

MAPEO DE ÁREAS AGRÍCOLAS INUNDADAS ANTE UN EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO UTILIZANDO IMÁGENES SAR

Silvio Graciani¹; Marco Brogioni²; Marcelo Corti³

¹Universidad Nacional del Litoral (UNL) - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Ciudad Universitaria - Ruta Nacional N° 168 - Km 472,4 (3000) Santa Fe - Argentina, sgraciani@fich.unl.edu.ar; ²Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) - Instituto di Fisica Applicata (IFAC), Via Madonna del Piano, 10, 50019 Sesto Fiorentino Firenze - Italia, m.brogioni@ifac.cnr.itendereço; ³Universidad Nacional del Litoral (UNL) - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), Ciudad Universitaria - Ruta Nacional N° 168 - Km 472,4 (3000) Santa Fe - Argentina, marcecorti22@gmail.com

RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación fue determinar la superficie inundada en áreas de llanura a partir del uso de imágenes SAR, Sentinel 1B banda C polarización VV y VH. El área de estudio es la cuenca superior del Arroyo Cululú, localizada en el centro oeste de la Provincia de Santa Fe - Argentina (31° 10' Sur y 61° 50' Oeste). Para tal fin se compararon siete algoritmos de clasificación, dos no supervisados: clasificación polarimétrica H - alpha y coherencia interferométrica; y cinco supervisados: umbral manual, detección de cambios (índice de inundación, índice de vegetación inundada y cociente) y parámetros polarimétricos. Estos algoritmos se validaron a través de la matriz de error obteniéndose una fiabilidad global del 83,4% para el seleccionado, resultante de la aplicación conjunta de los métodos supervisados de Umbral Manual y Detección de Cambios. El mismo presenta como ventajas: simplicidad y rapidez, la explotación de los conjuntos de datos de observación de la tierra (Big Data EO), la fácil selección de umbrales y la capacidad para delimitar tanto las superficies abiertas inundadas como las cubiertas por ciertos cultivos.

Palabras-clave — SAR, mecanismos de dispersión, umbral manual, detección de cambios.

ABSTRACT

The main objective of this research is to contribute to the determination of flooded surfaces in plain areas, through the use of SAR, Sentinel 1B satellite, C band and VV-VH polarizations. The case study is a sector of the upper basin of the Arroyo Cululú, located in the Province of Santa Fe - Argentina (31° 10' South and 61° 50' West). To this end, seven classification algorithms were compared, two unsupervised: H-alpha polarimetric classification and interferometric coherence; and five supervised: manual threshold, change detection (flood index, flooded vegetation index and quotient) and polarimetric parameters. These algorithms were validated through the error matrix, obtaining an overall reliability of 83.4% for the selected algorithm, resulting from the joint application of the supervised methods of Manual Threshold and Change

Detection. It presents as main advantages: simplicity and speed, the exploitation of Earth observation data sets (Big Data EO); the easy selection of thresholds and the ability to delimit both rural areas flooded with "open" water and those covered by certain crops.

Key words — SAR, backscatter mechanisms, Manual Threshold, Change Detection.

