

**GEOPROCESAMIENTO DE IMÁGENES
DE RADAR PARA DETECCIÓN DE
CUERPOS DE AGUA MEDIANTE UN
SERVICIO WEB (AUTOMATIZACIÓN)¹⁰⁷
GEOPROCESSING RADAR IMAGES FOR
DETECTION OF WATER BODIES
THROUGH WEB SERVICE
(AUTOMATION)**

Morales-Gamas Amilcar¹⁰⁸

Ledesma-Arreola Mario¹⁰⁹

Lobato-Báez Mariana¹¹⁰

Moreno Rechy Antonio¹¹¹

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.¹¹²

¹⁰⁷ Derivado del proyecto de investigación: Geoprocusamiento de imágenes de radar para detección de cuerpos de agua mediante un servicio web (Automatización)

¹⁰⁸ Ingeniero Industrial en Electrónica, Instituto Tecnológico de Puebla, Maestro en Ciencias Computacionales, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, profesor investigador Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, amilcar@centrogeo.edu.mx.

¹⁰⁹ Especialista en Geomática, Instructor-Facilitador, Centro de Investigación en Ciencias de información Geoespacial, mledesma@centrogeo.edu.mx.

¹¹⁰ Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Libres, Planeación Estratégica y Dirección en Tecnologías, UPAEP, Profesara investigadora de tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Libres, mariana.lobato@upaep.edu.mx.

¹¹¹ Licenciatura en Sistemas Computacionales, Universidad Innova, Analista desarrollador, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, iscamr@gmail.com.

¹¹² Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. www.rediees.org

13. GEOPROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE RADAR PARA DETECCIÓN DE CUERPOS DE AGUA MEDIANTE UN SERVICIO WEB (AUTOMATIZACIÓN)¹¹³

Morales-Gamas Amilcar¹¹⁴, Ledesma-Arreola Mario¹¹⁵, Lobato-Báez Mariana¹¹⁶, Moreno Rechy Antonio¹¹⁷

RESUMEN

La seguridad hídrica es tema estratégico para México, que también prioriza el bienestar social, el desarrollo económico, el equilibrio ecológico y la protección ante fenómenos hidrometeorológicos. La información del recurso agua y su comportamiento es de vital importancia para la planeación y la toma de decisiones que permitan disminuir desastres naturales. Actualmente, el acelerado desarrollo de las tecnologías de adquisición de información satelital de la tierra ponen a disposición grandes volúmenes de datos, por lo que es necesario el desarrollo de metodologías de procesamiento y de servicios que faciliten la obtención de información para la detección de cuerpos de agua. El presente trabajo propone una metodología de geoprocésamiento automatizado de series espacio-temporales de imágenes radar Sentinel-1 que permita alcanzar una alta calidad en la identificación de cuerpos de agua con la aplicación de algoritmos supervisados y filtros geoespaciales. Para este desarrollo se consideró la cuenca del río Grijalva como zona de estudio debido a su importancia hidrológica y susceptibilidad a inundaciones en época de lluvias, escenario prolijo para el uso de imágenes radar Sentinel-1, que permiten la identificación de cuerpos de agua aún en condiciones de alta nubosidad. El periodo de estudio es 2016-2020. Los productos obtenidos como resultado de la aplicación de esta metodología constituyen la base

¹¹³ Derivado del proyecto de investigación: Geoprocésamiento de imágenes de radar para detección de cuerpos de agua mediante un servicio web (Automatización)

¹¹⁴ Ingeniero Industrial en Electrónica, Instituto Tecnológico de Puebla, Maestro en Ciencias Computacionales, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, profesor investigador Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, amilcar@centrogeo.edu.mx.

¹¹⁵ Especialista en Geomática, Instructor-Facilitador, Centro de Investigación en Ciencias de información Geoespacial, mledesma@centrogeo.edu.mx.

¹¹⁶ Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico Superior de Libres, Planeación Estratégica y Dirección en Tecnologías, UPAEP, Profesara investigadora de tiempo completo, Instituto Tecnológico Superior de Libres, mariana.lobato@upaep.edu.mx.

¹¹⁷ Licenciatura en Sistemas Computacionales, Universidad Innova, Analista desarrollador, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, iscamr@gmail.com.

fundamental de las plataformas web gratuitas de procesamiento, monitoreo e identificación de cuerpos de agua.

