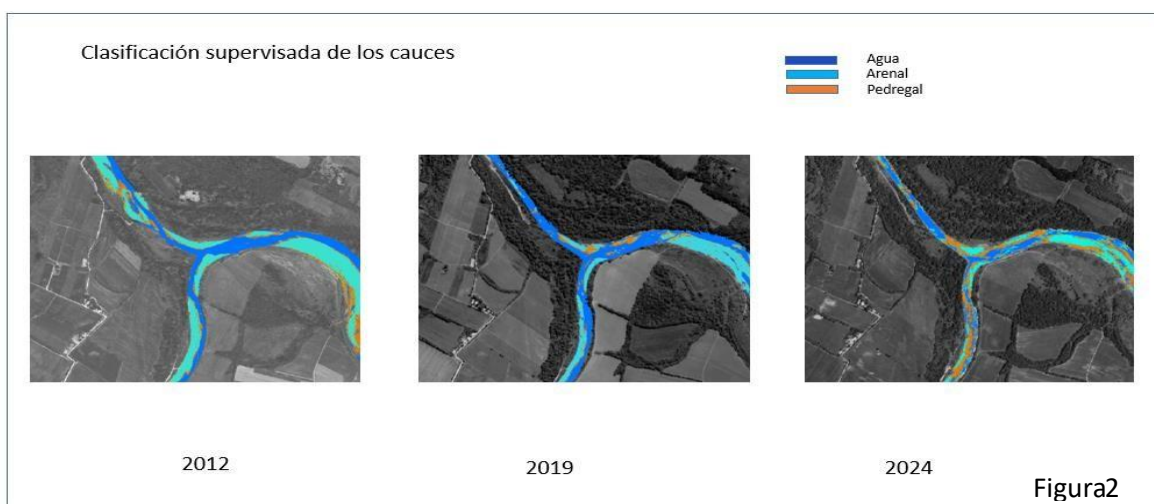
XV Jornadas Nacionales de Geografía Física
 Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
 San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024



En el piedemonte, hacia el oeste, la pendiente es más importante alcanza el 1.3 %, mientras que, en la zona de las juntas, hacia el este, la pendiente es de apenas 0.18 %.

En este contexto se han seleccionado tres fechas recientes para monitorear el cauce, corresponden a los años 2012, 2019 y 2014. El material usado corresponde a imágenes Spot 6 y 7. La selección de las fechas se las hizo a partir de la disponibilidad de imágenes.

Se ha procedido a realizar sobre cada una de ellas una clasificación supervisada (máxima probabilidad) empleando, muestreando 10 usos asociados al cauce. De esta manera es posible separar las clases correspondientes al cauce, lo que incluye la respuesta al agua, la arena y el pedregal. Para evitar confusiones con sectores urbanos y campos sin cobertura, se han extraído los sectores correspondientes a otros usos de la tierra, como ser cultivo de caña de azúcar, plantaciones de limón, bosque nativo y urbanizaciones, de esta manera se obtiene un muy buen resultado de detección.