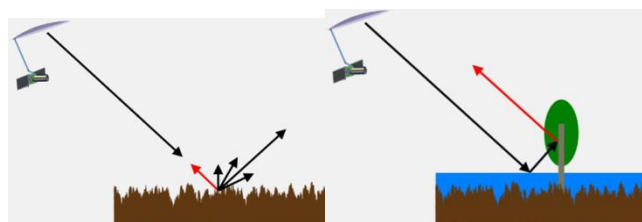
1. INTRODUCCIÓN

Las proyecciones de cambio climático prevén un número creciente de eventos climáticos extremos con ocurrencia de precipitaciones intensas que consecuentemente producirán inundaciones. Por lo tanto, y en coincidencia con el objetivo número 13 "Acción por el clima" de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por la Organización de las Naciones Unidas, un mapeo preciso y rápido de estos fenómenos es un componente clave de los planes de gestión de emergencias y reducción del riesgo de desastres. En este trabajo se evalúa la aplicación de diversos métodos de clasificación supervisados y no supervisados con objeto de mapear inundaciones a partir de imágenes SAR. Además, se priorizó el empleo de datos SAR de descarga libre, tal el caso del SENTINEL 1 de la Agencia Espacial Europea (ESA). En la actualidad, la automatización y robustez para el mapeo de inundaciones en superficies abiertas, en donde el agua cubre completamente el suelo y la vegetación, se ha logrado con una precisión aceptable a partir del uso de Big Data EO (X. Shen et al., 2019) [1]. Sin embargo, aún no son satisfactorios para la detección de superficies inundadas debajo de la vegetación empleando datos SAR en diferentes bandas (X, L, etc.) y/o polarizaciones (simple, dual o cuádruple). El progreso técnico de los sistemas SAR y los avances en la tecnología informática han llevado al desarrollo de algoritmos adecuados para la extracción de la vegetación inundada en imágenes SAR en las últimas décadas, surgiendo entonces la posibilidad de detectar lotes rurales con cultivos inundados, en los cuales el agua queda oculta por las hojas de los mismos, a partir de considerar el incremento de la señal SAR retrodispersada ocasionada por el mecanismo de dispersión de doble rebote agua-tallo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es avanzar hacia la determinación de la extensión de la inundación, tanto en

aguas abiertas, como, con vegetación inundada, empleando conjuntos de datos SAR satelitales multitemporales gratuitos (banda C y polarización doble VV y VH).

1.1. Estado del arte

Para Nazzareno Pierdicca et al. (2014) [2], la última generación de satélites SAR permite proporcionar a los administradores de emergencias mapas de inundación casi en tiempo real caracterizados por una resolución espacial muy alta. Los algoritmos de detección de inundaciones generalmente buscan regiones de baja retrodispersión, asumiendo así que el agua de inundación aparece oscura en una imagen SAR, lo cual es una suposición que no siempre es válida. Por ejemplo, en las zonas rurales, la retrodispersión de doble rebote que involucra el tallo vertical de los cultivos con el suelo produce un alto retorno de la señal radar que puede incrementarse aún más por la presencia de agua debajo de las plantas. Debido a la alta constante dieléctrica del agua (80), no hay penetración de las microondas en la misma, por lo cual la retrodispersión depende de la rugosidad superficial del agua. En un caso ideal, un cuerpo de agua abierto puede ser modelado como una superficie perfectamente lisa que actúa como un reflector especular que dirige la radiación de microondas incidente lejos del sensor SAR en la dirección contraria al mismo, por lo cual la retrodispersión es nula y se aprecia en color negro en la imagen (Mason et al., 2007) [3]. El retorno de la señal desde la vegetación inundada es muy variable y fuertemente dependiente de la longitud de onda y de la estructura y densidad del dosel (Richards et al., 1987) [4]. En la opinión de Mercedes Salvia et al. (2010) [5], las microondas emitidas por el sensor SAR, dado su capacidad para atravesar el dosel, ofrecen la posibilidad de mapear las inundaciones por debajo de la vegetación. Esto ocurre por el aumento de la retrodispersión debido al mecanismo de interacción (agua-tallo) de doble rebote entre la vegetación y el agua de la inundación que la cubre parcialmente, ver Figura 1.



FUENTE E. Podest (2017) [6]

Figura 1. Dispersión difusa en la floresta no inundada (izq.) y de doble rebote en la inundada (der.).

La Figura 2 abajo, muestra a la izquierda, un lote de maíz inundado parcialmente (entre 50 y 80 cm de agua), que provoca la dispersión doble rebote agua-tallo. A la derecha se puede ver otro lote inundado casi completamente que da lugar a la dispersión especular.



FUENTE: C. Caracci y D. Faure (2017) [7]

Figura 2.- Cultivo parcialmente inundado (izq.) y completamente cubierto por el agua (der.).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se obtuvo información de relevamientos de campo realizados por personal del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - INTA Rafaela, sobre el área de estudio, los días 3, 11 y 12 de enero de 2017. Se utilizaron imágenes SAR del satélite Sentinel 1B con las siguientes características: Banda C (5,6 cm), doble polarización (VV/VH), resolución espacial de 5x20 metros y ángulo de incidencia entre 38° y 46°, modo IW. Las mismas fueron descargadas gratuitamente de la página (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Se emplearon 2 imágenes en el nivel básico llamado formato complejo de un solo look (SLC) y 8 en rango terreno observado (GRD).