ABSTRACT

Water security is a strategic issue for Mexico that also prioritizes social welfare, economic development, ecological balance, and protection against hydrometeorological phenomena. Having information on the water resource and its behavior is useful for planning and decision-making. Currently, the accelerated development of land satellite information acquisition technologies makes large volumes of data available, so it is necessary to develop processing methodologies and services that facilitate obtaining information for water monitoring, among other applications. The present work proposes an automated geoprocessing methodology for space-time series of Sentinel-1 radar images that manages to achieve high quality in the identification of water bodies with the application of algorithms and geospatial filters. The Grijalva river basin has huge hydrological importance and is susceptible to flooding in the rainy season, this is the reason for using it as a study area. These characteristics are a scenario particularly well suited for the use of Sentinel-1 radar images, which allow the identification of bodies of water even in high cloud conditions. The study period is 2016-2020. The products obtained as a result of the application of this methodology constitute the fundamental basis of the free web platforms for the processing, monitoring, and identification of water bodies that we develop.

PALABRAS CLAVE: Cuerpos de agua, Procesamiento de imágenes, Monitoreo, Sensores remotos, Análisis espacial, Geoprocamiento web.

Keywords: Water bodies, Image processing, Monitoring, Remote sensing, Spatial analysis, automation, Web geoprocessing.

INTRODUCCIÓN

El recurso del agua en todas sus dimensiones es trascendental en el desarrollo sostenible económico, social y medio ambiental (Zeng, Schmitt & Zhu, 2017). de cada país, el agua está considerada como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) planteados por las Naciones Unidas en la Agenda 2030 para el Desarrollo [PNUD]. México aspira al logro de los objetivos y adicionalmente busca la "Seguridad Hídrica", que también considera el bienestar social, el desarrollo económico, el equilibrio ecológico y la protección ante fenómenos hidrometeorológicos. Actualmente, los cuerpos de agua superficiales, en su gran mayoría, presentan una alteración en su calidad misma (Minh, 2011) por todas las descargas que reciben de las actividades domésticas e industriales, que influyen de una manera en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Flores J, 2013).

El desarrollo tecnológico tiene el objetivo de brindar una solución computacional para el procesamiento automático de imágenes y como una fuente de datos para la construcción de una aplicación que integra información de contexto relacionada con el fenómeno hidrometeorológico con herramientas que realizan tareas de visualización, comparación y análisis de datos de manera intuitiva para la identificación de cuerpos de agua. Existen metodologías robustas para el procesamiento de imágenes de radar (Lamarche, 2017) para generar información oportuna y de calidad para la detección de cuerpos de agua; sin embargo, se considera que es fundamental agregar un componente tecnológico que utilice esta información en el desarrollo de aplicaciones que puedan responder con mayor rapidez y eficacia a la necesidad de producir información confiable para la toma de decisiones oportunas. En este contexto, en el presente trabajo se describe una metodología de geoprocésamiento automatizado de series espacio-temporales de imágenes radar Sentinel-1 que permita alcanzar una alta calidad en la identificación de cuerpos de agua, considerando la cuenca del río Grijalva como zona de estudio debido a su importancia hidrológica.

MARCO TEÓRICO

Considerando la importancia hídrica nacional de la cuenca de Grijalva, se desarrollaron procedimientos para procesar imágenes Sentinel-1 para la detección de cuerpos de agua en áreas continentales integradas con un desarrollo tecnológico adaptable que ofrece

la posibilidad de realizar un amplio espectro de usos de información geoespacial a través del procesamiento ágil, accesible y sencillo de imágenes de radar que generan un amplio conjunto adaptable de resultados. Para la presente investigación se utilizó geoprocesamiento de imágenes de radar y el diseño de un servicio de información en internet, este desarrollo tecnológico facilitó el procesamiento de imágenes para analizar la variabilidad espacio-temporal del comportamiento de cuerpos de agua continentales en periodos de tiempo relativamente cortos y de forma continua (Raimond, 2015 & Bayik, 2018) brinda una solución computacional integral de generación de información procesada de manera personalizable, con dos usos inmediatos:

- Realizar tareas de procesamiento automático de imágenes.