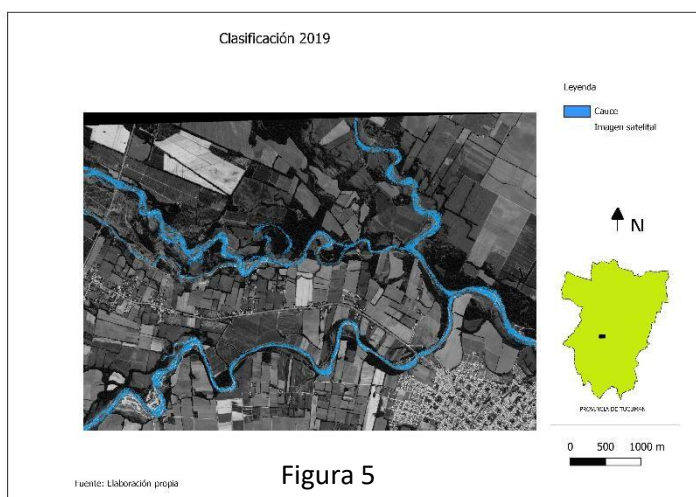
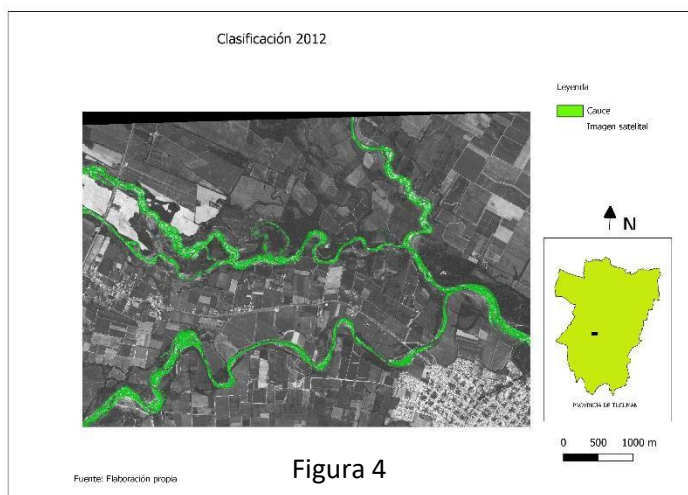
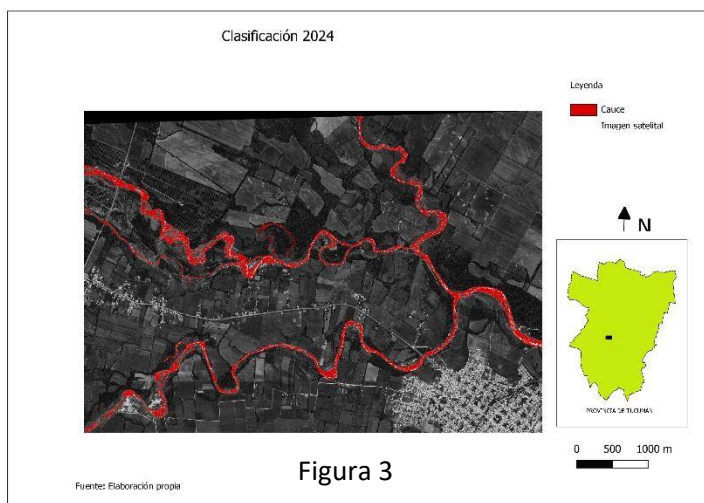


En la figura 2 mostramos en un sector del área de estudio, la clasificación resultante para cada año. En color azul se destaca el curso de agua, en color celeste aparecen las barras de arena y bancos y playas, y en color naranja pedregales con vegetación rala.

El siguiente paso en la metodología consiste en reclasificar cada clasificación de manera de

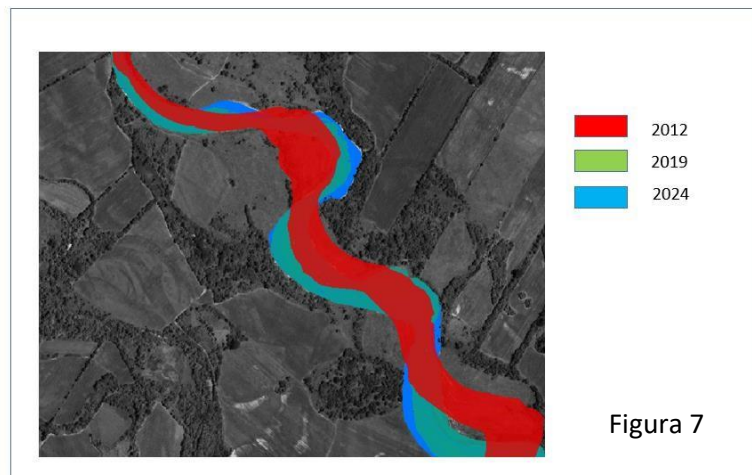
XV Jornadas Nacionales de Geografía Física
 Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
 San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024

obtener un bitmap (que incluya a las tres clases obtenidas) para cada año.

