

CASO PRÁCTICO

Aplicación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en la detección y delineación de información de crisis de desastres naturales en el marco de los servicios Copernicus EMS

Donezar-Hoyos, U.*; Larrañaga-Urien, A., Tamés-Noriega, A., Sánchez-Gil, C., Albizua-Huarte, L., Ciriza-Labiano, R., del Barrio-Arellano, F.

Tracasa. Departamento de Ingeniería y Sistemas Territoriales. C/ Cabárceno, 6. 31621 Sarriguren. Navarra. España.

Resumen: El principal objetivo de este trabajo ha consistido en analizar la aplicabilidad de la incorporación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 en los flujos de trabajo para obtener información de crisis de diferente naturaleza, así como su aplicación en la detección y monitorización de dichos eventos. Sentinel es un programa de observación de la tierra que está siendo desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del programa Copernicus operativo desde abril de 2012, previamente denominado *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES). Consta de seis misiones, de las cuales en estos momentos están activas tres, Sentinel-1 que proporciona imágenes radar, Sentinel-2 que proporciona imágenes ópticas de Alta Resolución y Sentinel-3, que proporciona servicios globales de vigilancia terrestre, atmosférica, de gestión de emergencias y seguridad y de la criosfera. En el presente artículo, se muestra la aplicación práctica de los datos radar Sentinel-1 en la detección de zonas inundadas y su uso para la detección de cambios por medio de análisis MultiTemporal de Coherencia (MTC) de imágenes radar para la delimitación de incendios y monitorización de flujos de lava. Respecto a Sentinel-2, se explotan las capacidades que proporciona su alta resolución espectral para la delimitación de incendios mediante el cálculo de diferencias de índices de vegetación entre las imágenes pre- y post-evento. Los resultados usando Sentinel-1 y Sentinel-2 se han comparado, en todos los casos, con resultados obtenidos a partir de imágenes de mayor resolución espacial, tanto ópticas como radar. Los buenos resultados de estas comparaciones demuestran la utilidad de imágenes Sentinel para los 3 casos estudiados.

Palabras clave: emergencias, Sentinel-1, Sentinel-2, MTC, incendios, monitorización de flujos de lava, inundaciones.

Applicability of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for the detection and delineation of crisis information in the scope of Copernicus EMS services

Abstract: This study shows the inclusion of Sentinel-1 and Sentinel-2 images in the workflows to obtain of crisis information of different types of events and their applicability in the detection and monitoring of those events. Sentinel is an Earth Observation (EO) program that is currently being developed by the European Space Agency (ESA) in the scope of the Copernicus program operative since April 2012, formerly known as Global Monitoring for Environment and Security (GMES). This program comprises six missions, out of which three are active, Sentinel-1 that provides radar images,

To cite this article: Donezar-Hoyos, U., Larrañaga-Urien, A., Tamés-Noriega, A., Sánchez-Gil, C., Albizua-Huarte, L., Ciriza-Labiano, R., del Barrio-Arellano, F. 2017. Applicability of Sentinel-1 and Sentinel-2 images for the detection and delineation of crisis information in the scope of Copernicus EMS services. *Revista de Teledetección*, 50, 49-57. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.8896>

* Autor para la correspondencia: udonezar@tracasa.es

Sentinel-2 providing High Resolution optical images and Sentinel-3 developed to support GMES ocean, land, atmospheric, emergency, security and cryospheric applications. The present paper describes the use of Sentinel-1 radar to detect and delineate flooded areas, and the MultiTemporal Coherence (MTC) analysis applied with pre and post-event images to delimit and monitor burnt areas and lava flows. With respect to Sentinel-2, its high spectral resolution bands allowed the delineation of burnt areas by calculating differences of vegetation and burnt indices using pre and post-event images. Results using Sentinel-1 and Sentinel-2 data were compared with results using higher spatial resolution images, both optical and radar. In all cases, the usability of Sentinel images was proven.

Key words: emergency, Sentinel-1, Sentinel-2, MTC, forest fires, lava flow monitoring, floods.

1. Introducción

La respuesta a emergencias supone un reto a la hora de gestionar los recursos tanto en los momentos inmediatamente posteriores, como en el proceso de recuperación y valoración de los daños. La cartografía de emergencias se define como “*la creación de mapas, productos de geo-información y análisis espaciales dedicados a dar una visión de la situación de la emergencia e información de crisis inmediata para la respuesta mediante la extracción de información geográfica de referencia (pre-evento) y de crisis (post-evento) de imágenes de satélite o aéreas*” (IWG-SEM, 2015). Para ello, la información de satélite ha demostrado ya su utilidad, en programas tales como *Copernicus Emergency Management Service* (Copernicus EMS), operativo desde abril de 2012 e *International Charter Space and Major Disasters*, operativo desde 2000.

