

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ANEGAMIENTO EN LA ZONA DISTAL DEL ABANICO ALUVIAL DEL RÍO SAN JUAN (1986-2017)

Cardús Monserrat, Adriana; Guardia Ávila, Enrique; Ruiz, María del Carmen

Instituto de Geografía Aplicada. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. San Juan - Argentina. Email: acardus123@gmail.com - enriqueguardia8@gmail.com - mdelcruiz@gmail.com

Resumen

El río San Juan, de régimen nival, presenta ciclos de sequía y de abundancia de caudales. Es en estos últimos cuando los mayores aportes a la recarga del acuífero libre del Tulum generan aumento del nivel freático y de la descarga natural en el área distal del abanico aluvial. En la cartografía histórica de 1863 las ciénagas ubicadas al este y sudeste de la ciudad de San Juan cubrían mayores extensiones que las actuales. La ejecución de una red de drenaje permitió desecarlas y disponer de suelos para cultivos en el oasis de Tulum. Sin embargo, durante períodos de exceso hídrico, algunos suelos han permanecido anegados generando pérdida de cultivos y daños en viviendas, obras de infraestructura y vías de circulación. El objetivo de este trabajo es delimitar las áreas más afectadas por el anegamiento en la zona distal del abanico aluvial del río San Juan en el período 1986-2017. Mediante la extracción de curvas de nivel y perfil de elevaciones del MDE-Ar se identificó el abanico aluvial y delimitó su área distal. Se aplicó el índice de agua MNDWI a una serie histórica de 30 imágenes Landsat y sus valores positivos fueron reclasificados para detectar la efluencia de agua subterránea. La cartografía resultante destaca dos sectores que han permanecido con agua en superficie entre 11 y 20 años: I- el cauce del arroyo Agua Negra con acumulaciones en algunos meandros por más de 20 años, II - el sector al oeste de calle Alfonso XIII, que se encuentra sobre la cota de 600 msnm. Esa última situación generó la instalación de una escombrera de relleno y un cambio hacia el uso residencial del suelo en los últimos años de sequía. Este estudio se considera necesario para guiar las acciones dirigidas a la planificación y regulación de los usos del suelo.

Palabras clave: Revenición – Análisis digital – Imágenes satelitales.

SPATIAL DISTRIBUTION OF WATERLOGGING IN THE DISTAL AREA OF THE ALLUVIAL FAN OF THE SAN JUAN RIVER (1986-2017)

Abstract

The San Juan River, with a snow regime, has cycles of drought and abundance of flows. During the last ones the greater contribution to the recharge of the free aquifer of Tulum generates the increase of the water level and the natural discharge in the distal area of the alluvial fan. In the historical cartography of 1863, the marshes located to the east and southeast of the city of San Juan covered greater extensions than the present ones. A drainage network allowed to dry them and to have soil for crops in the Tulum oasis. However, during periods of excess water, some soils have remained degraded by revenition, causing crop losses and damage of housing, infrastructure and roads. The objective of this work is to delimit the areas most affected by flooding in the distal area of the alluvial fan of the San Juan River in the period 1986-2017. By means of the calculation of contour lines and profile of elevations of the MDE-Ar, the alluvial fan was identified and its distal area was delimited. The MNDWI water index was applied to a historical series of 30 Landsat images, and its

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: septiembre de 2018

positive values were reclassified to detect groundwater effluence. The resulting cartography highlights two sectors that have remained with surface water for 11 to 20 years: I- the channel of the Agua Negra stream, with accumulations in some meanders for more than 20 years, II – the area to the west of Alfonso XIII street, above the level of 600 m above sea level. This last situation led to the installation of a landfill dump and a change towards residential land use in the last years of drought. This study is considered useful to guide the actions directed to the planning and regulation of land uses.

Keywords: Revenition - Digital analysis - Satellite imagesm.

Introducción

La provincia de San Juan localizada en la diagonal árida sudamericana, se caracteriza por la escasez del recurso hídrico y el predominio de vegetación natural de especies arbustivas xerófilas con escasa cobertura del suelo. “Las precipitaciones son muy escasas, totalizando en promedio unos 100 mm anuales en el área de mayor superficie agrícola” (Vicente y Miranda, 2015, p. 10) el oasis de Tulum, que además posee valores medios diarios de evapotranspiración potencial entre 1,78 y 10,2 mm en invierno y verano, respectivamente (Poblete y Aguiar, 1998). Sin embargo, en áreas de reducida extensión y en ciertos períodos se producen situaciones de exceso por la presencia de agua subterránea a escasa profundidad o en la superficie, con manifestaciones locales de anegamiento de suelos. Éste es un proceso ambiental cíclico, conocido localmente como revenición freática que puede afectar la actividad agrícola y las edificaciones.