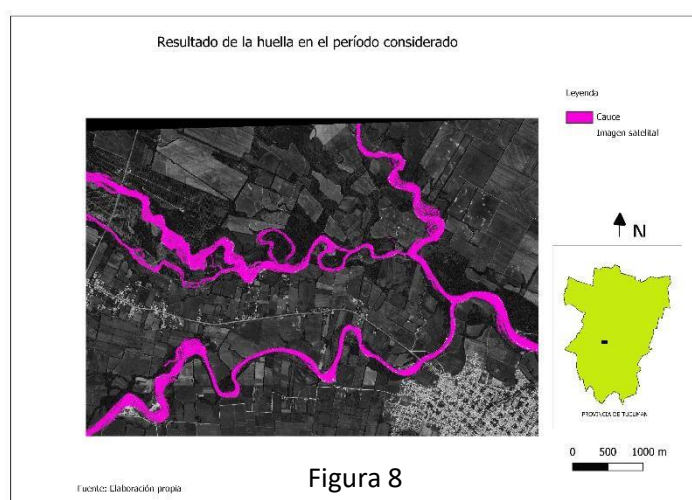


XV Jornadas Nacionales de Geografía Física
 Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
 San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024

En las figuras 4, 5 y 6 se muestran los bitmap para cada año del área de estudio. De esta manera obtenemos un mapa de los vestigios de las crecientes para cada año. Posteriormente, siguiendo con la metodología, vamos a superponer las huellas, con el fin de obtener la línea de ribera.



En la figura se muestra un sector del área de estudio donde se visualiza la superposición de las huellas, cada año con un color diferente. Para determinar la línea de ribera se superponen las huellas obtenidas, logrando una superficie que abarca o que incluye las de cada una de las mismas. Finalmente, para definir mejor la línea de ribera se filtra el resultado con el fin de rellenar pixeles.



Es posible repetir la metodología empleando más fechas o cortes temporales, de manera de cubrir más eventos y mejorar el resultado. Estas fechas deben ser recientes, por ejemplo los



XV Jornadas Nacionales de Geografía Física

Universidad Nacional de Tucumán – Red Argentina de Geografía Física
San Miguel de Tucumán, República Argentina – 24, 25 y 26 de abril de 2024

últimos 10 años (una escena por año), de manera que si existe una tendencia reciente, esta no se disperse, sino que se consolide.

La metodología planteada resulta conveniente para definir la línea de ribera en la llanura tucumana. Si bien es una metodología aparentemente sencilla, necesita de un adiestramiento en el manejo de imágenes y sobre todo en la interpretación visual de las mismas. Los materiales y procesamientos están disponibles y pueden ser realizados por personal técnico. En particular en nuestro proyecto de investigación nos interesa la cartografía de base orientada al ordenamiento del territorio, por lo que es un tema de gran interés. Queda pendiente perfeccionar los procesamientos y sistematizar los procedimientos de manera de automatizar su implementación para el resto de la provincia, en este caso para el resto de la llanura tucumana.

Palabras Clave: Cauces, Ribera, Imágenes, Llanura, Tucumán, Argentina

Bibliografía

Chuvieco, Emilo. Fundamentos de teledetección espacial. Madrid, España. (1990) Código Civil y Comercial de la Nación Argentina, (2015).

Del Campo, C.; López Alfonsín, M.; Devia, L; García Torres, M. et al., (2010). “El ordenamiento ambiental territorial en cuencas hídricas. Los cursos y cuerpos de agua como punto de partida”; en Memorias de las Jornadas de Capacitación Ambiental Metropolitanas. Buenos Aires. Del Campo, C. (2011). “Reflexiones sobre la regulación del agua como patrimonio natural”.

Cuaderno de Ambiental nº II El Agua. Academia Nacional de Derecho, Córdoba: Advocatus.

Del Campo, C. (2021). “Línea de ribera, la piel de los cursos y cuerpos de agua. La integridad e integralidad de los cursos y cuerpos de agua”. Defensa-Nacional-Nro.1.

Línea de Ribera: qué es, quién la determina y como se mide. Colegio de Agrimensores de la Provincia de Córdoba. (2023)

Reglamentación Ley 7017 Determinación de Líneas de Ribera. Artículo 126. (2002)