

Reconocimiento de zonas inundadas con datos de imágenes satelitales en Colombia

Recognition of zones flooded with information of satellite images in Colombia

Nardy Liliana Neiza M.¹ y Elena Posada²

Resumen

Con el fin de reconocer las zonas inundadas durante el periodo invernal del 2010 a 2011 en diferentes regiones de Colombia, se utilizaron insumos de imágenes provenientes de sensores remotos y se llevaron a cabo procesos con métodos de identificación extrayendo la respectiva información utilizada para la estimación de las zonas afectadas. Mediante datos recolectados por sensores remotos se puede observar extensiones amplias de la materialización de un fenómeno como estos y así mismo se visualizan los daños que puede ocasionar. Para llegar a una aproximación metodológica y poder proponer los pasos a realizar en el reconocimiento de zonas inundadas se tuvieron en cuenta los métodos semiautomatizados con revisión temática y la interpretación visual de inundaciones con las diferentes imágenes provenientes de sensores ópticos y de radar. Además de extraer la información específica se pudo evaluar los sensores y el tipo de información de las imágenes para diferentes regiones del país, que lleva a emplear métodos distintos y por consiguiente a concluir que se debe realizar un proceso sistemático adecuado según los datos del sensor a utilizar, las características de cada región a estudiar y el conocimiento en variedad de temáticas como: su comportamiento hídrico, geomorfológico, geológico, estado de suelos y recuperación en caso de inundación.

Palabras clave

Zonas inundadas, imágenes de sensores ópticos y radar, percepción remota.

Abstract

In order to recognize the flooded areas during the winter of 2010-2011 in different regions of Colombia, was used inputs from remote sensing images and processes are carried out with methods of extracting the relevant identification information used to estimate affected areas. Using data collected by remote sensing can see wide expanses of the materialization of a phenomenon like this and so it is displayed that can cause damage. To reach a methodological approach and to propose steps to take in the recognition of flooded areas was considered semi-automated methods with thematic review and visual interpretation of floods with different images from optical and radar sensors. Besides extracting specific information is unable to assess the type of sensors and image information for different regions of the country, leading to different methods used and therefore to conclude that it must perform a systematic process appropriate for the sensor data to used, the characteristics of each region to study and knowledge on a variety of topics such as: water behavior, geomorphological, geological, floor and flood disaster recovery thereof.

Key words

Flooded areas, images optical and radar, remote sensing.

¹ Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá (Colombia), nardy.neiza@igac.gov.co

² Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá (Colombia), eposada@igac.gov.co

Introducción

Las inundaciones son uno de los fenómenos con mayor severidad que afectan a la población humana, sus bienes, servicios; afecta a los cultivos y a los ecosistemas; estas se han incrementado en las últimas décadas en todas las regiones del mundo. Por lo general son causadas por eventos meteorológicos extremos, aunque muchas veces es por la acción humana que favorece la ocurrencia y aumenta la duración o la intensidad de una inundación. Disponer de herramientas que permitan el seguimiento e interpretación en tiempo real o en el menor tiempo de las áreas afectadas es importante en el momento de determinar los alcances de la situación para la emergencia, así como lo es para la toma de decisiones de un gobierno y en las acciones en la gestión de riesgo. Contar con estimaciones del área afectada, ayuda a disminuir las pérdidas de vidas humanas y brinda información a las autoridades competentes para ajustar su plan de acción. El análisis de eventos históricos de estos fenómenos, por su parte, asegura el monitoreo y la generación de mapas temáticos del comportamiento del mismo y de mapas de vulnerabilidad de las zonas afectadas, importante para la rehabilitación y recuperación de las áreas y a futuro para la planificación del uso del territorio en un país.

La observación a distancia de las extensiones amplias de inundación y de zonas de afectación, sin estar en contacto directo, es el mayor aporte que la percepción remota o teledetección puede ofrecer en el reconocimiento de la materialización y afectación de tales fenómenos. Por medio del conocimiento de los patrones espectrales típicos de las distintas coberturas terrestres, del procesamiento digital y de la interpretación visual de imágenes se puede extraer la información según las imágenes y los datos provenientes de sensores remotos satelitales y aerotransportados. Por tal motivo se darán a conocer

algunos sensores que aportaron información a la temática de inundaciones debido a la emergencia invernal producida en Colombia desde hace un año y que fueron adquiridos mediante la activación de la carta internacional de desastres (International Charter "Space and Major Disasters") y de forma directa; como también se expondrán algunos procesos a partir de las características espectrales de las distintas coberturas de la superficie terrestre (firma espectral) y del manejo de características de los datos de imágenes radar (polarización) que se han desarrollado y se tuvieron en cuenta para generar la cobertura de inundaciones en distintas regiones del país durante este periodo invernal, y en el monitoreo actual de áreas inundadas en las etapas de rehabilitación y recuperación de zonas afectadas en el territorio colombiano, ejecutado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Subdirección de Cartografía y su Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF).

Uno de los aspectos relevantes en el reconocimiento de zonas inundadas mediante aplicaciones de percepción remota es la selección de un determinado tipo de sensor, ya que esta dependerá de la resolución espacial requerida, de las características espectrales o polarizaciones para la identificación del fenómeno a estudiar y de su entorno, de la recurrencia con la que se decida estudiarlo o de la disponibilidad de medios económicos e informáticos para tratar la información obtenida, entre otros. A pesar de las limitaciones que puede presentar la percepción remota en la detección, la cuantificación y la evaluación de los distintos fenómenos de inundación, no existe otra herramienta con estas capacidades. Capacidades que están asociadas a la disponibilidad global de información en tiempo real, a la objetividad en la toma de datos y finalmente, a la existencia de la información multitemporal.

Se dará a conocer las ventajas y desventajas de los tipos de sensor e imágenes en zonas inundadas en Colombia, y algunos ejemplos a nivel mundial según las publicaciones tenidas en cuenta para el desarrollo e implementación de los métodos

utilizados y llevados a cabo durante el proceso de investigación de técnicas de procesamiento digital y de interpretaciones visuales aplicados a la identificación de zonas de inundación en diversos escenarios, como consecuencia del fenómeno meteorológico, en Colombia, expuestos a continuación con sus respectivos resultados y discusiones.