Los cultivos no pueden crecer en suelos perpetuamente saturados de agua; por otra parte, una vez que el nivel freático aumenta hasta el punto que por capilaridad el agua puede subir, la evaporación se incrementa y con ella la salinización. (Strahler y Strahler, 1997)

El río San Juan al ingresar a la depresión tectónica de Tulum ha formado por cambio de pendiente, un abanico aluvial en cuyo subsuelo se encuentra un acuífero libre, “estrato de roca permeable que puede almacenar agua en su interior y permitir el paso de esta a su través”. (Monkhouse, 1978, p.13)

Según Strahler y Strahler (1997), el agua de saturación o de acuífero es la que colma completamente las porosidades de la roca o del suelo; la línea superior de la zona de saturación se denomina nivel freático. La infiltración de grandes volúmenes de agua ocasiona un aumento de este nivel pudiendo, con el tiempo, aproximarse a la superficie del suelo.

Se trata entonces, de una situación cíclica donde el nivel freático en el subsuelo presenta una variabilidad que está en relación con la recarga o descarga de agua en el

acuífero libre; la recarga es un proceso de infiltración, mientras que la descarga es el afloramiento natural de agua, o a través de obras de drenaje realizadas por el hombre. (Strahler y Strahler, 1997)

El caudal del río San Juan presenta variaciones anuales y cíclicas; estas últimas están en relación con la cantidad de precipitaciones nivas en la Cordillera de los Andes. En su curso medio, el río recarga el acuífero por infiltración de parte del caudal en el ápice del abanico, según informes del Ex Centro Regional de Aguas Subterráneas, actual Instituto Nacional del Agua.

El agua sub-superficial que circula hacia el sudeste produce el ascenso del nivel freático durante ciclos hidrológicos ricos, ocasionando la efluencia de agua subterránea en la zona distal del abanico aluvial por cambios litológicos y de pendiente, al pasar del abanico a la planicie aluvial. (Suvires, 2004)

En el Plano Topográfico de la Provincia de San Juan levantado en el año 1863 durante la gobernación de Domingo F. Sarmiento, aparecen representadas las llamadas ciénagas de Trinidad y Pocito ubicadas al sudeste de la ciudad de San Juan. Con el propósito de incorporar esos suelos para el uso agrícola, desde principios del siglo XX se construyó una red de drenaje que produjo la desecación de ese ambiente cenagoso generado por largos períodos de efluencia de agua subterránea.

No obstante estas obras de mejoramiento, aún se presentan sectores que son afectados por el anegamiento de suelos. El objetivo de este trabajo es identificar las áreas más afectadas por el fenómeno de revenición en la zona distal del abanico aluvial del río San Juan entre los años 1986 y 2017, a partir de técnicas que proporciona la teledetección.

El análisis de imágenes satelitales presenta ventajas para el estudio de la evolución de un fenómeno porque permite mostrar las coberturas periódicas con un amplio registro histórico y realizar su tratamiento facilitado por el carácter digital. Se coincide así, con lo que expresa Chuvieco (2010, p. 13): “La observación de la Tierra desde el espacio ha experimentado en los últimos años un vertiginoso desarrollo, llegando a ser un aliado cada vez más imprescindible en el seguimiento de procesos ambientales.”