- Funcionar como una fuente de datos para la construcción de una aplicación de monitoreo de fenómenos hidrometeorológicos. La presente aplicación de investigación tiene herramientas de visualización, comparación y análisis de datos de forma intuitiva, para ello se hizo uso de tecnología de sensores de Radar de Apertura Sintética (SAR Synthetic Aperture Radar) (Odermatt, 2018), la cual brinda la ventaja de no verse afectados significativamente por las nubes (Voormansik, 2013), adicionalmente ofrecen de manera intensiva conjuntos de datos clave en la investigación geoespacial. Sentinel – 1 proporcionando imágenes radar de forma continua de día y de noche en cualquier clima, disponibles cada seis días y son de acceso gratuito. Información que será usada durante esta investigación. Existen varias metodologías para identificar cuerpos de agua superficiales como sensores remotos usando radar de apertura sintética (SAR). Entre los cuales se encuentran:

- El uso de agrupaciones de datos de Radar de Apertura Sintética (SAR, Synthetic Aperture Radar) globales multitemporales en conjunto con un sensor Envisat ASAR que utiliza una métrica multitemporal de retrodispersión (Lamarche, 2017)

- El uso de la segmentación de imágenes mediante la definición de un umbral utilizando el método Otsu (Duy, 2015).

Estos estudios utilizan diferentes enfoques y coberturas espaciales para abordar el tema de la detección de cuerpos de agua superficiales, resumiendo diferentes perspectivas relacionadas con este trabajo de investigación. Existen muchos esfuerzos de tratamiento de datos para la detección de cuerpos de agua continentales, sin embargo, se ha encontrado una

carencia en la construcción de herramientas sencillas, basadas en Internet y de acceso abierto al alcance de los usuarios y tomadores de decisiones.

También se exploraron enfoques más locales, tal es el caso de la detección de cuerpos de agua en zonas con terreno escarpado, zonas montañosas y el caso del estudio basado en el índice local de asociación espacial de Moran, en combinación con operaciones de cierre morfológico (Navarro, 2019).

Otro enfoque enfatiza las relaciones locales y espaciales entre vecinos cercanos utilizando un etiquetado suave basado en los datos de amplitud de Sentinel-1 (Bioresita, et al. 2018). En este contexto, es importante ampliar la versatilidad de las herramientas que se brindan, de manera que se genere sinergia con las aplicaciones que utilizan actualmente, dotándolas de un abanico amplio de posibilidades de uso, consulta y análisis de la información para ser usada en monitoreo, procesamiento y detección de variables asociadas a cuerpos de agua y su comportamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de Estudio

La presente investigación toma como caso de estudio el monitoreo de cuerpos de agua continentales en la cuenca del río Grijalva, ubicada en el sureste de México, en un territorio que incluye parte de los estados de Chiapas y Tabasco, debido a su importancia hidrológica y la susceptibilidad de la región a sufrir frecuentes inundaciones. Los límites de la zona de estudio son: 18.5N, 15.6S, -91.2W, -91.3E. El presente trabajo propone una metodología de geoprocésamiento automatizado de series espacio-temporales de imágenes radar Sentinel-1 que logre alcanzar una alta calidad en la identificación de cuerpos de agua con la aplicación de algoritmos supervisados y filtros geoespaciales.

La metodología desarrollada para la presente investigación se integra en cinco etapas.

- 1.- Selección y adquisición de imágenes satelitales
- 2.- Procesamiento de Imágenes
- 3.- Transformación de imágenes en mosaicos
- 4.- Generación de entradas de información ráster
- 5.- Generación de entradas de información vectorial