Copernicus EMS consta de dos servicios de producción de mapas, *Rapid Mapping* y *Risk and Recovery Mapping*, que activan los diferentes usuarios autorizados, integrados por los servicios encargados de la gestión de emergencias de cada estado miembro de la Unión Europea, denominados *National Focal Points*, y por los servicios de la Comisión Europea, *Emergency Response Coordination Centre* (ERCC) y los servicios de la Unión Europea, *European External Action Service* (EEAS) para las crisis que se producen fuera del ámbito europeo.

El servicio *Rapid Mapping* se encarga de la producción de mapas para dar respuesta a corto plazo a una crisis concreta con el fin de ayudar en la gestión de dicha crisis. El segundo servicio, *Risk and Recovery Mapping*, tiene un doble objetivo. En el contexto del pre-evento, el objetivo es la elaboración de mapas de riesgos a determinadas

crisis, tales como mapas de susceptibilidad ante terremotos, e incluso la creación de cartografía de referencia en zonas del mundo que carezcan de ella. En el contexto del post-evento, el objetivo es la elaboración de mapas que puedan ayudar en la recuperación y en la evaluación de daños, tales como mapas de zonas dañadas por un incendio.

Con el fin de asegurar la mejora continua de ambos servicios y hacer un seguimiento de su evolución, se creó el *Copernicus EMS Mapping Validation*, que es el servicio dentro del sistema Copernicus EMS encargado de la verificación de los resultados obtenidos por los diferentes servicios de producción de mapas. Lo activa la Comisión Europea, aunque puede estar sugerido por los usuarios autorizados. Consta de tres módulos interconectados que se pueden activar juntos o por separado: Módulo 1, en el cual se recoge información de referencia en campo; Módulo 2, que engloba la validación temática de los productos estudiados; y Módulo 3, que es la evaluación de los productos, incluyendo el análisis del impacto de éstos por parte de los usuarios finales.

Es en el contexto del servicio *Copernicus EMS Mapping Validation*, en concreto en los Módulos 2 y 3, donde se ha probado la utilidad y aplicabilidad de los productos Sentinel-1 y Sentinel-2 en la gestión de emergencias usando información de referencia obtenida de imágenes de mayor resolución espacial para su validación. El objetivo era la verificación de que ambas fuentes de datos representan fuentes de datos fiables para la creación de información de crisis.

Así, se ha testado la utilidad de imágenes radar Sentinel-1 en la detección y monitorización de inundaciones. Además, se han realizado clasificaciones automáticas de composiciones en color basadas en series MultiTemporales de Coherencia

(MTC) calculadas sobre imágenes multitemporales de Sentinel-1 para la delimitación y monitorización de flujos de lava e incendios. Los estudios de MTC se beneficiaron de las capacidades que ofrece el periodo de revisita de Sentinel-1, 12 días en el caso de usar Sentinel-1A, y 6 desde que en abril de 2016 se lanzara su satélite gemelo, el Sentinel-1B. Estos periodos cortos permiten tener imágenes pre- y post-evento cercanas a la fecha de la emergencia, lo cual permite inferir que los cambios en coherencia se deben solamente al evento de crisis. Por último, se aprovechó la alta resolución espectral del satélite Sentinel-2, que toma datos en 13 bandas, 9 de ellas en las zonas visible e infrarrojo cercano del espectro, con un periodo de revisita de 10 días.

2. Material y métodos

Los análisis se realizaron con imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2 de diferentes fechas y los resultados obtenidos se compararon con resultados derivados de imágenes VHR ópticas, en la evaluación de daños de las siguientes emergencias:

- Detección de incendios
- Delimitación de lava
- Delimitación de inundaciones

2.1. Aplicación en detección de incendios

Se testó la capacidad de imágenes Sentinel-1 (S-1) y Sentinel-2 (S-2) para la detección y delimitación de zonas quemadas a consecuencia de un incendio declarado el 25/08/2016 en los municipios de Pueyo y Tafalla en Navarra, que afectó principalmente a zonas forestales y agrícolas. Los resultados obtenidos con cada uno de los sensores, aplicando técnicas adecuadas a la naturaleza de sus respectivas medidas, se validaron con la delimitación de la zona quemada obtenida a partir de una imagen

óptica Pléiades y se disgregaron según el uso de suelo del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (MCA) de Navarra de 2012. La Tabla 1 resume las imágenes utilizadas, el tamaño de pixel (GSD, del inglés *Ground Sampling Distance*) y la metodología usada en cada caso para delimitar el incendio.