Materiales y métodos

Tanto los sensores pasivos (imágenes ópticas) como activos (imágenes radar) son potencialmente muy útiles para el estudio de zonas inundadas. El beneficio de utilizar radar no solo se debe a su capacidad para identificar superficies cubiertas por agua y estimar el nivel de anegamiento, sino también porque esta capacidad no se ve necesariamente disminuida por la presencia de nubes o vegetación. Rasid & Pramanik (1993) identificaron la presencia de nubes como el principal impedimento para el estudio de inundaciones en Bangladesh a partir de imágenes provistas por sensores pasivos (e.g. NOAA-AVHRR). Así también Sano et ál. (2007) documentaron que en la selva amazónica entre 1984 y 2003 en promedio hubo solamente una imagen Landsat con menos del 10 % de cobertura de nubes por año. Condiciones muy propicias en zonas tropicales y de impedimento para nuestro territorio colombiano.

Mapas realizados con datos de Landsat y con el DEM-SRTM es conocido como un método económico y eficiente para la asignación de amenaza de inundaciones y así poder abordar el problema por la falta de datos de origen en los países en desarrollo (Wang et ál., 2002 según Hoa et ál., 2010). Las características de una inundación deben ser estudiadas de acuerdo a: su comportamiento hidrológico, tamaño, forma de la cuenca y demás parámetros hidrológicos; como también a la geomorfología y geología que presenta el sitio en estudio; al estado de suelos y recuperación según su capacidad de filtración y porosidad; así como conocer los posibles elementos expuestos que tenga alcance dicha inundación. Por lo general se extraen la cartografía geomorfológica

mediante la interpretación de fotografías aéreas y de investigación de campo que evidencia históricamente los sectores de las inundaciones. Un mapa geomorfológico ayuda a estudiar las extensiones de la zona de inundación, la dirección de los flujos de inundación, y los cambios en el cauce del río a través del tiempo, evidenciando el comportamiento de las inundaciones repetidas, la naturaleza de las inundaciones anteriores y probables características de las inundaciones que ocurrían en el futuro. En Vietnam este enfoque de la investigación de las inundaciones ha sido verificada de manera significativa, donde el sistema de canales y la morfología de los ríos de llanura de inundación cambian de forma dinámica y con un alto potencial erosivo y el aporte de sedimentos es sustancial (Lastra *et al.*, 2008).

En Colombia se cuenta con trabajos de geomorfología en diferentes escalas, pero no en su gran totalidad de cubrimiento en área y con enfoques distintos desde la perspectiva de los temáticos según el estudio realizado y las escuelas formadas en el país. Los estudios de suelo se presentan más uniformemente y de acuerdo a escalas regionales, por lo tanto se carece de los insumos básicos para el análisis y las evaluaciones de inundaciones y otras amenazas, y en situaciones de emergencia y posibles desastres se acude a herramientas que extraigan información de manera rápida y precisa como lo son para la identificación de zonas inundadas mediante insumos de datos e imágenes satelitales y aerotransportados, dando a conocer los estados superados de niveles de agua, las características hidrológicas, extensión del fenómeno y por medio de los cuales se puede estimar su grado de afectación.

Los dos tipos de métodos desde la percepción remota utilizados para el reconocimiento de zonas inundadas han sido:

I. De identificación por medio de procesamiento semiautomático digital con revisiones temáticas de acuerdo a la escala de cobertura a generar (1:100.000 y 1:25.000).

II. De interpretación visual del fenómeno y su afectación en las imágenes previamente mejoradas.

Para el primer (I) método escogido se tuvo en cuenta la fuente del sensor y las ventajas de cada uno, designando la identificación de zonas de inundación en: imágenes ópticas e imágenes de radar.

Imágenes ópticas

El primer objetivo al realizar un estudio que involucre áreas inundadas es cuantificar la superficie afectada. En tal sentido, será necesario mapear el área de estudio donde exista una clasificación de al menos dos clases: píxeles inundados y no inundados. Según la extensión del área de estudio, la disponibilidad de imágenes, las características de las clases y la precisión requerida, el mapeo rápido se puede realizar con base en imágenes de baja o alta resolución espacial. Por ejemplo, el sensor AVHRR (a bordo de los satélites meteorológicos de la serie NOAA), resulta muy útil para el seguimiento de eventos a escala regional, debido a su alta frecuencia de paisaje (cobrimiento amplio del territorio y escenas grandes) y a su moderada resolución espacial. Este satélite provee información adecuada para el seguimiento de áreas inundadas, generación de alertas, estimación de daños y manejo del agua en exceso cuando el evento de una inundación ocupa un área significativamente mayor a la resolución espacial de estos satélites, es decir, es mayor a 1 m² por píxel. Si se requiere estudiar áreas más pequeñas, un área urbana o realizar cálculos más precisos de las áreas afectadas, serán necesarias imágenes de mayor resolución espacial. El satélite Landsat, en tal sentido, brinda información a mayor resolución espacial de (30x30) m². Esta información permite generar interpretaciones más detalladas, por ejemplo: zonas urbanas y caminos afectados, rutas en peligro, entre otros. Se pueden detectar efectos sobre el escurrimiento del agua producto de canales clandestinos, obras nuevas, rutas y vías de ferrocarril. Si se agrega información de curvas de nivel y se ajusta el análisis espacial a un Sistema de Información Geográfica (SIG), es

posible prever problemas de drenaje y ayudar a la visualización de posibles escenarios de riesgo.

Con respecto a las imágenes NOAA AVHRR, las imágenes Landsat requieren mayor tiempo de procesamiento y calibración temática, el tiempo de re-visita de este último sensor satelital a un mismo sitio, es de 16 días. Con una resolución intermedia entre estos dos tipos de sensores, se encuentra el sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de los satélites AQUA y TERRA que también resulta muy útil para detectar agua, principalmente a partir de la información de la banda 5. Otro de los sensores con mayor utilidad a niveles locales son los que provienen de imágenes hiperespectrales, una tecnología relativamente nueva, que está siendo investigada actualmente por los científicos con respecto a la detección e identificación de minerales, bosques y materiales. Según Khurshid *et al.* (2006), la importancia de la teledetección hiperespectral radica en su capacidad para adquirir un completo espectro de reflectancia de cada píxel en la imagen. El espectro de reflectancia en regiones del 400-2500 n.m., se puede utilizar para distinguir una gran variedad de materiales de la cubierta de superficie, que no es posible con la tecnología de otros sensores.