Fecha	Modo	Producto	Polarización
22/10/2016	IW	GRD	VV/VH
03/11/2016	IW	GRD	VV/VH
15/11/2016	IW	GRD	VV/VH
27/11/2016	IW	GRD	VV/VH
09/12/2016	IW	GRD	VV/VH
21/12/2016	IW	GRD	VV/VH
02/01/2017	IW	GRD	VV/VH
14/01/2017	IW	GRD	VV/VH
21/12/2016	IW	SLC	VV/VH
14/01/2017	IW	SLC	VV/VH

Tabla 1. Fecha de adquisición y tipo de producto Sentinel 1B.

A continuación, se muestra en la Figura 3 el método utilizado para obtener un mapa de inundación en donde se incluyen las superficies abiertas inundadas (dispersión especular) y la vegetación inundada (doble rebote). El método consistió en pre-procesar las imágenes SAR seleccionadas y luego en aplicarles siete algoritmos de clasificación, siendo dos de ellos no supervisados (entropía/ángulo alfa y la coherencia interferométrica) y cinco supervisados (umbral manual, índice de inundación (NDFI), índice de vegetación inundada (NDFVI), cociente y parámetros polarimétricos). Estos algoritmos se compararon a partir de las superficies inundadas detectadas por cada uno sobre el área de estudio (especular y doble rebote) y luego

se validaron a través de datos de campo y de una imagen óptica (Sentinel 2) utilizando la matriz de error con objeto de seleccionar el más preciso.

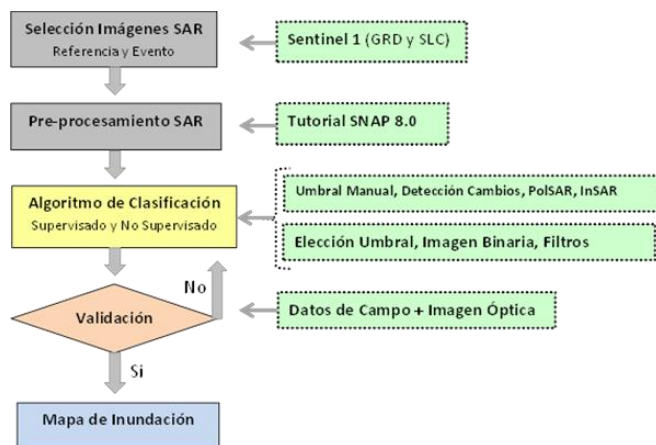


Figura 3. Método para la determinación del área inundada.

3. RESULTADOS

Según señalado en el método, las imágenes Sentinel 1B fueron procesadas aplicando el siguiente procedimiento:

- 1) Ejecución de cada algoritmo de clasificación supervisado y no supervisado considerado: Umbral Manual, Detección de Cambios, PolSAR e InSAR;
- 2) Determinación del umbral sobre la imagen procesada con un dado método de clasificación;
- 3) Aplicación del umbral sobre la imagen procesada a partir del uso de operadores lógicos, con objeto de obtener una imagen binaria con las clases agua y no agua;
- 4) Empleo de filtros sobre la imagen binaria. En primer término se aplica un filtro de mediana (3x3) y en segundo lugar, se utiliza un filtro morfológico de cierre (3x3). A continuación, se muestra el resultado obtenido a partir de la aplicación de uno de los algoritmos de clasificación.

3.1. Clasificación supervisada umbral manual

Para la aplicación de este algoritmo de clasificación supervisado se analizó la imagen Sigma0 (σ_0 , formato GRD) con polarizaciones VV y VH adquirida el 14/01/2017. Además, se efectuó el cociente entre las bandas (VV/VH) y una composición color RGB_VV-VH-VV/HV (Figura 4). En la misma se observan en color negro las áreas anegadas de agua “libre” (dispersión especular), en magenta los cultivos anegados (doble rebote) resaltados por la polarización VV y el cociente VV / VH; y en color azul otras áreas con dispersión especular resaltadas por dicho cociente VV / VH. Continuando con el método de Umbral Manual, la segunda etapa consiste en determinar los umbrales para aplicar a las imágenes consideradas (VV, VH y VV/VH) a partir del análisis del histograma (Figura 5). Entonces, en el caso de VV el umbral fijado permitió separar los lotes con dispersión de doble rebote agua-tallo ($\sigma_0 VV \geq 0,25$), en el caso de VH el umbral seleccionado fue para separar las superficies con dispersión especular ($\sigma_0 VH \leq 0,003$), y finalmente para el cociente VV/VH, el

umbral identificado también permitió diferenciar las áreas con dispersión de doble rebote ($\sigma_0 VV/\sigma_0 VH \geq 15,0$).

