



**APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS INUNDABLES. CASO DE
ESTUDIO: RÍO SOAPAGA, SECTOR PAZ DE RÍO, BOYACÁ.**

JHON FREDY ARDILA LEÓN

OSCAR YESID QUINTERO DELGADO

**Artículo presentado como requisito para optar por el título de
Especialista en Geomática**

**Director
Jorge Luis Corredor Rivera
Ing. Civil**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ D.C.
2013**

APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA INTERPRETACIÓN DE ZONAS INUNDABLES. CASO DE ESTUDIO: RÍO SOAPAGA, SECTOR PAZ DE RÍO, BOYACÁ.

APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS IN THE INTERPRETATION FLOODPLAIN. CASE STUDY: SOAPAGA RIVER, PAZ DE RÍO SECTOR, BOYACÁ.

Jhon Fredy Ardila León

Ingeniero Topográfico, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Ingeniero Contratista Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

johnar28@gmail.com

Oscar Yesid Quintero Delgado

Ingeniero Catastral y Geodesta, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas", Ingeniero Contratista Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.

oskr.kintero@gmail.com

RESUMEN

El presente estudio busca a partir de las técnicas de teledetección y los Sistemas de Información Geográfica delimitar el área de inundación ocurrida por el desbordamiento del río Soapaga (sector Paz de Río, Boyacá); la inundación se presenta debido a dos factores fundamentales: la fuerte temporada de lluvias ocurrida durante el primer semestre del año 2012 y agentes geológicos que generaron inestabilidad en el terreno, causando daños a viviendas, redes de acueducto y alcantarillado, vías, puentes, etc, localizados en área urbana del municipio.

El área de inundación se determina a partir de información vector (Curvas de nivel) obtenida del modelo digital de elevación (MDE), asumiendo que el nivel de la inundación no excedió los dos metros de altura con respecto al nivel medio del río Soapaga y tomando como punto de referencia la cota 2210. Adicionalmente, se realiza un geoprocésamiento entre la capa predial urbana del municipio y el área delimitada, para estimar el número de predios y las áreas afectadas por la inundación.

Palabras clave: área de inundación, modelo digital de elevación, geoprocésamiento.

ABSTRACT

This study seeks from remote sensing techniques and GIS delineate the floodplain by the overflow occurred Soapaga river (Paz de Río sector, Boyacá); flooding occurs due to two factors: the strong rainy season occurred during the first half of 2012 and generated instability geological agents on the ground, causing damage to homes, water and sewer networks, roads, bridges, etc., located in urban area.

The flooded area is determined from vector data (contours) obtained from the digital elevation model (DEM), assuming that the level of the flood did not exceed two meters in height from the middle of the Soapaga river and taking benchmark the dimension 2210. Additionally, it takes a geoprocessing layer between the municipality's urban farm and the area enclosed, to estimate the number of farms and areas affected by the flood.

Keywords: floodplain, digital elevation model, geoprocessing.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos naturales que ocurren cuando las aguas de los ríos, Quebradas, Riachuelos, salen del lecho del escurrimiento debido a la falta de capacidad de transporte de uno de estos sistemas y pasa a ocupar el espacio que la población utiliza para vivienda, transporte, comercio, industria entre otros [1].

En los últimos años Colombia ha sufrido periodos de lluvia intensos que han generado un sinnúmero de emergencias y damnificados, convirtiéndose en un problema de relevancia nacional, que ha llevado a reestructurar los sistemas de gestión del riesgo y a su vez las técnicas para la observación y prevención de este tipo de desastres. Debido a que las inundaciones abarcan generalmente grandes extensiones de terreno y la labor en campo para determinar las áreas de afectación se hace en muchos casos compleja, dadas las difíciles condiciones de acceso y seguridad, el uso de la teledetección y los sistemas de información geográfica surgen como una alternativa para observar este fenómeno ya que proporcionan un medio indirecto de análisis y evaluación de los efectos causados.