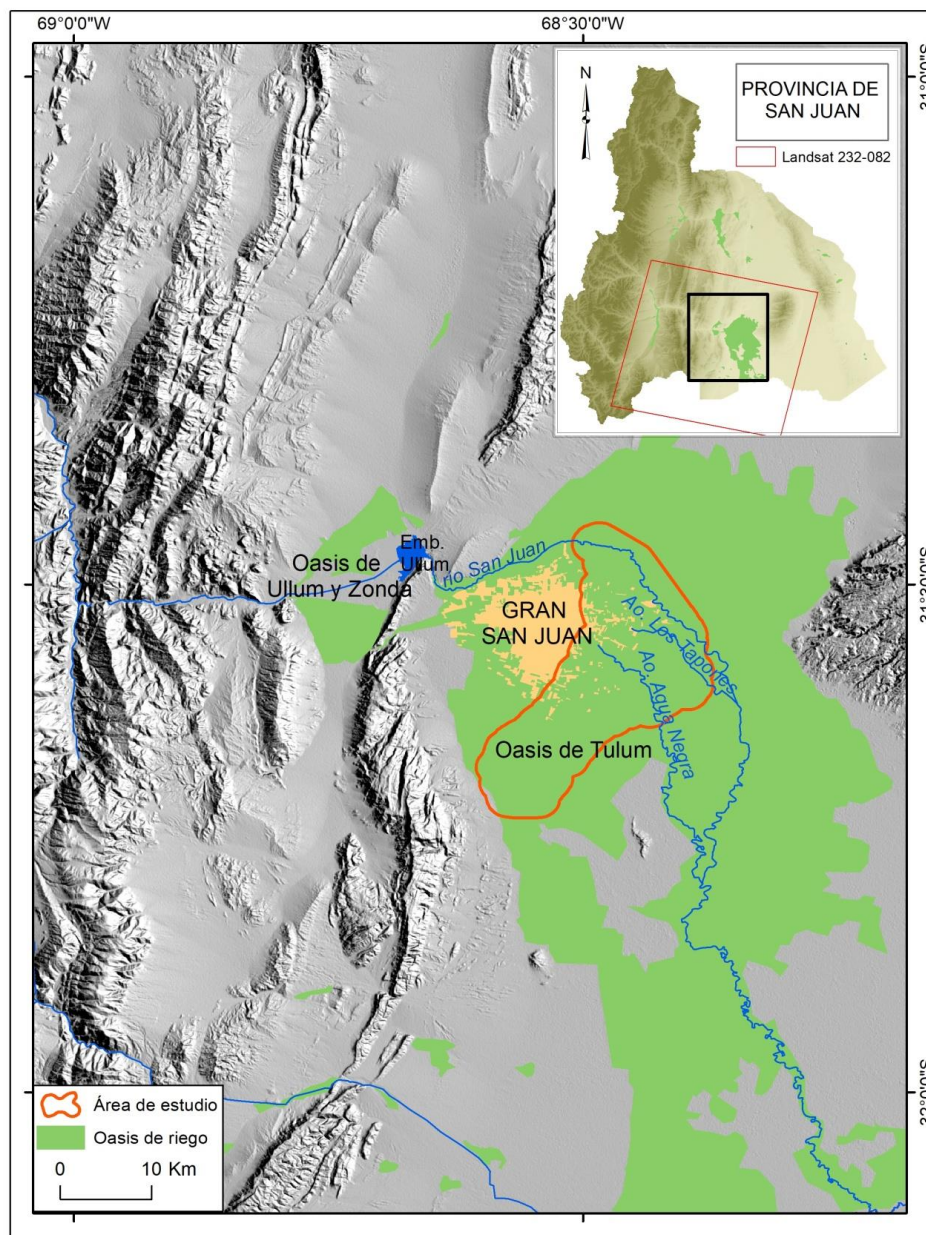
Se espera que la cartografía resultante constituya un documento de interés para la comprensión del comportamiento espacial y temporal del fenómeno de revenición y sea de utilidad para la planificación.

Metodología

Área de estudio

La zona distal del abanico aluvial del río San Juan se extiende entre los 31,4° y 31,7° sur y los 68,3° y 68,6° oeste, donde se desarrolla parte del mayor oasis de regadío de la provincia de San Juan denominado Tulum y el sector oriental del área urbana y suburbana del Gran San Juan (Figura N°1).

Figura N° 1. Localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia en base a MDE-Ar y Atlas Socioeconómico San Juan 2016.

Mediante extracción de curvas de nivel y perfil de elevaciones con base en el modelo digital de elevaciones MDE-Ar del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se delimitó el área distal del abanico aluvial, definido como una zona de influencia de 2 km a partir de la cota 600 msnm, representativa del cambio de pendiente entre abanico y planicie aluvial.

Se seleccionaron 30 imágenes Landsat del servidor Earth Explorer del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), una escena 232-082 para cada año entre los meses de junio y septiembre. Éstas se encuentran disponibles de manera libre y gratuita con un registro temporal amplio para realizar el análisis multianual entre los años 1986 y 2017, con excepción de los años 1987 por presencia de nubes y 2012 por falta de imágenes. Las bandas del espectro óptico que detectan los sensores TM y OLI (Landsat 5 y 8, respectivamente) son las indicadas para el cálculo de índices de agua.

Se realizó el recorte espacial del área de estudio, previa modificación de la proyección desde Universal Transversal Mercator (UTM) a Gauss-Krüger faja 2 y marco de referencia POSGAR 2007. La conversión de los niveles digitales a reflectancia permitió disponer de los datos adecuados para su posterior transformación digital.