La delimitación mediante Sentinel-1 se realizó a partir de un par interferométrico con un nivel de procesamiento *Single Look Complex*, donde se mantiene la información de la fase, necesaria para la obtención de la imagen de coherencia. Con este par se obtuvo una imagen MTC a partir de la cual se extrajo automáticamente el área quemada mediante una clasificación supervisada a nivel de objeto utilizando el software Feature Analyst. Este software usa un proceso de aprendizaje jerárquico para segmentar una imagen en base a categorías determinadas por el usuario (Overwatch Systems, Ltd., 2013). El flujo de trabajo hasta la obtención de la imagen MTC fue íntegramente realizado con el software gratuito Sentinel Application Platform (SNAP), ver Figura 1.

La detección usando Sentinel-2 se basó en el cálculo de la diferencia del *Burnt Area Index* (ΔBAI) entre el pre- y el post-evento. El BAI se calcula según la Ecuación 1.

$$BAI=1/((0,1-\rho_{RED})^2+(0,06-\rho_{NIR})^2) \quad (1)$$

donde:

ρ_{RED} = Reflectancia de la banda del rojo (665 nm).

ρ_{NIR} = Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (842 nm).

El área quemada se identificó mediante una clasificación automática a nivel de objeto realizada sobre la imagen ΔBAI y revisada y editada usando la imagen Sentinel-2 post-evento.

La delimitación de las zonas quemadas usando la Pléiades del 07/09/2016 se realizó calculando el BAI y clasificando la imagen resultante con

Tabla 1. Resumen de material y métodos usados en el estudio de la delimitación de zonas quemadas.

Sensor	Fecha	GSD	Método
Sentinel-1	20/08/2016 01/09/2016	15m	MTC y clasificación automática
Sentinel-2	22/08/2016 02/09/2016	10m*	ΔBAI y clasificación automática
Pléiades	07/09/2016	0,5m	BAI y clasificación automática

* GSD de las bandas usadas.

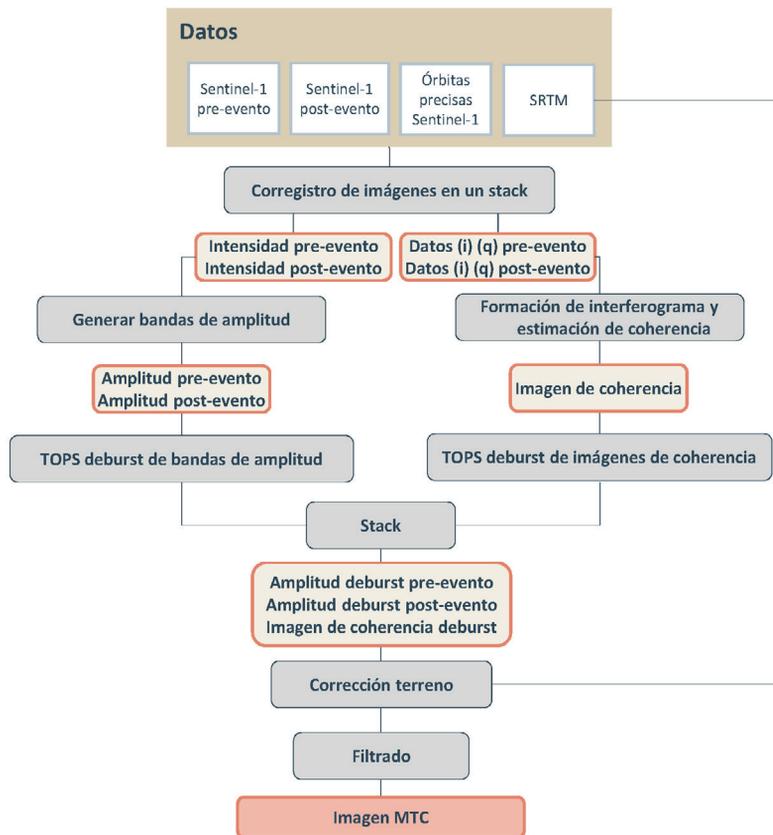


Figura 1. Flujo de trabajo de la obtención de la imagen MTC a partir de imágenes Sentinel-1.