Para la primera emergencia invernal en el sector norte de Colombia y con la plataforma del sensor británico UK DMC-II se trabajó con imágenes de noviembre de 2010 a enero de 2011, con resolución espacial de 22 m., evidenciando el recorrido de las inundaciones y la presencia de nubes en esta clase de sensores pasivos en el momento de mayor intensidad de lluvias que se presenta durante el mes de diciembre del 2010, por lo cual la identificación e interpretación de la cobertura de zonas inundadas se dificultó y se tuvo en cuenta únicamente los espectros de infrarrojos para su reconocimiento (Figura 1); sin embargo, se puede decir que este tipo de imagen es de gran utilidad por su resolución espacial, y sirve para el monitoreo de zonas de inundación a escalas semirregionales, además poseen la ventaja del vasto cubrimiento que ofrecen con resoluciones espaciales y espectrales muy semejante a una imagen SPOT.

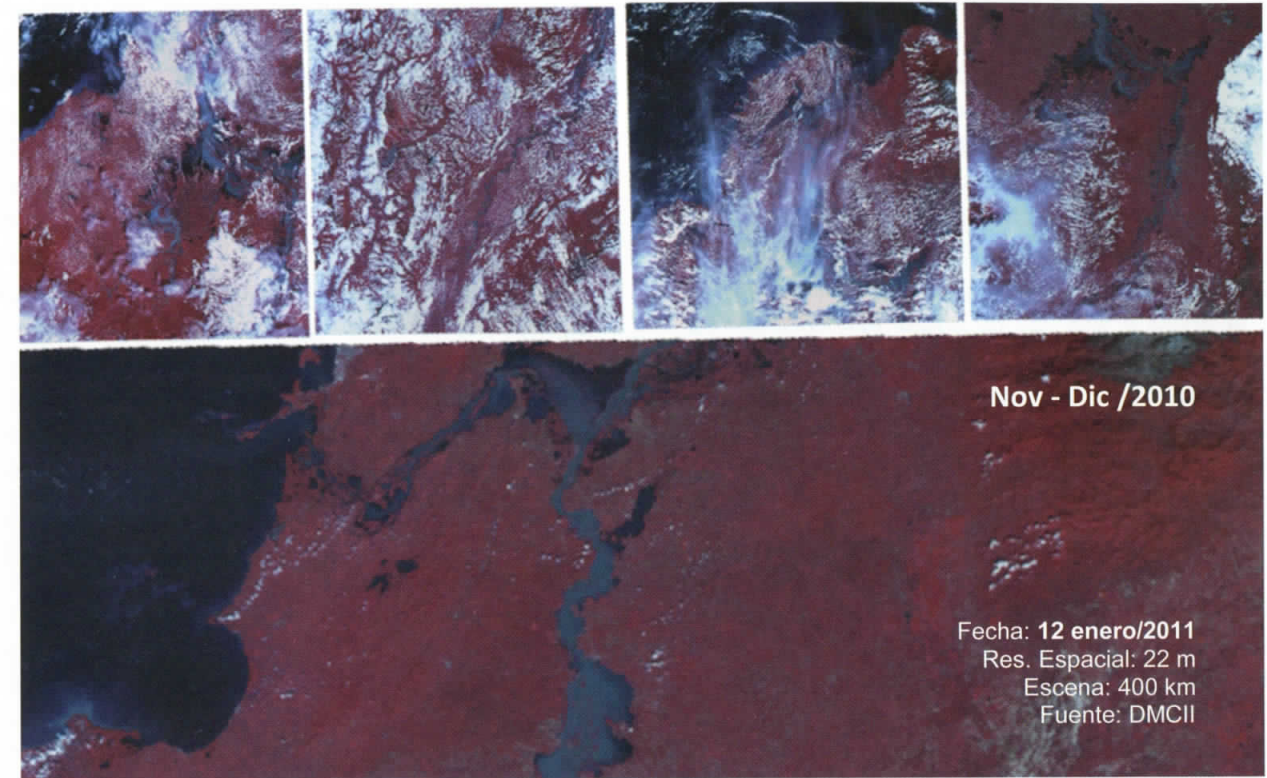


Figura 1. Imágenes ópticas UK-DMC2, sector NW de Colombia.

Imágenes radar

Las imágenes de satélite de los datos de radar de apertura sintética (SAR), proporcionan potencialmente parámetros útiles en la temática de inundaciones, tanto así que se puede extraer con buena definición el borde de la inundación y la zona como tal, además de sustraer datos con modelos digitales de elevaciones y estimaciones de nivel del agua en su cubrimiento y obtener el volumen almacenado en la zona afectada.

Conocer la extensión del área inundada y contar con información sobre el nivel del agua resulta fundamental para la gestión de inundaciones (Smith, 1997). Los sistemas satelitales de radar de apertura sintética (SAR) son particularmente adecuados para la asignación en la identificación de zonas de inundación, gracias a características tales como la visión sinóptica, la capacidad de operar en casi todos los climas, las óptimas condiciones tanto de día como de noche (Horritt *et al.*, 2003), y la

gran sensibilidad de la banda de microondas que le permita discriminar muy bien la interface agua-tierra.

Varios métodos se pueden encontrar en la literatura para obtener la medida de una inundación por medio de datos de radar y del espectro de microondas. Un primer intento fue realizado por Lowry *et al.* (1981), que utilizó radar en bandas X y L para asignar la inundación de Manitoba en 1979. Un aliciente para investigar sobre la cartografía de las inundaciones con datos SAR fue propuesta por la disponibilidad de los datos proporcionados por el radar de banda C a bordo del satélite ERS-1 (utilizado por Bates y Anderson, 1995; Oberstadler *et al.*, 1997). En efecto, fue con trabajos de ERS la primera reunión del grupo temático de monitoreo de las inundaciones (ESRIN en 1995), y numerosos investigadores presentaron mapas de inundaciones derivadas de este instrumento tal como lo muestra Smith en 1995.

Los radares montados en satélites que están disponibles actualmente son, Radarsat-2, Alos-palsar, Cosmoskymed (constelación de satélites pequeños para observación de la cuenca mediterránea, y Envisat; y, próximamente Risat y Saocom quienes permiten asegurar la provisión de imágenes en un mediano plazo). Además, tanto la cantidad como la calidad de esta información es superior a la de los primeros sensores disponibles. Por lo tanto, es de esperar que en el futuro los sensores de radar ocupen un lugar central en la detección de inundaciones.

La segunda activación del Charter para Colombia en el 2010, fue realizada por el Sistema Federal de Emergencias (SIFEM), del cual hace parte la Comisión Nacional de Actividades Espaciales de Argentina (CONAE), y por medio de esta activación se obtuvieron imágenes de sensores activos como Radarsat-2 y Alos-palsar; e, imágenes Cosmoskymed (Figura 2), donadas por el proyecto G-MOSAIC2, además de imágenes ópticas anteriormente mencionadas.