Selección y adquisición de imágenes satelitales

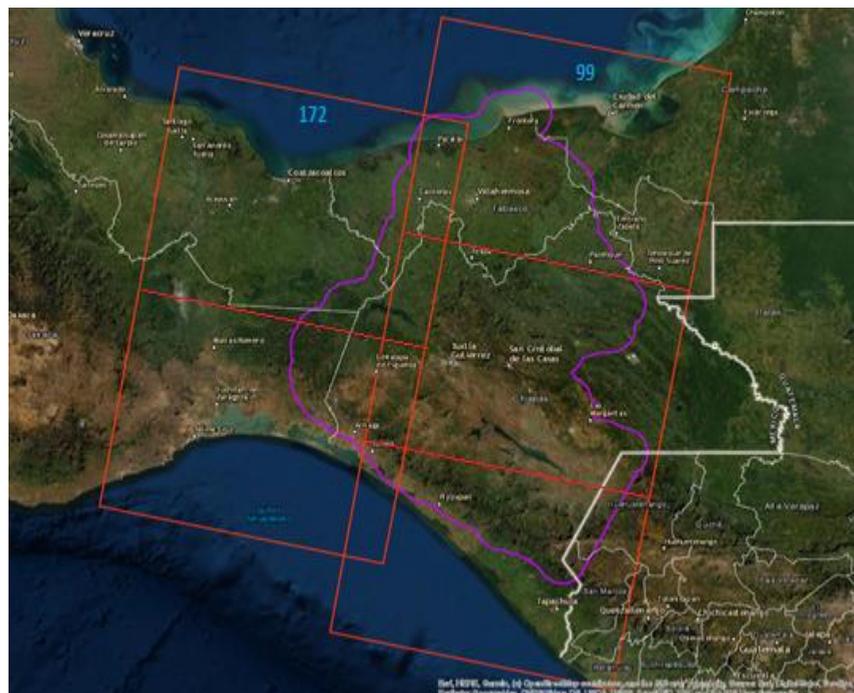
Para llevar a cabo los procesos de selección y adquisición de imágenes satelitales, se identificaron los siguientes parámetros:

- ✓ Área de estudio. Para este ejercicio se define como área de estudio la cuenca del río Grijalva.
- ✓ Período de estudio. Como ventana de tiempo se eligió el período de 2016 a 2020. Las mediciones se presentan mensualmente.

De esta forma se identificó el número de escenas necesarias para cubrir el área de estudio. Para la cuenca del río Grijalva se requieren cinco escenas pertenecientes a los paths 99 y 172 (ver figura 1 escenas, paths y zona de estudio). Cabe mencionar que una escena es la unidad mínima de descarga, el path es la ruta o trayectoria por el cual pasa el satélite cada vez que regresa a la misma zona de la tierra, las escenas pertenecientes a un mismo path son de la misma fecha. Con la definición del periodo mensual y área de estudio, se procede a identificar las escenas viables, es decir, aquellas escenas que son: Nivel 1 (L1) tipo de alta resolución, polarización dual (vv-vh) y formato Ground Range Detected (GRD), además deben pertenecer a la misma fecha por path y ser contiguas en el tiempo. La forma natural en que un satélite adquiere imágenes es siguiendo paths contiguos que generalmente pasan por los polos. De acuerdo a la disponibilidad de escenas es posible encontrar fechas adyacentes en los paths, en ocasiones esto no es posible por la presencia de inconsistencias o falta de escenas y se deben buscar nuevas imágenes de otras fechas que cumplan con este requisito. Para el área de estudio se identificaron dos imágenes en el path 172 y tres imágenes en el path 99, ambas contiguas temporal y espacialmente.

Con la identificación de las escenas idóneas se procede a realizar la descarga de las imágenes, con esta identificación se asegura la uniformidad y consistencia de las escenas en su procesamiento e integración.

Figura 1. Escenas, paths y zona de estudio



Procesamiento de imágenes

Una vez identificadas y descargadas las escenas, se realiza el procesado de cada escena y su integración en mosaicos mensuales; los mosaicos son la unión de las escenas que representarán cada mes. A cada escena se le aplica el procesamiento para tener información estandarizada, libre de ruido, geoméricamente correcta y transformada para realizar análisis cuantitativos. Este procedimiento permitió la transformación de valores digitales a valores físicos, eliminación de ruido, efecto rebote de señal, asignación de la ubicación exacta de la escena y corrección geométrica. Los pasos que se realizan en el procesamiento básico son:

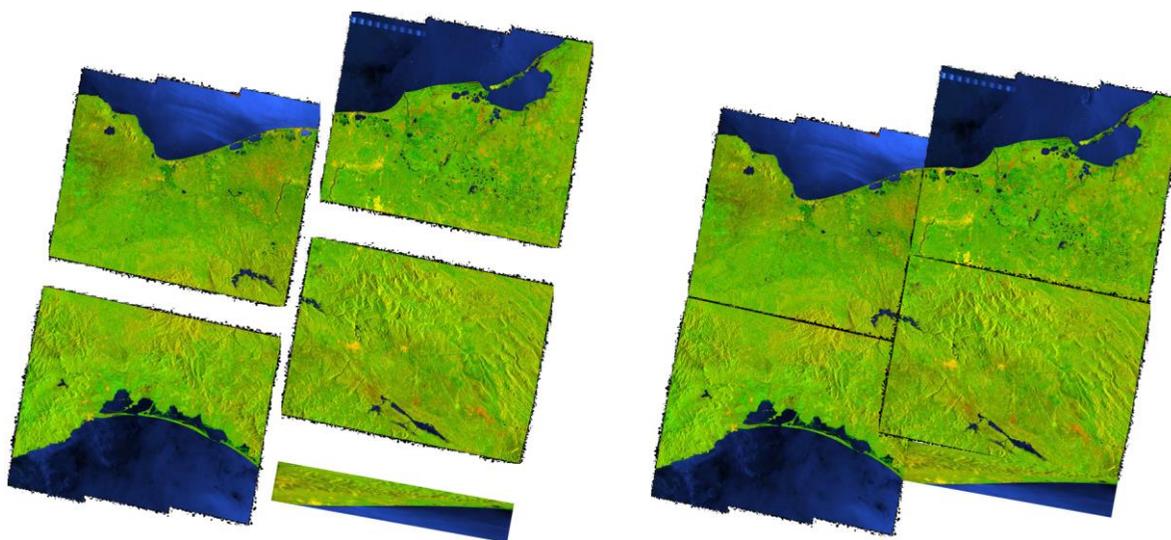
- ✓ Corrección de órbita, este proceso efectúa el ajuste preciso de la órbita del satélite en el momento de la captura de la escena mediante el uso de parámetros de Efemérides de Órbita Precisa (POD).
- ✓ Supresión de ruido térmico, la cual consiste en la eliminación del ruido térmico que puede afectar significativamente al resultado final de la imagen.
- ✓ Eliminación de ruido de banda lateral, la cual elimina posibles franjas laterales con datos inconsistentes.

- ✓ Corrección radiométrica, que consiste en convertir valores digitales a coeficientes de retrodispersión y finalmente a valores en unidades físicas.
- ✓ La reducción de ruido Speckle, quien realiza la eliminación del llamado efecto sal y pimienta presentado como gránulos en blanco y negro, este efecto dificulta la interpretación visual de la escena.
- ✓ Corrección geométrica, consistente en reducir las distorsiones geométricas provocadas por las sombras y el relieve para mejorar la calidad de la escena y realizar los ajustes necesarios mediante un modelo digital del terreno.

Transformación de imágenes en mosaicos

Cada mosaico se integra con escenas que componen la medición del área de estudio para una fecha dada, el resultado integrado se aprecia como una imagen continua sin costuras, sin que se observe la unión de las escenas que la componen, esto se logra mediante el difuminando de traslapes, utilizando el parámetro de promedio ponderado de superposición para ser apropiados para la detección de cuerpos de agua como se observa en la figura 2.

Figura 2. Transformación de imágenes en mosaicos



Generación de entradas de información ráster

Para utilizar de manera eficiente los mosaicos transformados de las imágenes satelitales, es necesario eliminar la información no utilizada en nuestra plataforma, el ajuste principal es el cambio del formato nativo de los mosaicos (DIM) a formato tiff, dejando de

lado la información estadística; con esta transformación es posible reducir el tamaño total del mosaico en aproximadamente un 50%.

Los mosaicos en formato tiff se almacenan en un repositorio de archivos y se integran en la base de datos de la plataforma. Esta información permite el funcionamiento de la plataforma de procesamiento.

El conjunto total de mosaicos ráster se integran en el periodo temporal disponible y representan el insumo básico de la plataforma web de procesamiento en línea, que ofrece servicios bajo demanda de procesamiento y generación de máscaras binarias de cuerpos de agua continentales en el área de estudio.

Esta plataforma web flexible e intuitiva permite al usuario realizar el procesamiento personalizado de las imágenes, eligiendo filtros y parámetros según sus necesidades.