Feature Analyst. El resultado se suavizó y se fotointerpretó para eliminar errores groseros.

Los resultados se compararon por pares con el fin de analizar la influencia del tipo de imagen y de la resolución espacial en la delimitación de áreas quemadas. Además, los resultados obtenidos se estudiaron según los usos de suelo con el fin de establecer en qué usos es más fácil detectar zonas quemadas.

2.2. Aplicación en delimitación de lava

Se evaluó la utilidad de las imágenes Sentinel-1 para la delimitar la colada de lava de una erupción volcánica en la isla de Fogo, Cabo Verde, que comenzó el 23/11/2014 y se prolongó hasta el 08/02/2015. Para ello se adquirió una imagen Sentinel-1 pre-evento del 03/11/2014 y una post-evento del 09/12/2014, ambas con GSD=15 m. A partir de ellas se calculó la imagen MTC según el

flujo de trabajo de la Figura 1, de la que se derivó la mancha de lava por medio de clasificación supervisada a nivel de objeto realizada con el software Feature Analyst seguida de fotointerpretación para eliminar los errores más groseros. La Figura 2 muestra la composición RGB de la imagen MTC sobre la que se realizó la clasificación automática, donde en el Rojo y Verde se muestran la imagen de amplitud pre- y post-evento respectivamente y en el Azul la coherencia. La mancha de la colada de lava es claramente visible en verde sobre fondo azul.

La mancha se comparó con la extraída por fotointerpretación de una imagen WorldView-2 (WV-2) del 09/12/2014.

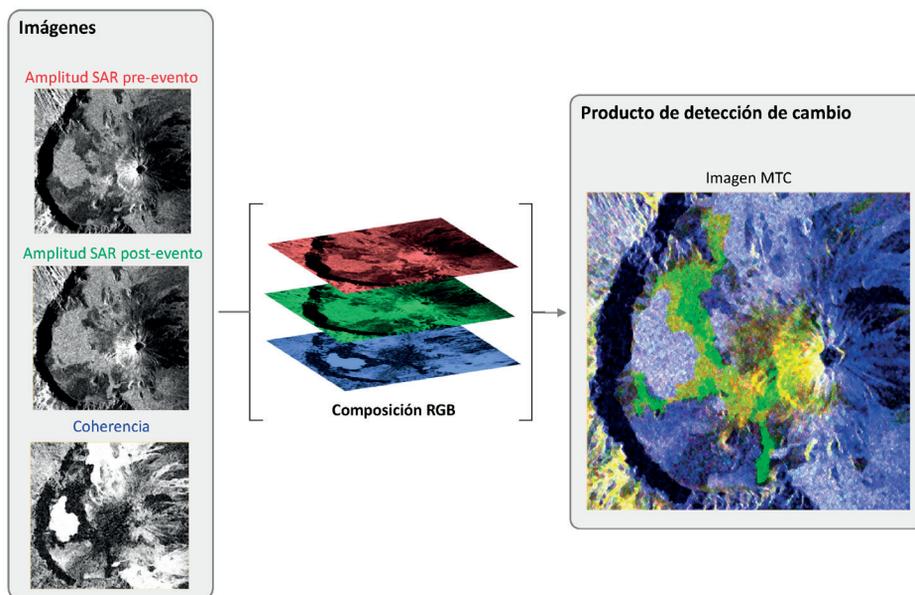


Figura 2. Composición RGB sobre la que se realizó la clasificación automática de la colada de lava.

2.3. Aplicación en delimitación de inundaciones

Se testaron las capacidades de imágenes Sentinel-1 adquiridas en polarización Vertical-Horizontal (VH) para detectar zonas inundadas. A pesar de que la polarización Horizontal-Horizontal (HH) es más apropiada en la detección de agua (Henry, 2006), ésta no siempre está disponible en Sentinel-1. La mancha de agua se comparó con manchas de agua obtenidas de fuentes de mayor resolución espacial, COSMO-SkyMed (CSK) con polarización HH y fotografías aéreas RGB. Los estudios se llevaron a cabo en dos zonas con diferentes morfologías del terreno que habían sufrido inundaciones de características diferentes. La primera se trató de una inundación extensa

provocada por lluvias abundantes y constantes que duró meses en gran parte de Irlanda, en un terreno muy llano y sobre suelos saturados de agua. La segunda fue una inundación rápida en una zona del delta del Mississippi, provocada por una tormenta de verano especialmente fuerte y que resultó en una crecida rápida del río y en una igualmente rápida bajada del nivel del agua. Además, mientras que las zonas afectadas por la inundación de Irlanda son amplios campos de cultivos o de pastos con núcleos urbanos concentrados, la zona afectada del delta del Mississippi es un núcleo urbano extenso formado mayormente por casas unifamiliares y masas arbóreas dentro de la ciudad. La Tabla 2 muestra un resumen de los datos considerados.