Las características de los sistemas SAR son importantes en cuanto a toma y geometría de cada sensor, ya que de acuerdo a su ángulo de incidencia, al modo de haz y por ende de cobertura de la escena y de detalle por su resolución espacial y espectral, son de utilidad en el manejo de escala de interpretación para el reconocimiento de zonas

de inundación en diversas regiones del territorio colombiano, características diferentes en cada sensor y que pueden favorecer en algunas zonas del país y ser limitantes para otras. Un ejemplo de estas características fue evidenciado por las imágenes e interpretaciones de zonas inundadas para la zona del Valle del Cauca sobre la margen del río Cauca del sensor RadarSat-2, capturadas los días 9 de febrero (a) y 26 de mayo de 2011 (b), correspondiente a los modos de resolución Estándar y modo Wide-1 respectivamente (Figura 3).

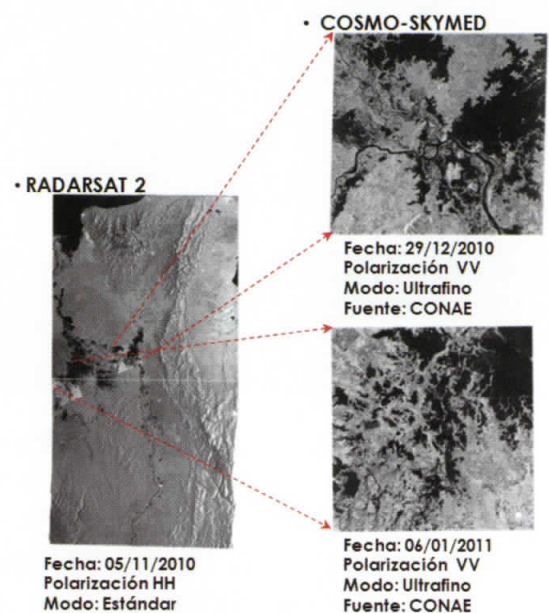


Figura 2. Ejemplos y especificaciones de imágenes radar.

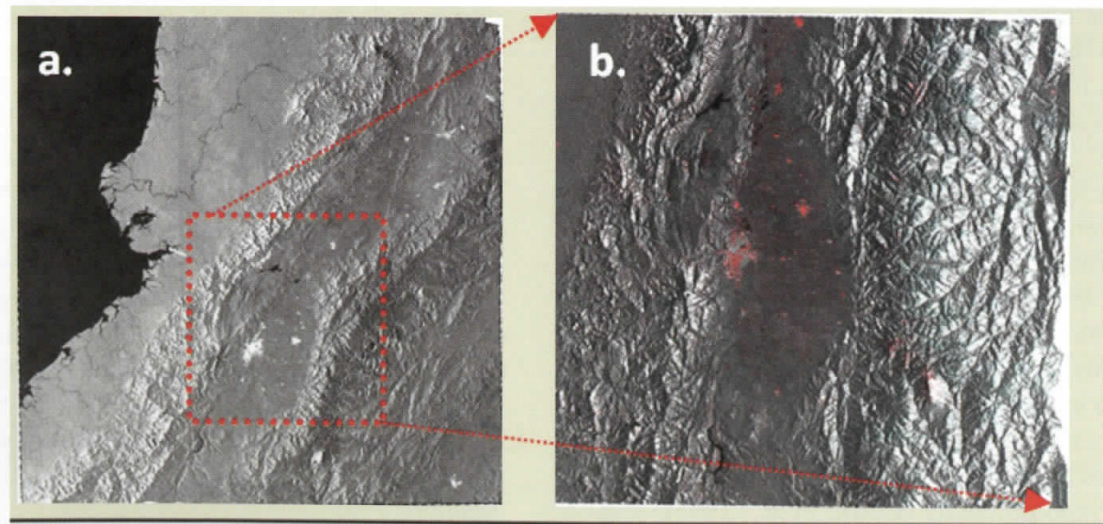


Figura 3. Tipos de imágenes Radarsat-2.

Para el segundo (II) método se tuvo en cuenta la interpretación visual del fenómeno y su afectación en las imágenes previamente mejoradas, y con datos de características que detectaban presencia de agua para realizar la cobertura de inundación en zonas, no solo con los nuevos cuerpos de agua, sino incorporando zonas con presencia de inundaciones.

Para obtener mejores resultados en la interpretación y utilizar técnicas de procesamiento especializado InSaR, los productos originales de la imagen deben presentar datos de magnitud y fase, un ejemplo de imagen con estas características de valores complejos de observación única (SLC) y con el sensor RadarSat-2 es la imagen del sector de Bogotá con banda C y polarización HH (Figura 4). Una de las características de los sensores activos es la importancia de sus polarizaciones, ya que si se obtienen las 4 a la vez se puede realizar una composición a color combinando 3 de ellas, que por lo general para un color semejante a la realidad se necesitarían las dos co-polarimétricas (HH-VV) y una cruzada (HV o VH).

Los procesos mediante técnicas interferométricas en la determinación de nivel de agua acumulado en una inundación y de zonas de extensión de la

misma fue registrado por Alsdorf *et al.* (2005), quienes observaron cambios de 2 y hasta 5 cm por día en el nivel del agua de los ríos afluentes del Amazonas a partir de información de radar en 3 frecuencias distintas. Grings *et al.* (2006) utilizaron información radar polarimétrica (plano de propagación de la onda electromagnética emitida por el radar- y modelos de transferencia radiactiva) para estimar el nivel del agua en ambientes dominados por juncos de la cuenca del Río de la Plata (Argentina). Estos autores simularon la retrodispersión generada por canopeos de juncos de diferentes alturas asumiendo que dichas diferencias están dadas por el nivel del agua. Así la inversión del modelo permitió determinar el nivel del agua con una precisión aceptable, por lo que es muy provechoso realizar este tipo de técnicas en algunas zonas del país para una mejor interpretabilidad del sector, además de buscar realizar modelos hidrológicos para analizar el estado de las áreas afectadas.