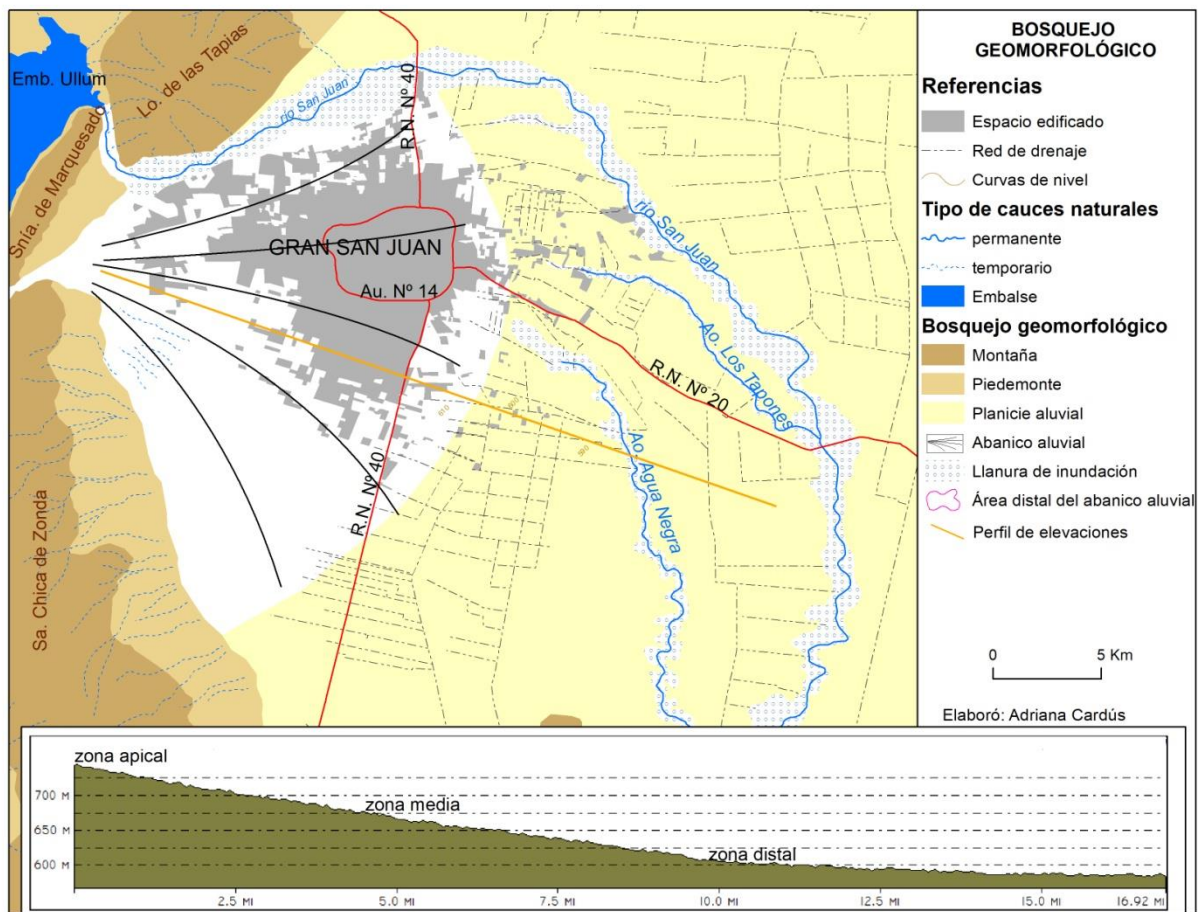
El análisis digital consistió en el cálculo del índice de agua de diferencia normalizada modificado (Hanqiu Xu, 2006) $MNDWI = \frac{Verde - SWIR}{Verde + SWIR}$ y la extracción de la clase de interés mediante reclasificación por discriminación (Buzai y Baxendale, 2011), asignando a los valores positivos de dicho índice la cobertura agua. Se complementó con criterios de interpretación visual, previa generación de composiciones a color R: SWIR V: IRC A: SWIR para identificar manifestaciones superficiales de la efluencia de agua subterránea.

A partir de la suma algebraica de todos los años analizados se confeccionó un producto cartográfico de síntesis que muestra las zonas más afectadas por el anegamiento entre 1986 y 2017.

Resultados

En el bosquejo geomorfológico (Figura N° 2) se representan las curvas de nivel obtenidas del MDE-Ar con una equidistancia de 10 metros, que permiten identificar la geoforma del abanico aluvial del río San Juan. El perfil de elevaciones muestra un cambio de pendiente en la cota de 600 msnm, evidencia de la transición entre abanico y planicie aluvial. Queda definida así la zona distal donde se produce la efluencia de agua subterránea. Ésta coincide con el inicio de la red de drenaje y las cabeceras de los arroyos Agua Negra y Los Tapones que funcionan como drenes naturales.