Tabla 2. Resumen de las imágenes Sentinel-1 y datos usados para la comparación para el estudio de zonas inundadas.

Imagen Sentinel-1		Datos de comparación		
Fecha	Sensor	Fecha	GSD	Terreno
13/12/2015	CSK HH	13/12/2015	5 m	Llano Sin árboles Urbano concentrado
19/08/2016	Fotos aéreas	18/08/2016	~0,1 m	Llano Con árboles Urbano diseminado

Las imágenes Sentinel-1 se procesaron con el software SNAP. La mancha de agua se obtuvo mediante clasificación supervisada a nivel de objeto utilizando el software Feature Analyst seguida de una edición semiautomática usando datos auxiliares tales como Modelos Digitales del Terreno (MDT) para descartar zonas no susceptibles de inundación. La edición se completó de forma manual en algunas zonas.

La mancha de agua proveniente de las fotografías aéreas se obtuvo mediante fotointerpretación, usando imágenes pre-evento disponibles en el mapa base de ArcGIS (© Microsoft (2012) distribuido por ESRI World Imagery) para tener una idea de las características de la zona antes de la inundación.

La mancha de agua a partir de COSMO-SkyMed se obtuvo mediante extracción automática utilizando el software Feature Analyst sobre la imagen del coeficiente *backscatter* seguida de fotointerpretación para eliminar errores groseros.

3. Resultados

Los resultados obtenidos y su análisis se presentan para cada emergencia en las siguientes subsecciones.

3.1. Resultados en la aplicación en detección de incendios

El resultado de la utilización de las imágenes Sentinel-1 se comparó contra el resultado de la utilización de imágenes Sentinel-2 y Pléiades para valorar las diferencias dependiendo de si se usa una imagen radar u óptica de similar resolución espacial o de si se usa una imagen radar u óptica VHR. Además se comparó el resultado de la utilización de Sentinel-2 con el resultado de la utilización de Pléiades para ver el efecto de la diferencia de resolución espacial. La Figura 3 muestra los resultados de la comparación, con los errores de omisión representados en verde, los errores de comisión en rosa y la concordancia en blanco.

La Tabla 3 muestra la delimitación de zonas quemadas dependiendo de las imágenes usadas y la superficie detectada desagregada por usos del suelo según el MCA de 2012.

Los usos forestales son donde mejor se detecta la zona quemada a partir de Sentinel-1. Dado que la metodología seguida con radar se basa en cambios en las características de las cubiertas observadas, los resultados eran los esperables. Como los cultivos herbáceos ya estaban cosechados en la fecha del incendio, el fuego pasó por parcelas de suelo desnudo sin cambiar sus características. Los usos forestales, que sí tenían hojas en el momento del