Resultados y discusión

El problema más destacado de los sensores ópticos en algunas regiones de Colombia, es cuando el fenómeno de inundación provocado por causas meteorológicas de lluvias intensas se encuentra

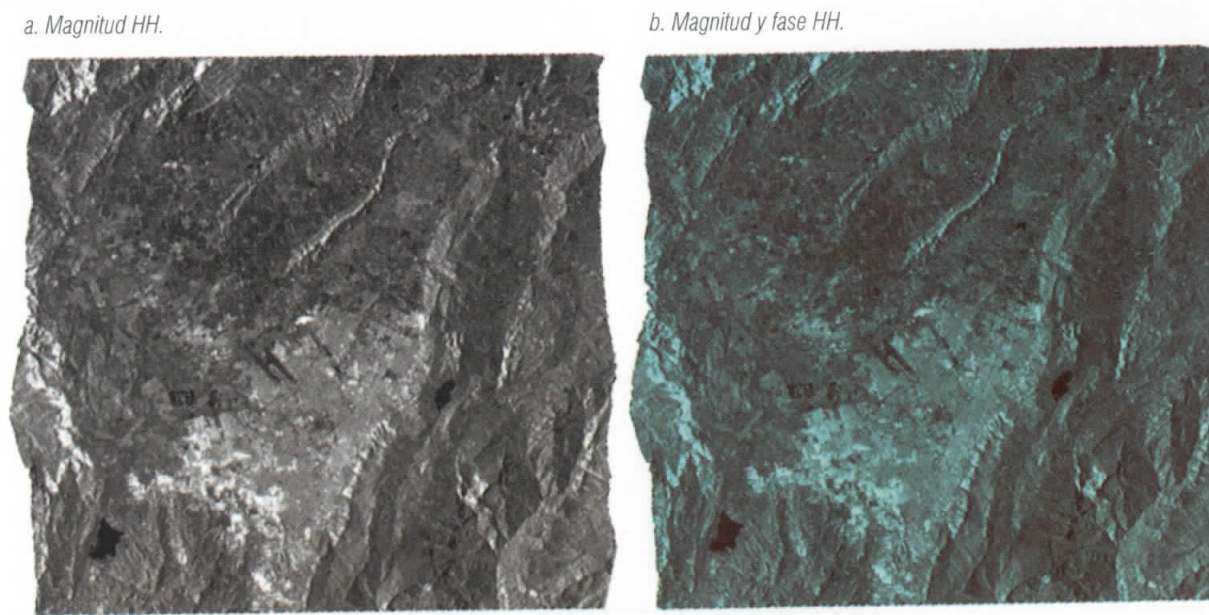


Figura 4. Imagen Radarsat-2 ciudad de Bogotá.

presente y no deja que el espectro de sus bandas penetren las nubes, por lo tanto no hay observación de la superficie terrestre, sin embargo uno de los recursos que se tiene de manera rápida y sin ningún costo son los datos e imágenes liberadas por el servicio geológico de Estados Unidos (USGS) que ayudan a diagnosticar el estado de las zonas inundadas y a entender cómo ha sido su comportamiento.

Un ejemplo de utilización de imágenes LandSat fue el presentado en junio de 2011, en zonas donde no se pudo observar el evento como en la región Andina por las intensas lluvias presentes en ese momento, no obstante para este mismo periodo y por medio de estas imágenes se pudo identificar el estado de recuperación en zonas del valle inferior del Magdalena y norte del país como en sectores de la Mojana y del Canal del Dique. La calidad de visualización e interpretación es baja cuando el fenómeno atmosférico está presente en la zona y con imágenes ópticas no se puede apreciar en superficie las extensiones, tipo, tránsito, ni zonas de afectación por inundaciones, por lo tanto con imágenes radar se puede superar la visualización y por ende la interpretación y realización de procesos de clasificación automatizados, tal como se muestra en la Figura 5, en zonas del Valle del Magdalena

Medio, con sensores LandSat y RadarSat-2 de modo Estándar con pases orbitales diferentes, ascendente para el mes de febrero de 2011 y descendente para el mes de junio, lo cual para la interpretación visual y procesos digitales desarrollados fueron eficientes.

Aunque estos fenómenos de nubosidad no son superados por completo en las imágenes radar y se pueden apreciar con menor intensidad comparado con una imagen óptica, ejemplo de esto se detectó en imágenes RadarSat-2 en la zona norte de Colombia a principios de 2011 (Figura 6) y en

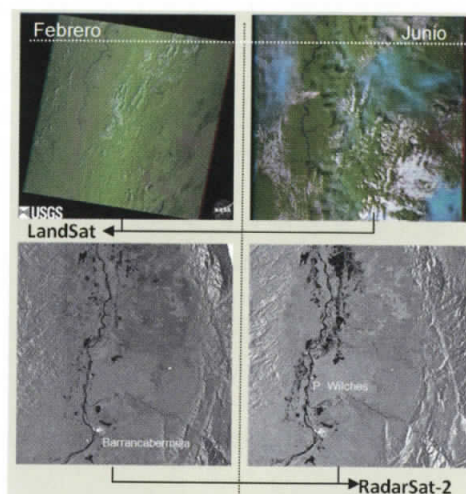


Figura 5. Visualización de inundaciones con sensores remotos.

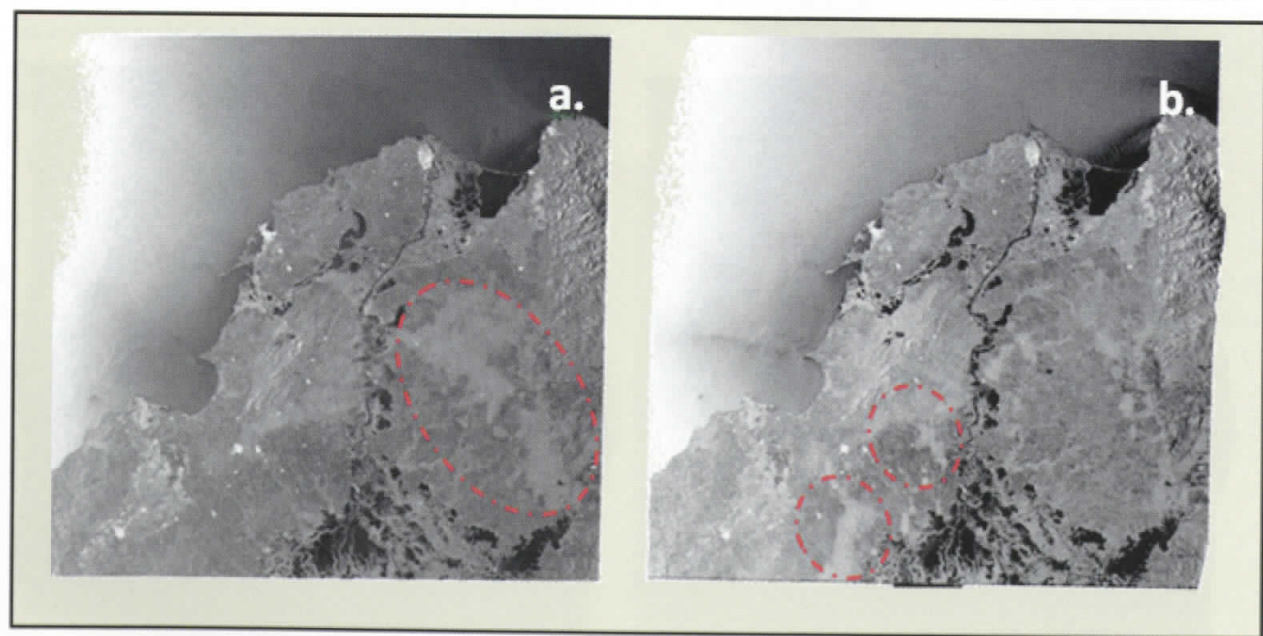


Figura 6. Efecto atmosférico en imágenes radar con sensor RadarSat-2. 16 febrero (a) y 5 marzo (b) de 2011. Presencia de nubes en círculos de color rojo.