Generación de entradas de información vectorial

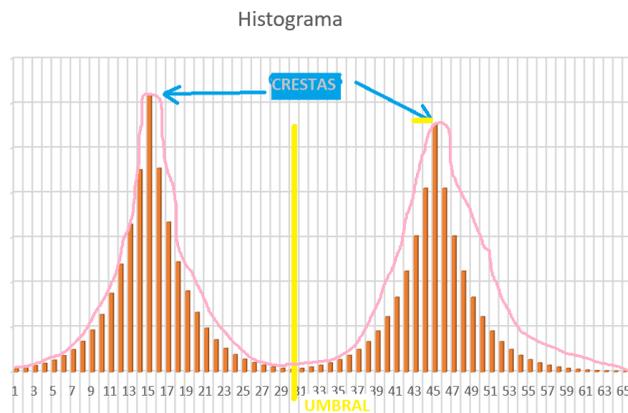
La serie espacio - temporal de medidas mensuales en formato vectorial se obtiene del procesamiento básico de las escenas; se crea el histograma de cada una para identificar el umbral de cambio en el histograma que representa la frontera entre lo que son cuerpos de agua y lo que no. Este umbral ocurre en el cambio de pendiente en el histograma, donde cambia de negativo a positivo, es decir, en el valle del histograma entre dos crestas (ver figura 3 umbral).

Con la identificación del valor umbral se produce una capa ráster que contiene únicamente los cuerpos de agua de esa escena, esta capa se transforma a formato vectorial utilizando bibliotecas de geoprocésamiento con la opción de suavizado, logrando así un efecto más cercano a la realidad, estas capas se generan en formato “shape” (.shp), permitiendo calcular el área de cada polígono, se eliminan los polígonos pequeños que no implican representatividad (menor o igual a 500 metros cuadrados), se realiza la corrección geométrica de la capa vectorial y finalmente las cinco capas vectoriales de cada mes se unen para obtener una sola capa vectorial mensual. La capa vectorial mensual obtenida se integra en una base de datos geoespacial a la que se conecta la plataforma web de monitoreo de cuerpos de agua continentales.

De esta forma, las capas de información vectorial se convierten en un insumo para la plataforma de geovisualización y geomonitoreo de cuerpos de agua en la cuenca Grijalva.

Esta plataforma intuitiva permite al usuario identificar el comportamiento espacio-temporal de los cuerpos de agua continentales, analizar patrones estacionales de comportamiento, ejecutar geoprocésamiento para detectar áreas de posible inundación en el entorno construido, comparativos cuantitativos y cualitativos y la población afectada, entre otros.

Figura 3. Umbral para identificación de los cuerpos de agua y los que no



RESULTADOS

La serie espacio-temporal de mediciones mensuales en formato vectorial es la base para la construcción de una plataforma web de visualización, consulta, análisis de datos y geoprocésamiento sobre cuerpos de agua superficiales en la cuenca del Grijalva. Además, estos datos se publican en servicios web geoespaciales según el estándar Web Map Service (WMS) del Open Geospatial Consortium (OGC), lo que garantiza que esta información abierta pueda ser utilizada por cualquier usuario desde cualquier dispositivo conectado a Internet para visualización, análisis, comparación y seguimiento de variables hidrológicas y ambientales a escala regional como se muestra en la figura 4. La visualización de mediciones mensuales de cuerpos de agua permite conocer la variabilidad estacional de los cuerpos de agua en el territorio a lo largo del periodo de estudio e identificar eventos extraordinarios como inundaciones e incluso periodos de sequía prolongada. El análisis de los datos generados mensualmente relativos a la superficie ocupada por masas de agua en kilómetros cuadrados se convierte en un insumo para el análisis de datos a diferentes niveles: cuerpos de agua individuales o en conjunto, comparativos mensuales, estacionales y anuales. Como resultado, es posible analizar el comportamiento de los cuerpos de agua durante el período

de estudio, los niveles máximos, mínimos y promedio de las mediciones mensuales y la variabilidad de los cuerpos de agua individuales. Para esta etapa se diseñó un algoritmo computacional para realizar un servicio web de geoprocésamiento que a partir de la selección de un polígono dentro del área de estudio muestra las variaciones en la superficie ocupada por los cuerpos de agua. Este análisis permite identificar las áreas susceptibles de inundación, así como la población, manzanas y viviendas afectadas a través de un cruce de información con el censo de población 2010 del INEGI. Las actividades de monitoreo espacio-temporal de los cuerpos de agua se efectúan mediante el uso de información en formatos ráster y vectorial, los cuales en conjunto ofrecen más posibilidades y complementariedad para efectuar estudios y análisis regionales para brindar herramientas que apoyen la toma de decisiones.