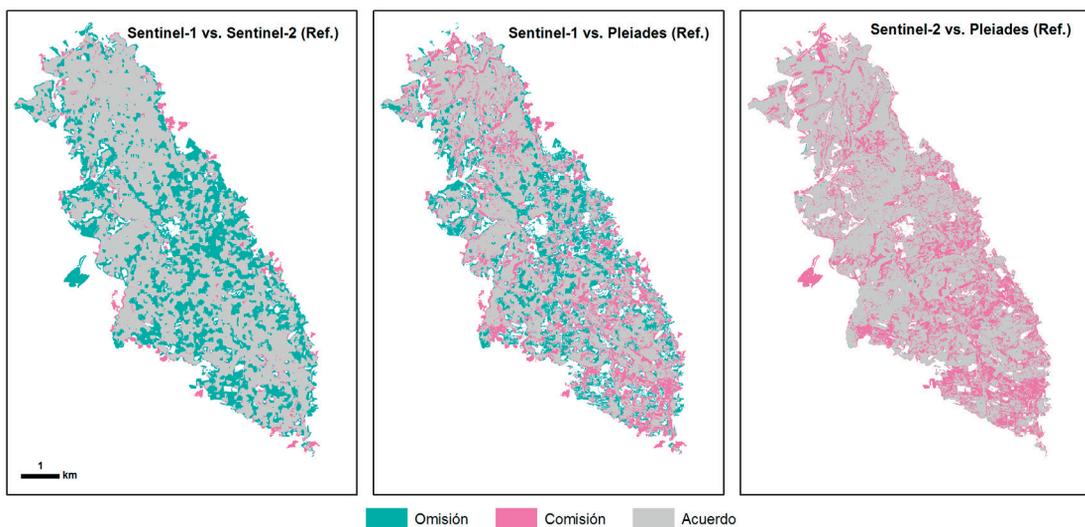


Figura 3. Resultados de la comparación de la superficie obtenida mediante diferentes métodos y con diferentes fuente de datos.

Tabla 3. Superficie quemada detectada dependiendo de la imagen usada desagregada por uso en la delimitación de zonas quemadas.

Sentinel-1	Sentinel-2	Pléiades
Cultivos herbáceos (ha)		
1.161,14	1.810,86	1.003,33
Cultivos leñosos (ha)		
16,91	17,05	10,25
Forestal arbolado (ha)		
306,14	428,14	396,42
Forestal no arbolado (ha)		
899,24	1.015,22	937,34
Improductivo (ha)		
41,75	44,24	0
TOTAL		
2.425,18	3.315,52	2.347,34

incendio, sufrieron más cambio y por tanto se detectan mejor en el análisis MTC.

La Tabla 4 muestra los porcentajes de acuerdo, omisión y comisión para el total de las capas cruzadas. En los cruces se tomó como dato de referencia el resultado obtenido con Sentinel-2 en la primera comparación y los resultados con Pléiades para la segunda y tercera.

Tabla 4. Porcentajes de acuerdo, omisión y comisión totales para las capas cruzadas en la delimitación de zonas quemadas.

	Acuerdo (%)	Omisión (%)	Comisión (%)
Sentinel-1 vs. Sentinel-2	69,15	30,85	5,46
Sentinel-1 vs. Pléiades	73,76	26,24	28,61
Sentinel-2 vs. Pléiades	99,49	0,51	29,57

El mayor porcentaje de acuerdo se obtuvo en la comparación entre las dos imágenes ópticas, aunque los errores de comisión ascienden a casi el 30%. Estos errores se deben principalmente a zonas de cultivo que en la clasificación automática de Sentinel-2 se consideraron quemadas pero no así en la Pléiades. El segundo mejor resultado en términos de porcentaje de acuerdo se observa en la comparación de Sentinel-1 con Pléiades. Los

Tabla 5. Porcentajes de acuerdo, omisión y comisión totales para las capas cruzadas en la delimitación de colada de lava.

Cruce	Precisión temática (%)	Coefficiente kappa	Omisión (%)	Comisión (%)
Sentinel-1 vs. WV-2	99	0,90	9	12

resultados de esta comparación son similares a los de la comparación en términos de acuerdo hecha con datos de Sentinel-1 y 2, aunque hay que resaltar que los errores de comisión bajan notablemente cuando se comparan los resultados derivados de Sentinel.

3.2. Resultados en la aplicación en delimitación de lava

La Figura 3 muestra los resultados de acuerdo, omisión y comisión del cruce de la delimitación de lava obtenida mediante procesamiento de radar comparada con la información obtenida por fotointerpretación de imagen WorldView-2. La imagen de fondo de la figura se corresponde con el mapa base de ArcGIS (© Microsoft (2012) distribuido por ESRI World Imagery).

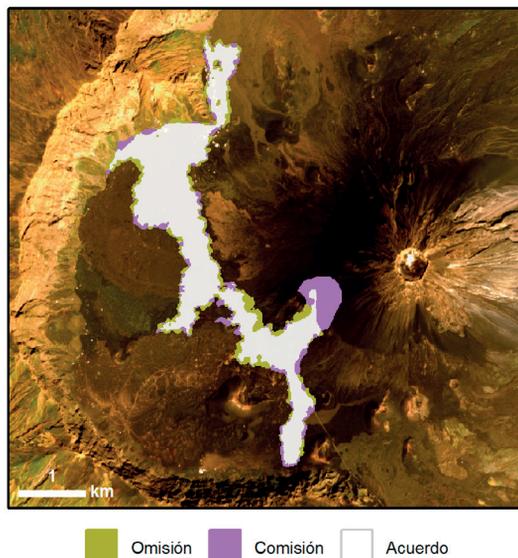


Figura 4. Resultado de la comparación de la delimitación de lava por medio de análisis MTC de imágenes Sentinel-1 y fotointerpretación de imagen VHR óptico.