imágenes de CosmoSkymed para la zona Andina a finales de 2011.

En las imágenes SAR las áreas de agua y las áreas terrestres son bastante diferentes. Existen dos grandes diferencias entre áreas de agua y áreas terrestres: el brillo y la rugosidad. Las zonas de agua son más oscuras y más lisas que las áreas terrestres. Así que en zonas de cambio, el brillo y la rugosidad varían bastante, mientras que en zonas donde no existen cambio no hay diferencias significativas entre las dos imágenes de comparación. En algunas regiones del país la identificación y detección de áreas inundadas fue de fácil manejo en la generación de su cobertura, por lo que se hizo bajo el control de interpretación visual con las imágenes clasificadas, realizadas mediante clasificaciones simples automatizadas no supervisadas. Estas zonas por lo general se encontraban en el valle amplio del Valle del Cauca, al norte de la ciudad de Cali, en donde las inundaciones fueron evidentes a simple vista, según la aparición de nuevos cuerpos de agua y zonas netamente con presencia de agua (Figura 7).

La media, la varianza y la mediana de la intensidad de un pixel en el vecindario espacial en imágenes multitemporales SAR pueden expresar diferencias de brillo y rugosidad. Actualmente se está desarrollando un set de entrenamiento del algoritmo Adaboost conformado por dos imágenes SAR y su correspondiente imagen con las áreas de cambio "reales". Para realizar la clasificación se necesita extraer la textura y usar los clasificadores débil y fuerte obtenidos para clasificar el "cambio" o "no cambio".

La característica más importante en la identificación de zonas inundadas a partir de información radar es el drástico cambio en la rugosidad de la superficie. Un cuerpo de agua presenta una superficie muy poco rugosa (suave) debido a la retroscpección especular, en la cual la longitud de microondas proveniente del radar impacta de manera oblicua en la superficie y estas ondas son reflejadas dando una respuesta en imagen de superficie lisa o plana y con tonalidades oscuras. Por lo tanto, la retrodispersión captada por el radar será mucho

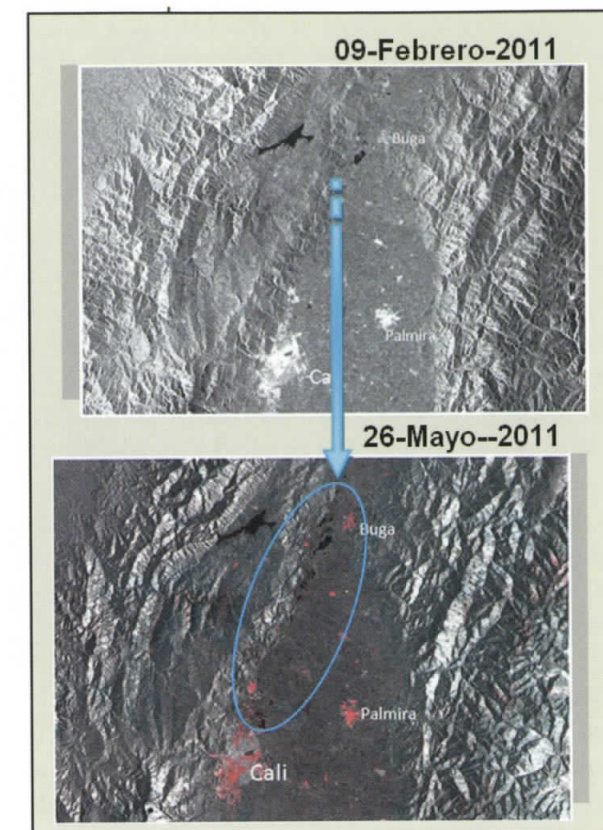


Figura 7. Identificación y extracción de cobertura de inundación.

más baja en áreas cubiertas por agua que en áreas cubiertas por vegetación o suelo desnudo. Estas características son expuestas en la publicación "La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones" (Horritt *et al.*, 2001) que a su vez referencian ejemplos como la delimitación de la extensión del área inundada en Manitota (Canadá) realizada por Lowry *et al.* (1979), la delimitación por datos radar realizada por Sipple *et al.* (1994), quienes lo hicieron a lo largo del río Amazonas (Brasil), y el ejemplo de Teti *et al.* (1993) en el centro oeste de Estados Unidos durante las inundaciones del 1993. Las principales dificultades encontradas en la delimitación de las áreas cubiertas por agua ocurren cuando el viento o la vegetación acuática modifican la rugosidad de esta. Lo anterior dentro del territorio colombiano se debe tener en cuenta en regiones desérticas como la del norte del país en La Guajira, y en zonas de manglares o con ecosistemas acuáticos que enmascaren la

inundación y que desde la observación espacial no se puedan identificar claramente, como las respuestas altas de retrodispersión que presentan los datos de los sensores SAR en sectores de Urabá (Figura 8).