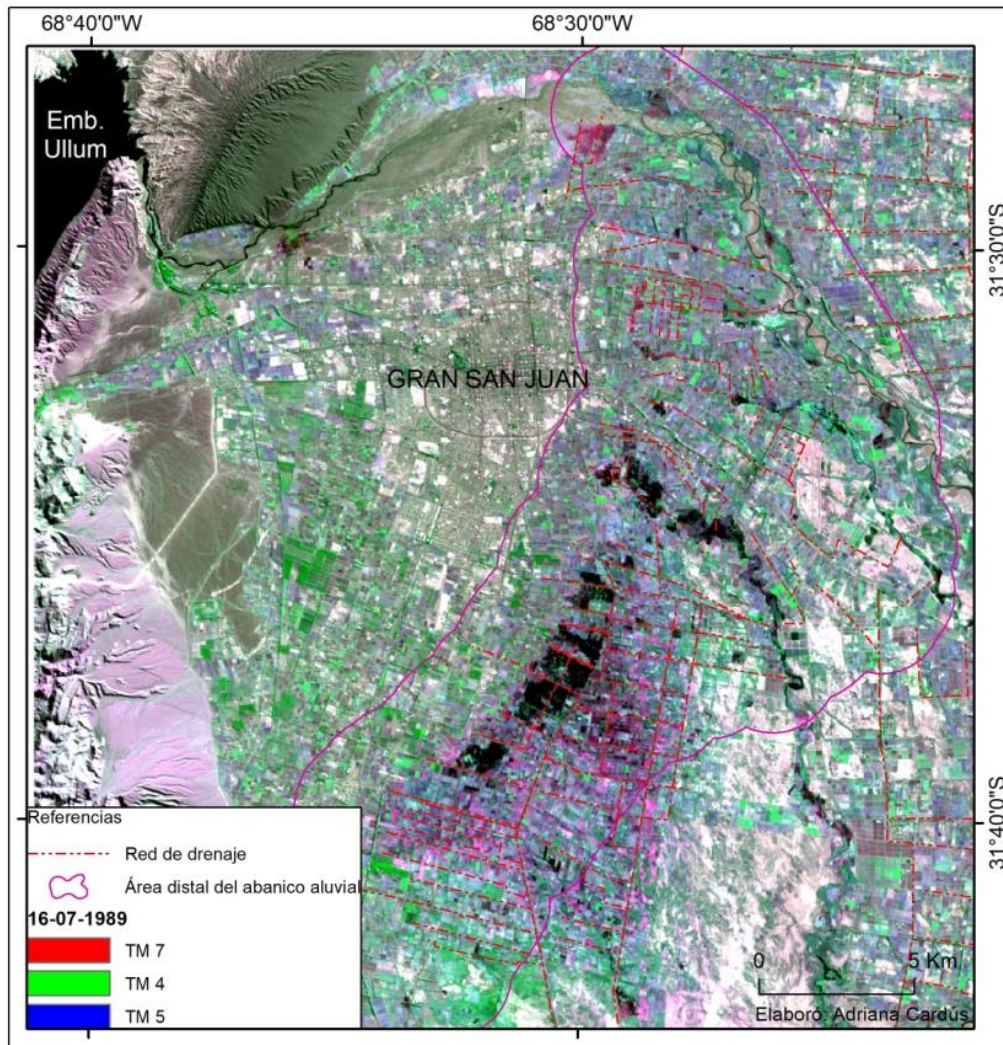
Figura N° 2. Bosquejo geomorfológico



Fuente: elaboración propia en base a MDE-Ar (IGN Argentina).