La Tabla 5 muestra los resultados de la validación del flujo de lava derivado de Sentinel-1 contra el derivado de WorldView-2.

Los resultados indican un muy alto nivel de concordancia entre los datos (Altman, 1991). La

Tabla 6. Resultados de la validación de zonas inundadas detectadas usando Sentinel-1.

Cruce	AOI	Precisión temática (%)	Coefficiente kappa	Omisión (%)	Comisión (%)
Sentinel-1 vs. CSK	1	95	0,77	29	10
	2	95	0,77	28	9
	3	98	0,64	49	10
Sentinel-1 vs. Fotos aéreas		98	0,14	90	70

mayoría de las diferencias se dieron en las zonas de borde de las capas, influidas por las diferencias en la resolución espacial de las imágenes y en la metodología de extracción seguida. Además se observó una gran mancha correspondiente a errores de comisión en la zona de la fisura, que da una respuesta confusa en el análisis MTC, ver Figura 2. En esta zona la coherencia entre las imágenes Sentinel-1 pre-evento y post-evento es muy baja, ya que a pesar de ser una zona situada ladera arriba, hacia el cono principal del volcán, sobre ella se depositan materiales expulsados por el volcán, cambiando las características del terreno.

3.3. Resultados en la aplicación en delimitación de inundaciones

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos en la comparación de manchas de agua derivadas de

datos Sentinel-1 y de otros sensores. La comparación de los datos Sentinel-1 y COSMO-SkyMed se realizó en 3 zonas de interés (AOI, del inglés *Area Of Interest*) diferentes con mismas características del terreno.

Los resultados indican un buen nivel de concordancia entre los datos obtenidos mediante radar, con coeficientes de kappa superiores a 0,64, mientras que la comparación con la mancha de agua proveniente de fotointerpretación arroja un nivel de concordancia pobre, con un kappa de 0,14 (Altman, 1991). La Figura 5 muestra dos zonas de detalle de la comparación hecha para Sentinel-1 y COSMO-SkyMed del 13/12/2015. Como se puede ver en la misma, hay errores de omisión (marcados en verde) debidos por un lado a la diferencia de resolución espacial y por otro a la diferencia en la polarización de las imágenes utilizadas. Mientras que la menor resolución espacial de Sentinel-1

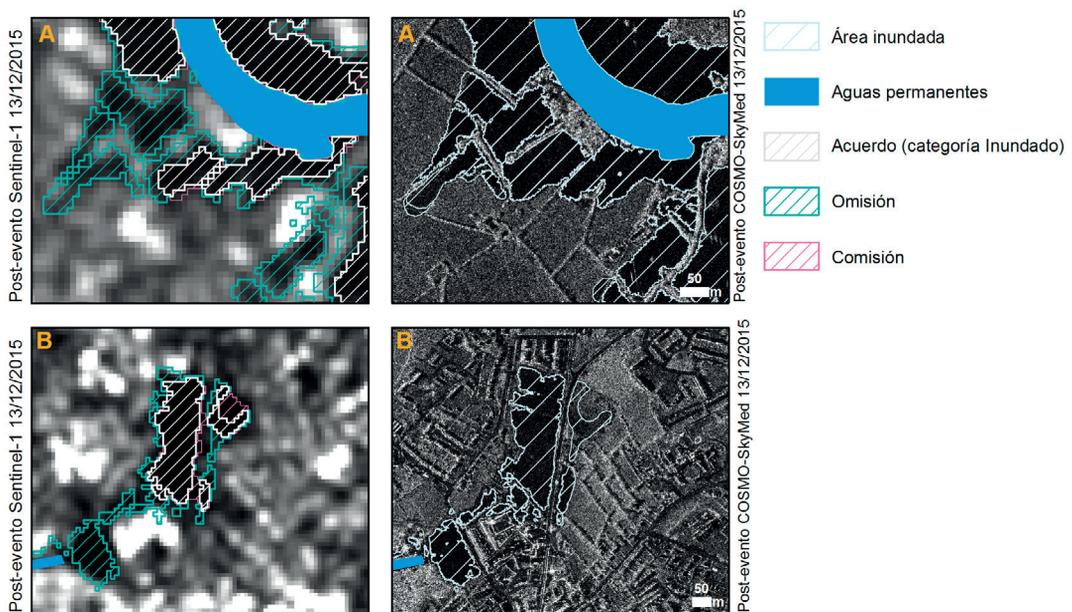


Figure 5. Ejemplos de omisiones y comisiones en dos zonas de detalle para la comparación de manchas de inundación derivadas de Sentinel-1 (izquierda) y COSMO-SkyMed (derecha).

lleva a que zonas pequeñas sean omitidas, la diferencia en polarización hace que haya zonas que en COSMO-SkyMed den una respuesta inequívoca de agua, mientras que en Sentinel-1 aparecen menos resaltadas y por tanto se confunden más fácilmente con zonas sin agua.