Figura 4. Monitoreo de cuerpos de agua



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo de investigación, se obtuvieron dos avances importantes: por un lado, se implementó una metodología eficiente que utiliza un algoritmo adaptativo del cual se obtiene el umbral para detectar de manera más eficiente los cuerpos de agua continentales con imágenes SAR, por otro lado, se logró avanzar en desarrollo tecnológico para realizar procesamiento automático de imágenes Sentinel-1 que permite elegir la creación de una imagen procesada bajo demanda, a través de un conjunto de filtros y parámetros disponibles; de esta manera, es posible emplear este procesamiento personalizable en un conjunto amplio de usos. Por otra parte, el uso de los sensores SAR, especialmente el Sentinel-1, permitió la identificación de objetos a escalas medianas en el territorio. Por otra parte, el procesamiento de imágenes de percepción remota se identificó que consume una gran cantidad de recursos de cómputo, en este sentido el desarrollo tecnológico presentado separa el procesamiento pesado a servidores dedicados en una arquitectura geoespacial de servidores, brindando la posibilidad de utilizar productos terminados de calidad en formatos geoespaciales ráster y vectoriales. Con la metodología utilizada de geoprocésamiento automatizado de series espacio-temporales de imágenes radar Sentinel-1 que logró alcanzar una alta calidad en la identificación de cuerpos de agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Zeng, L., Schmitt, M., Li, L., & Zhu, X. X. (2017). Analysing changes of the Poyang Lake water area using Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(23), 7041-7069.

Lamarche, C., Santoro, M., Bontemps, S., d'Andrimont, R., Radoux, J., Giustarini, L., ... & Arino, O. (2017). Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community. *Remote Sensing*, 9(1), 36.

Thi Minh Hanh, P., Sthiannopkao, S., The Ba, D., & Kim, K. W. (2011). Development of water quality indexes to identify pollutants in Vietnam's surface water. *Journal of Environmental Engineering*, 137(4), 273-283.

Flores, J. (2013). Propuesta de índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38(2), 145-149.

Raimond, K. (2015). A review on availability of remote sensing data. 2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 150-155.

Bayik, C., Abdikan, S. A. Y. G. I. N., Ozbulak, G., Alasag, T., Aydemir, S., & Sanli, F. B. (2018). Exploiting multi-temporal Sentinel-1 SAR data for flood extend mapping. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 42(3), W4.

Odermatt, D., Danne, O., Philipson, P., & Brockmann, C. (2018). Diversity II water quality parameters from ENVISAT (2002–2012): A new global information source for lakes. *Earth System Science Data*, 10(3), 1527-1549.

Voormansik, K., Praks, J., Antropov, O., Jagomägi, J., & Zalite, K. (2013). Flood mapping with TerraSAR-X in forested regions in Estonia. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(2), 562-577.

Lamarche, C., Santoro, M., Bontemps, S., d'Andrimont, R., Radoux, J., Giustarini, L., ... & Arino, O. (2017). Compilation and validation of SAR and optical data products for a complete and global map of inland/ocean water tailored to the climate modeling community. *Remote Sensing*, 9(1), 36.



Duy, N. B. (2015). Automatic detection of surface water bodies from Sentinel-1 SAR images using Valley-Emphasis method. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 37(4), 328-343.

Navarro, J. C. V., Salazar-Garibay, A., Téllez-Quiñones, A., Orozco-del-Castillo, M., & López-Caloca, A. A. (2019). Inland water body extraction in complex reliefs from Sentinel-1 satellite data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(1), 016524.

Bioresita, F., Puissant, A., Stumpf, A., & Malet, J. P. (2018). A method for automatic and rapid mapping of water surfaces from sentinel-1 imagery. *Remote Sensing*, 10 (2), 217.