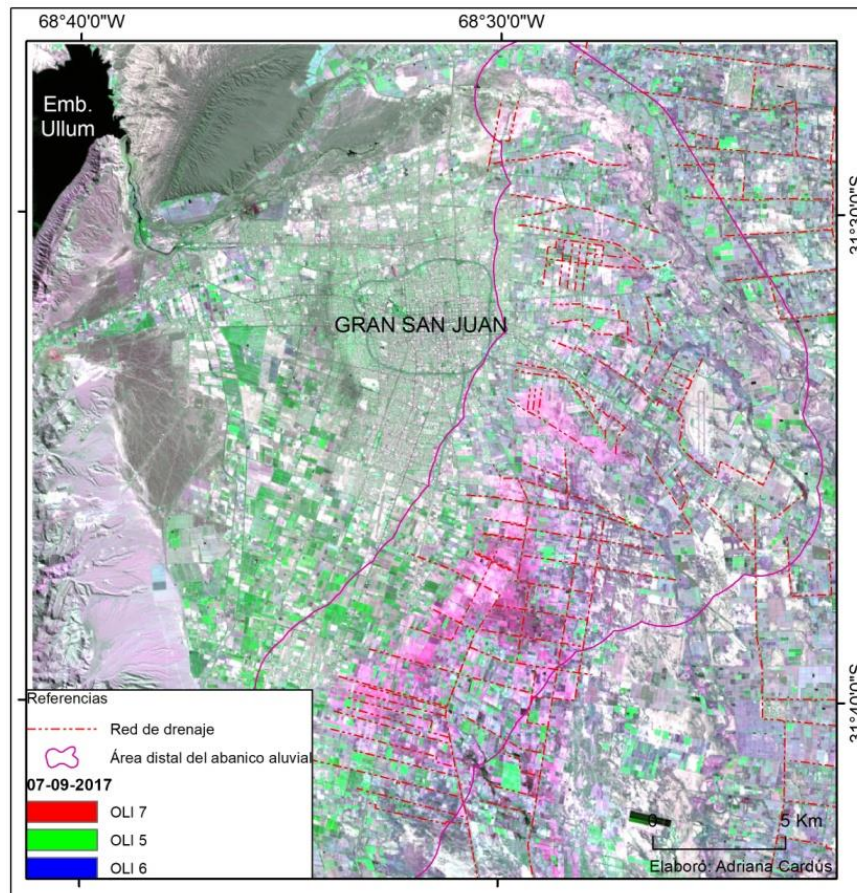
En la imagen compuesta (TM 745) de un año hidrológico rico (1989) se identifica la zona de recarga del acuífero en la llanura aluvial del río San Juan y de la descarga, que forma un arco en las proximidades a la cota de 600 msnm identificándose amplios sectores con agua en superficie (Figura N° 3). Un ejemplo de año hidrológico seco corresponde a la imagen del año 2017 (Figura N° 4).

**Figura N° 3. Imagen falso color compuesto, bandas 745 del sensor Landsat
TM, p232r082. 1989**



Fuente: Landsat de USGS / NASA.

**Figura N° 4. Imagen falso color compuesto, bandas 756 del sensor Landsat
OLI, p232r082. 2017**



Fuente: Landsat de USGS / NASA.

Con los resultados de los valores positivos del índice se obtuvieron para cada año las zonas con agua en superficie (Figuras N° 5 y N° 6), la que no se detecta desde 2014 hasta la actualidad.

En consecuencia, la suma algebraica de los 30 años muestra que el valor más elevado es 26, es decir, que hay píxeles en los que durante los 26 años se detecta agua y representan las zonas que estuvieron durante más tiempo afectadas por el anegamiento de suelos (Figura N° 7).

Del total de años analizados, las zonas que tuvieron agua por 11 años o más se encuentran en el cauce del arroyo de Agua Negra y al oeste de la calle Alfonso XIII.

Figura N° 5. Imagen reclasificada con valores positivos del MNDWI (1989)

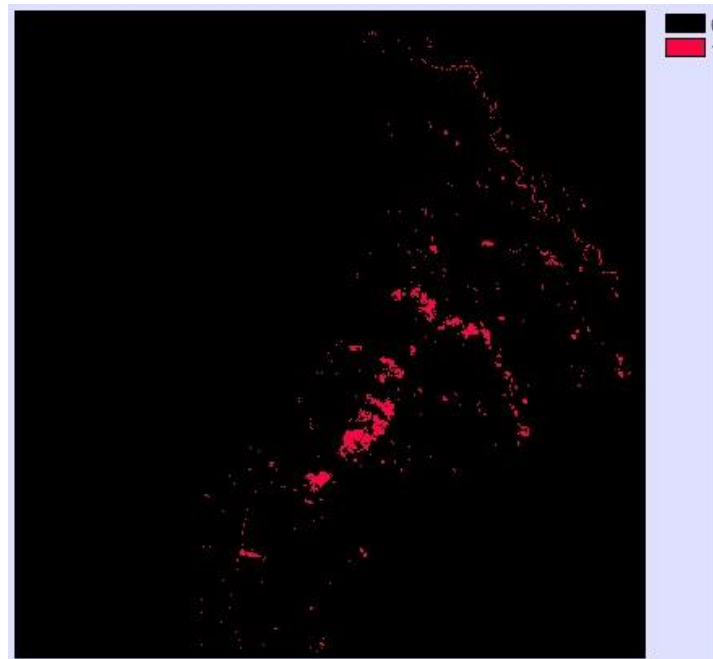


Figura N° 6. Imagen reclasificada con valores positivos del MNDWI (2017)