Por otro lado, cabe destacar las omisiones para la categoría inundado en la comparación realizada entre capas de inundación derivadas por medio de Sentinel-1 y la derivada por fotointerpretación de imágenes aérea, de 90%. Éstas se deben en parte a limitaciones propias del radar en zonas arboladas o con edificios, que generan una respuesta muy diferente a la del agua, y por tanto enmascaran la señal de retorno del agua y en parte a la diferencia de fecha de las imágenes usadas. Al analizar los resultados se observaron zonas amplias y despejadas claramente inundadas en las fotografías aéreas que no daban una respuesta de agua en la imagen radar, de lo que se deduce que la mayor parte del agua retrocedió de un día para otro.

4. Discusión

La delimitación de zonas quemadas mediante el análisis de imagen radar MTC da unos resultados muy buenos en las zonas forestales, lo cual abre la posibilidad de su uso en evaluación de daños. Los resultados para zonas de suelo desnudo o sin vegetación muestran que en esas zonas su aplicabilidad es menor. Sin embargo, habría que tener en consideración que los malos resultados para los cultivos se debieron a que los cultivos estaban ya recogidos en la fecha del incendio y que esa zona era suelo desnudo. El acuerdo entre la zona quemada delimitada con Sentinel-2 y Pléiades demuestra que, a pesar de su menor resolución espacial, su capacidad es muy reseñable. Dada la zona estudiada y que el incendio fue muy localizado geográficamente, la metodología se debería probar en otras zonas y con otras condiciones.

La comparación entre la colada de lava delimitada con Sentinel-1 y la derivada a partir de una imagen óptica VHR mostró también la alta usabilidad de estas imágenes y de la metodología testada. Especialmente interesante es el hecho de poder realizar todo el procesamiento con un software de acceso gratuito como es SNAP. Las mayores diferencias se debieron a la diferencias de resolución espacial y de la metodología utilizada. Sería

recomendable probar esta misma metodología en otras zonas para poder establecer su aplicabilidad.

Respecto a la detección de zonas inundadas mediante imágenes radar, hay tres conclusiones a destacar. Primero, que en la comparación de manchas de agua derivadas de imágenes radar, los resultados obtenidos con Sentinel-1 son similares a los obtenidos con COSMO-SkyMed a pesar de no tener la primera disponible la polarización HH y a tener una resolución espacial más baja, lo cual amplía su uso en la delimitación de inundaciones. Segundo, que la morfología del terreno puede influir muy negativamente en los resultados, ya que puede interferir en la señal obtenida con radar. Tercero, que en el estudio de inundaciones es indispensable hacer un estudio previo de la dinámica del agua en la zona, que puede ayudar a entender los resultados pero que además es una información de gran valor en el refinamiento de la mancha de agua clasificada automáticamente.

Referencias

- Altman, D.G. (1991). *Practical statistics for medical research*. New York. Chapman and Hall.
- Brockmann Consult, Array Systems Computing y C-S. 2015. "SNAP – The Sentinels Application Platform". Earth Observation Open Science 2.0, ESRIN, 12 - 14 October 2015.
- Copernicus <http://www.copernicus.eu/main/sentinels>.
- Henry, J.-B. *et al.* (2006). "Envisat Multi-Polarized ASAR Data for Flood Mapping." *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 1921-1929. <https://doi.org/10.1080/01431160500486724>
- International Working Group on Satellite based Emergency Mapping (IWG-SEM) Emergency Mapping Guidelines, Working Paper (v1.0), 2015. Disponible en http://www.unspider.org/sites/default/files/IWG_SEM_EmergencyMappingGuidelines_v1_Final.pdf. Último acceso: diciembre de 2017.
- Martin, M. (1998). *Cartografía e inventario de incendios forestales en la Península Ibérica a partir de imágenes NOAA-AVHRR*. Doctoral thesis, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- Overwatch Systems, Ltd. 2000-2013. Feature Analyst Tutorial.