La interpretación de zonas inundadas desde la percepción remota no solo debe realizarse con métodos automatizados, se deben tener en cuenta los estudios especializados como la geomorfología de la región, los tipos de suelos y caracterizaciones hidrológicas de la zona, estudios escasos en nuestro país a escalas regionales y detalladas, por lo que en la mayoría de los casos el mismo insumo de imagen es utilizado para la definición de las anteriores temáticas, pero que por cuestiones de caracterizar en tiempo inmediato debido a la situación de emergencia o de gestión de riesgo por inundación a corto y mediano plazo se hace imposible conceptualizar las temáticas por separado. Por lo que las interpretaciones se deben hacer según la experiencia del intérprete, de su conocimiento de la zona y realizar procesos automatizados de análisis mediante mapas de sombras (d) tal como se

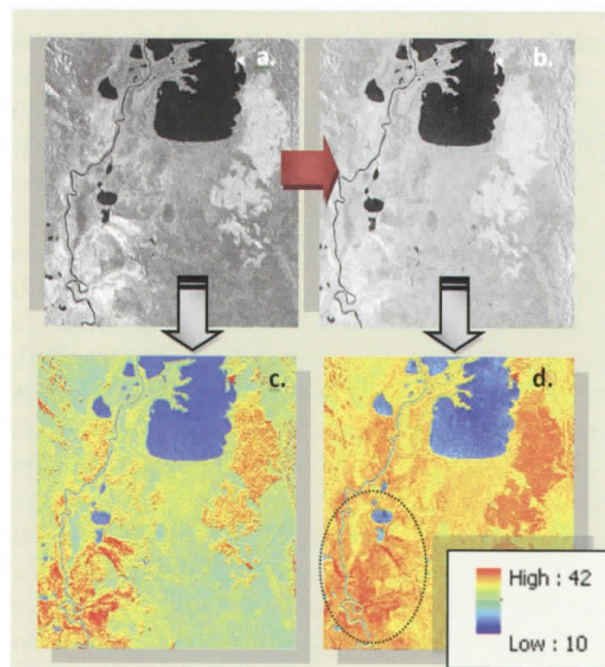


Figura 8. Procesamiento digital e índices de retrodispersión en el sector de Urabá. Sensor RadarSat-2. Modo Estándar.

presenta en la Figura 9, para separar las extensiones “normales” de ecosistemas pertenecientes a la Ciénaga Grande de Santa Marta, de la inundación propiamente expuesta para el mes de febrero de 2011. En la figura 9 se presenta la imagen original (a), el resultado de imagen según su cálculo de índices de retrodispersión (b) y la clasificación de la imagen resultante con extracción de cuerpos de agua e identificación de zonas inundadas.

Otro de los procesos digitales realizados a las imágenes radar para identificar los cuerpos de agua formados por las inundaciones dentro de las zonas inundadas en Bogotá, fue mediante la aplicación de texturas, combinando los datos de magnitud y fase de la polarización HH, como se observa en la Figura 10, escena correspondiente al día 6 de febrero de 2011 (a), que junto con análisis espaciales (b) se obtuvo en formato raster la debida clasificación y se extrajo mediante procesos de vectorización la cobertura en esta zona.

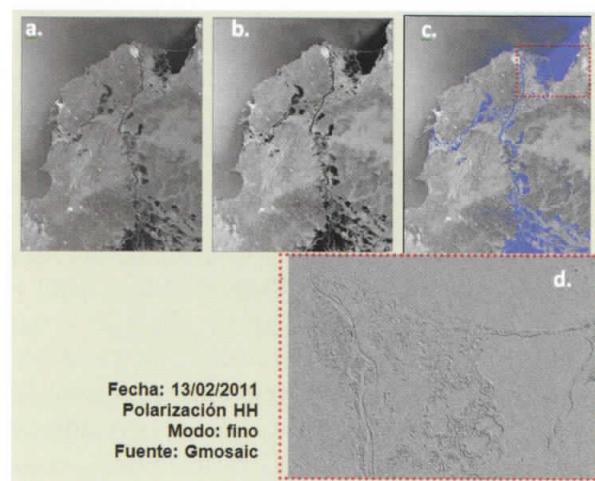


Figura 9. Resultados de interpretación de inundación sector N-W de Colombia, desembocadura del río Magdalena y CGSM.

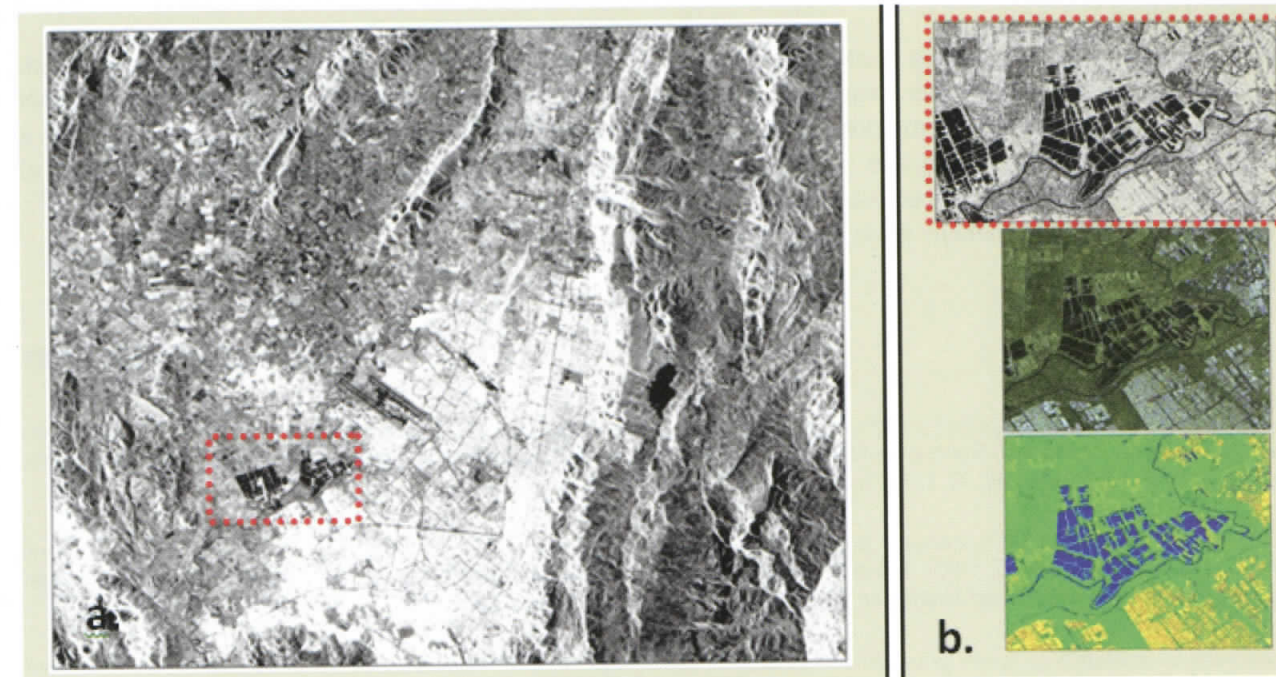


Figura 10. Procesamiento digital con imagen RadarSat-2.