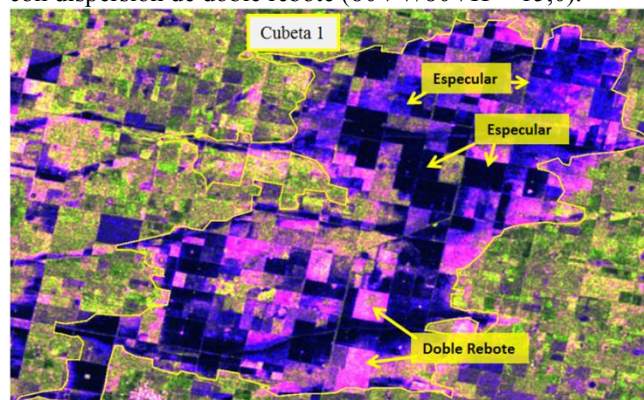


Figura 4. La composición color RGB_VV-VH-VV/VH muestra en color negro y azul la dispersión especular y en magenta la de doble rebote.

Luego, se continuó con el tercer paso del procedimiento consistente en la aplicación de los umbrales seleccionados, con objeto de generar la imagen binaria (agua - no agua), ver Figura 6. Finalmente, el último paso consiste en la aplicación de los filtros de mediana (3x3) y morfológico de cierre (3x3) para la eliminación de píxeles aislados y espacios vacíos, respectivamente.

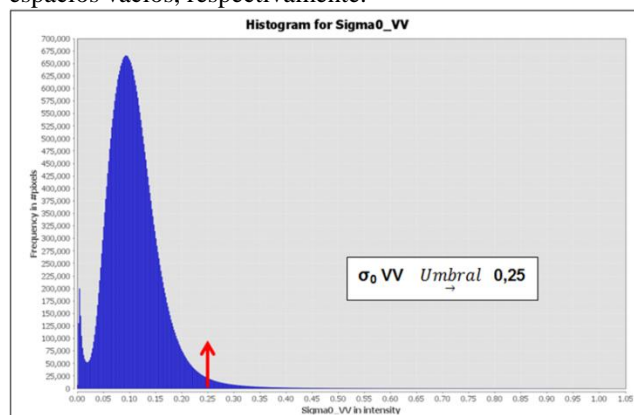


Figura 5. Umbral aplicado a la imagen σ_0 VV para diferenciar las áreas inundadas con dispersión de doble rebote.

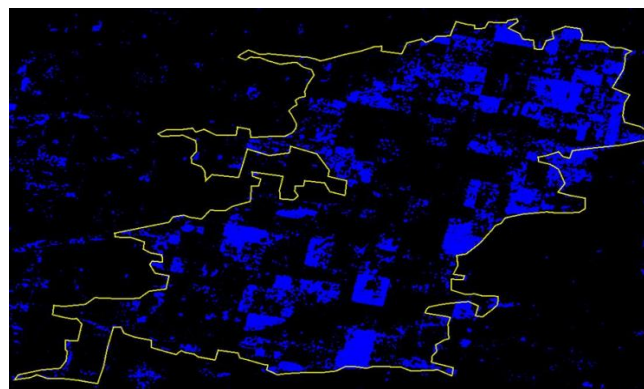


Figura 6. Imagen binaria obtenida del umbral aplicado al cociente VV / VH en azul se aprecian las áreas anegadas que son resaltadas por la dispersión de doble rebote agua-tallo.

4. DISCUSIÓN

Para comparar el desempeño de los diferentes algoritmos de clasificación aplicados, se determinó la superficie total inundada derivada de cada mecanismo de dispersión (especular y doble rebote), ver Tabla 2.

Algoritmos	Sup. Especular (Ha)	Sup. Doble Rebote (Ha)	Sup. Total (Ha)
Umbral Manual	6831,29	2815,27	6831,29
NDFI NDFVI	5934,54	1641,07	5934,54
NDFI NDFVI - Serie	5416,63	924,10	5416,63
Cociente VV/VH - GRD	5393,38	1356,21	5393,38
Cociente VV/VH - SLC	9633,42	287,55	9633,42
H - Alfa	3468,24	2445,92	3468,24
H - Alfa - Clasif.	6367,85	2440,87	6367,85

Tabla 2. Superficie total inundada a partir de la dispersión especular y de doble rebote por los distintos algoritmos.