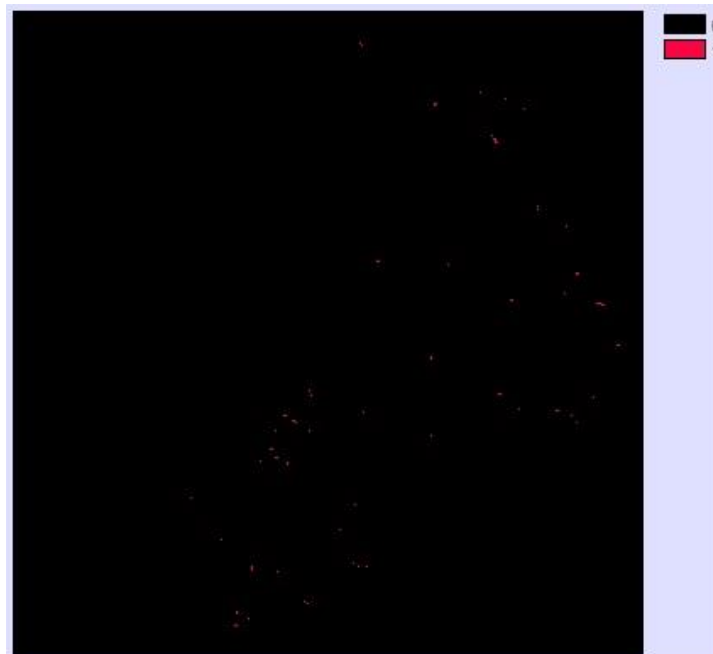
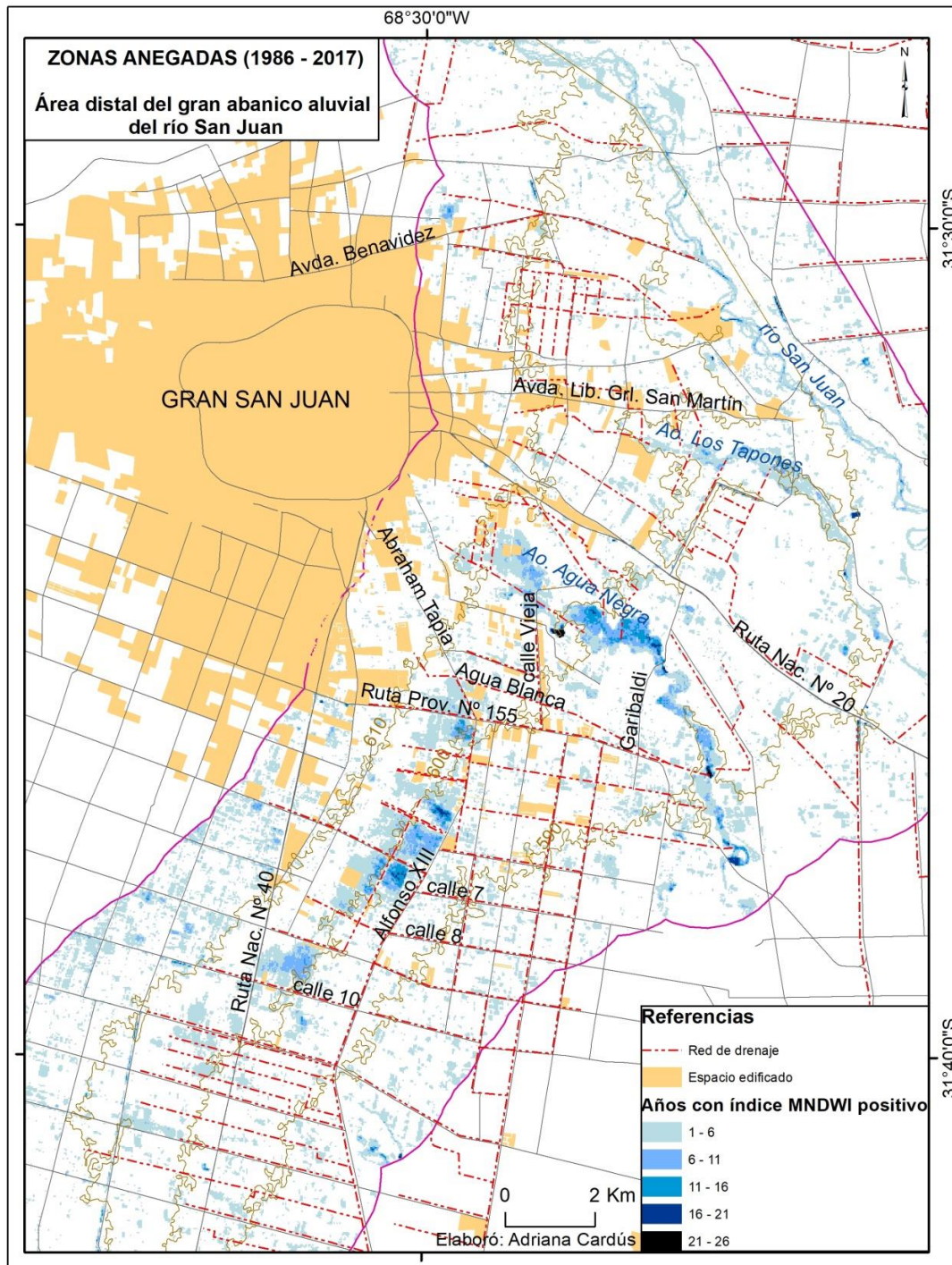