Conclusiones

En el reconocimiento de zonas inundadas para Colombia desde la perspectiva de percepción remota y con la utilización de datos de imágenes de sensores remotos, se exploraron los recursos para definir los métodos de identificación de procesamiento digital semiautomatizado, con supervisión y validación para la generación de coberturas con aparición de cuerpos de agua y aéreas inundadas en la determinación de zonas de afectación en algunas regiones del país, durante un periodo de un año desde diciembre de 2010; empleando en la mayoría de los casos interpretaciones visuales junto con procesamientos realizados a las diferentes imágenes para su mejoramiento en la visualización del fenómeno a analizar. Lo anterior con miras a realizar una guía metodológica como protocolo y aporte desde la percepción remota o teledetección en el reconocimiento del tránsito y tipo de inundación con la localización de su afectación que sirvan al manejo de las etapas de gestión del riesgo por inundaciones en futuros eventos, teniendo en cuenta la escala y el detalle que se requiera dentro del territorio colombiano.

Se han podido identificar algunas metodologías de procesamiento digital, las que según la imagen y para cada región tienden a realizarse cambios en su estructura de aplicación, se recomienda entonces que para su terminación y definición se haga por zonas o regiones y empleando características adecuadas dependiendo de las tomas y la geometría de cada sensor a utilizar.

El conocimiento y el manejo de los datos de imágenes satelitales es de gran ayuda no solo al reconocimiento de inundaciones, sino para temáticas específicas importantes en la identificación de zonas aptas para amenazas y por ende posibles generadoras de riesgo. Sin embargo, desde la percepción remota vemos una representación diferente a la ocurrencia de dichos fenómenos, es decir, una imagen es captada desde una visión del espacio hacia la superficie terrestre, y en el caso de una inundación, esta se da por el aumento de niveles de agua por encima de la superficie terrestre o ecosistemas presentes, lo que para la interpretación con estas tecnologías debe ser empleada por profesionales conocedores de la

región, al igual que tener en cuenta el conocimiento de los elementos visibles en las imágenes. Una imagen posee muchos más elementos físicos y de composición de una región que combinado con la cartografía base y su respectiva toponimia, es complemento para el manejo de la cartografía

moderna que sin lugar a duda se convertirá en un incentivo para avanzar en el conocimiento de estas técnicas de procesamiento de sensores aplicados a temáticas específicas como la mencionada en el presente artículo.

Referencias bibliográficas

Als Dorf, D.; Dunne, T.; Melack, J.; Smith, L. and Hess, L. 2005. Diffusion modeling of recessional flow on central Amazonian floodplains. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L21405, doi:10.1029/2005GL024412.

Bates, P. D. and Anderson, M. G. 1995. 'Issues of hydraulic model validation and design using remotely sensed data', *Proceedings, First ERS Thematic Working Group Meeting on Flood Monitoring, European Space Agency/ESRIN, Frascati, Italy*, 26±27.

Grings, F. M., Ferrazzoli, P., Jacobo-Berles, J.C., Karszenbaum, H., Tiffenberg, J., Pratolongo, P. Kandus, P. 2006. Monitoring flood condition in marshes using EM models and Envisat ASAR observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44:936-942.

Ho a, L. T. K., Umitsu, M.B and Yamaguchi, Y. 2010. Flood hazard mapping by satellite images and srtmdem in the vu gia – thu bon alluvial plain, central Vietnam. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan*.

Horritt, M.S.; Mason, D.C.; Cobby, D.M.; Davenport, J.T and Bates P.D. 2003, Waterline mapping in flooded vegetation from airborne SAR imagery. *Remote Sens. Environ.*, 85(3), 271–281.

Khurshid, K.S., K. Staenz, A. Bannari, L. Sun, R. Neville, H.P. White, C.M. Champagne and R. Hitchcock. 2006. Pre-processing of EO-1 Hyperion Data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 32, no. 2, p. 84-97.

Lastra, J, Fernández, E., Díez-Herrero, A., Marquínez, J. 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 45:277–293.

Lowry, R.T., Mudry, N., Langham, E.J. 1979. A preliminary analysis of SAR mapping of the Manitoba flood, May 1979. *Satellite hydrology; Proceedings of the Fifth Annual William T. Pecora Memorial Symposium on Remote Sensing*: 316-323.

Lowry, R. T., Langham, E. J., and Mudry, N. 1981. 'A preliminary analysis of SAR mapping of the Manitoba Flood, May 1979', in *Satellite Hydrology, Proceedings, Fifth Ann. William T. Pecora Memorial Symp. on Remote Sens.*, 1979, Amer. Wat. Resour. Assoc. Tech. Pub. No. TPS81-1, pp. 316-323.

Oberstadler, R., Honsch, H and Huth, D 1997. Assessment of the mapping capabilities of ERS-1 SAR data for flood mapping: case study in Germany. *Hydrol. Processes* 11, 1415-1426.

Rasid, H. and Pramanik, M.A.H. 1993. 'Areal extent of the 1988 flood in Bangladesh: how much did the satellite imagery show?' *Natural Hazards* 8, 189–200.

Sano, E.E., Ferreira, L.G., Asner, G.P., Steinke, E.T. 2007. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. *International Journal of Remote Sensing* 28:2739-2752.

Sipple, S.J., Hamilton, S.K., Melack, J.M., Choudhury, B.J. 1994. Determination of inundation area in the Amazon river floodplain using the SMMR 37 GHz polarization difference. *Remote Sensing of Environment* 48:70-76.

Smith, L., Isacks, B. L., Forster, R. R., Bloom, A. L., and Preuss, I. 1995. 'Estimation of discharge from braided glacial rivers using ERS-1 SAR: first results', *Wat. Resour. Res.*, 31, 1325-1329.

Smith, L.C. 1997. Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review. *hydrological processes*, Vol. 11, 1427-1439.

Teti, J.G., Ilseman, F.J., Verdi, J.S., Boerner, W.M., Krasznay, S.K. 1993. Application of the polarimetric matched image filter to the assessment of SAR data from the Mississippi flood region. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation*, IEEE International 3:1368-1370.

Voigt, S.; S Martinis, S.; Zwenzner, H.; Hahmann, T.; Twele, A. and Schneiderhann, T. 2008. Extraction of flood masks using satellite based very high resolution SAR data for flood management and modeling. *German Remote sensing data center, German Aerospace Center, Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling, Germany*.

Wang, Y., Colby J. D, and Mulcahy K. A. 2002. An efficient method for mapping flood extent in a coastal flood using Landsat TM and DEM data. *International Journal of Remote sensing*, 2002, Vol. 23, no. 18, 3681–3696, Taylor & Francis Ltda.