A partir del análisis de los resultados observados en las Tabla 2, se decide aplicar un nuevo algoritmo de clasificación supervisado, al cual se denominó Mixto, que resultó simplemente de combinar los resultados obtenidos por los dos algoritmos que detectaban la mayor superficie especular, por un lado, y la de doble rebote, por otro, siendo estos el Cociente VV/VH - SLC y el Umbral Manual, respectivamente. Entonces, en el algoritmo Mixto la superficie total inundada resulta de:
Sup. Total Inundada = Cociente VV/VH-SLC (especular) + Umbral Manual (doble rebote)

4.2. Validación de los métodos de clasificación

A continuación, se efectuó la validación de las imágenes binarias (agua y no agua), derivadas de los tres algoritmos mencionados (Mixto, Cociente VV/VH - SLC y Umbral Manual), utilizando la matriz de error. Como áreas de verdad del terreno, se emplearon las muestras obtenidas en campo (19) y otras (131) adquiridas sobre una imagen óptica Sentinel 2 RGB-118a5 (del 10/01/2017) correspondientes a las dos clases de interés (agua y no agua). En la Tabla 3 se puede observar un índice de Fiabilidad global de 83,4% para el algoritmo denominado Mixto. Este supera al índice logrado por el método de umbral manual (77,6%) y al cociente VV/VH - SLC (66,1%). En cuanto al índice Kappa, este presenta un valor bueno (0,6) para el algoritmo Mixto, regular (0,5) para el umbral manual (0,5) y bajo (0,3) para el cociente VV/VH - SLC.

Algoritmos	Fiabilidad global [%]	Kappa
Mixto	83,4	0,6
Umbral Manual	77,6	0,5
Cociente VV/VH - SLC	66,1	0,3

Tabla 3. Índices de Fiabilidad global (%) y Kappa para los algoritmos seleccionados.

5. CONCLUSIONES

Se concluye que se consiguió desarrollar un algoritmo (denominado Mixto) para la identificación de las superficies inundadas (abiertas y con vegetación) a partir del uso de imágenes SAR en banda C y polarización dual (VV - VH).

Este algoritmo tiene una performance similar a la clasificación supervisada con imágenes ópticas, las cuales en general no se pueden utilizar durante un evento extremo debido a la presencia de nubes. Además el algoritmo fue testeado sobre un área de estudio amplia (1180,82 km²) durante un evento climático extremo y comparado con otros disponibles en la literatura. Se destaca que la identificación de superficies con vegetación inundada es un problema abierto para la comunidad científica y este estudio intenta contribuir en este sentido.

Fue posible diferenciar algunos lotes inundados con cobertura de cultivos, en los cuales estos cubrían el agua. Particularmente, en los lotes con maíz se verificó la presencia del mecanismo de dispersión de doble rebote entre el agua y los tallos de las plantas. Sin embargo, este mecanismo de interacción no pudo ser comprobado en otros cultivos presentes en el área de estudio, tales como: soja, girasol y sorgo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Shen X., D. Wang, K. Mao, E. Anagnostou and Y. Hong, "Inundation Extent Mapping by Synthetic Aperture Radar: A Review", *Remote Sensing*, 11, 879, 2019.
- [2] N. Pierdicca, L. Pulvirenti, M. Chini, G. Boni, G. Squicciarino and L. Candela, "Flood Mapping by SAR: Possible approaches to mitigate errors due to ambiguous radar signatures", 2014.
- [3] Mason D., Horritt M., Dall'Amico J., Scott T., and Bates P. "Improving river flood extent delineation from synthetic aperture radar using airborne laser altimetry", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(12), pp. 3932-3943, 2007.
- [4] Richards J., Woodgate P., and Skidmore A., "An explanation of enhanced radar backscattering from flooded forests", *International Journal of Remote Sensing*, 8(7), pp. 1093-1100, 1987.
- [5] Salvia Mercedes, "Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del Macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Buenos Aires, 2010.
- [6] Podest Erika, "Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética (Synthetic Aperture Radar o SAR)". NASA's Applied Remote Sensing Training Program, p.p. 56, 2017.
- [7] Caracci C. y Faure D., "El Departamento y la inundación", <https://inta.gov.ar/documentos/el-departamento-castellanos-y-la-inundacion>, 2017.