Figura N° 7. Anegamiento en la zona distal del abanico aluvial del río San Juan entre 1986 y 2017



Fuente: Elaboración propia en base al procesamiento digital de imágenes satelitales Landsat de USGS / NASA

Conclusiones

Los diferentes procedimientos aplicados generaron resultados en los que se integran aspectos geomorfológicos e hidrológicos lográndose delimitar las zonas más afectadas por la revenición en la zona distal del abanico aluvial del río San Juan.

El resultado del análisis digital muestra dos sectores bien diferenciados que han permanecido con agua en superficie entre 11 y 26 años: el cauce del arroyo Agua Negra, desde su cabecera en la cota de 610 msnm hasta el puente en la ruta provincial N° 155, con algunas acumulaciones en los meandros por más de 20 años y, a pesar de la existencia de una red de drenaje, el área comprendida entre calle Alfonso XIII y ruta nacional N° 40 y entre ruta provincial N° 155 y calle 10 en la cota de 600 msnm, afectando un promedio de 130 km² en cada sector mencionado.

Esto demuestra que la teledetección contribuye en estudios que poseen un mecanismo subterráneo con manifestaciones en superficie. Dado que esto sólo ocurre en años hidrológicos ricos se destaca la ventaja de contar con un registro histórico de imágenes satelitales de un período de 30 años para el análisis espacial de un fenómeno cíclico no regular como es el anegamiento de suelos por efluencia de agua subsuperficial.

La cartografía resultante representa las zonas que se consideran susceptibles de mayor exposición a la revenición en futuros períodos de exceso hídrico. En general, corresponden a espacios no cultivados y no construidos actualmente, así como también a rellenos de escombros; sin embargo existen algunas parcelas cultivadas y es evidente el avance del espacio edificado o previsto para construir en la cabecera del arroyo Agua Negra (cota 610), en Abraham Tapia y Agua Blanca y entre las calles 7 y 8 al oeste de Alfonso XIII. Por ello, es necesario comprender el comportamiento espacial del fenómeno estudiado para guiar las acciones dirigidas a la planificación y regulación de los usos del suelo.

Referencias bibliográficas

- Buzai, G. y Baxendale, C. (2011). *Análisis socioespacial con sistemas de información geográfica: perspectiva científica: temáticas de base raster*. Tomo 1. Buenos Aires: Lugar editorial.
- Centro Regional de Aguas Subterráneas. (1982). *Síntesis del conocimiento de los recursos hídricos subterráneos de la provincia de San Juan*. San Juan. IT – 135.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Editorial Ariel Ciencia.
- Hanqiu, Xu. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 3025-3033. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/232724072_Modification_of_Normalized_Dif

[ference Water Index NDWI to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery](#)

- Monkhouse, F.(1978). *Diccionario de términos geográficos*. Barcelona: Oikos Tau.
- Poblete, A. y Aguiar, L.(1998). Comportamiento intraestacional y espacial de la Evapotranspiración Potencial y su relación con la temperatura máxima en los valles de Tulum y Ullum-Zonda. *Temas Universitarios*, 1(3), 39-54.
- Strahler, A. y Strahler, A. (1997). *Geografía física* (3ª Ed.). Barcelona: Ediciones Omega S.A.
- Suvires, G. (2004). Distribución de los suelos en función del relieve y de la neotectónica en la región sureste de la provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59, 376-384. Recuperado de: <http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v59n3/v59n3a02.pdf>
- Vicente, G. y Miranda, O. (2015). "El uso del agua para riego en la provincia de San Juan: una mirada territorial e institucional". Buenos Aires: INTA Ediciones.