Para interpretar la zona de inundación en primer lugar se realiza un sinergismo con imágenes de diferentes características en su resolución, con el fin de obtener una nueva imagen que aumente los niveles de detalle, sin embargo, dadas las condiciones topográficas de la zona que aceleran la evacuación de las aguas y al considerar la inundación como un fenómeno súbito, la mancha no es identificable debido a la diferencia de tiempo que existe entre la ocurrencia del fenómeno y la toma de la imagen de radar. En consecuencia, se busca, a través del Modelo Digital

de Elevación extraer las curvas de nivel con un intervalo de 10 metros, para delimitar de forma aproximada la zona inundada. Finalmente a través de una intersección entre las capas correspondientes a la predicación urbana y el área delimitada se realiza un estimativo del número de predios y áreas afectadas por la inundación.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. ANTECEDENTES DE LA INUNDACIÓN

El municipio de Paz de Río y sus alrededores dada la complejidad geológica, tectónica y topográfica de la región, influenciado por los agentes atmosféricos, en diferentes ocasiones se ha visto afectado por deslizamientos de tierra, caída de rocas, y desbordamiento de los ríos que han cobrado pérdida de vidas humanas y económicas; una de las catástrofes más fuertes que ha sufrido el municipio en los últimos años, se presentó en el mes de abril del 2012, con el desbordamiento de los ríos Soapaga y Chicamocha, producto de la ola invernal que golpeo gran parte del territorio nacional.

El día 13 de abril hacia las 12:30 p.m. con el incremento de las lluvias, se generó el crecimiento del caudal del río Soapaga, desbordándose y abarcando predios de la empresa Acerías Paz del Río, situación que más tarde se agrava con el arrastre de sedimentación y material rocoso producto del deslizamiento Coloradales-Salitre, llevando a la salida total del cauce del río cubriendo parte del casco urbano del municipio, obligando a la evacuación inmediata de la comunidad en el área cercana afectada de los Barrios: Colonial, Brisas del Soapaga, Venecia, causando daños físicos y pérdidas de viviendas, enseres, afectación de vías urbanas, redes de acueducto y alcantarillado (Figura 1). Así mismo, el aumento del caudal río ocasiono la pérdida total del puente del sector El Charco que comunicaba la vía alterna recientemente construida de ingreso al municipio, en el casco urbano se presenta colapso del puente que comunicaba a la empresa Acerías Paz del Río con el municipio.

Por otra parte, el día 21 de abril de 2012 hacia las 10:20 p.m. se presentó un aumento del caudal del río Chicamocha desbordándose e ingresando por las alcantarillas al casco urbano y nuevamente el río Soapaga presentó desborde afectando las áreas antes mencionadas, las principales afectaciones fueron 163 familias damnificadas, colapso de los gaviones del costado izquierdo del río Chicamocha que protege al municipio, 50 familias de comerciantes afectados, taponamiento del sistema sanitario pluvial, colapso de los pozos de inspección, afectación de los colectores de alcantarillado, pérdidas de micro medidores, daños de las acometidas hidráulicas domiciliarias, colapso total del puente colgante

peatonal que servía de comunicación de los municipios de Tasco-Paz de Río y afectación de cultivos y predios rurales de la región. [2]



Figura 1. Inundación en zona urbana del municipio Paz de Río.
Fuente: Diario El Tiempo, 2012.

1.2. TELEDETECCIÓN

La teledetección puede ser definida de forma general como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en donde, debe existir una interacción energética entre la tierra y el sensor ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial; a su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en última instancia, ser interpretada por una determinada aplicación. [3]

De esta manera, las imágenes que se adquieren varían dependiendo del sensor, en donde existen varios tipos, entre las que se encuentran las fotografías aéreas, las imágenes de satélite (ópticas) e imágenes de radar.

1.3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Paz de Río se encuentra ubicado en la región Norte del departamento de Boyacá sobre el margen de los ríos Chicamocha y Soapaga a una altura de 2200 msnm, posee una temperatura promedio de 16°C, y cuenta con una extensión total de 117 Km², de los cuales el área urbana está constituida por 38.7 Km², y un total de 77.3 Km² de área rural. El sector urbano lo constituyen 9 barrios (Brisas del Soapaga, Buenos Aires, Colonial, Gaitán, La Paz, Metrópolis, Progreso, Santa Teresa y Venecia); por otra parte según el IGAC, el sector rural lo integran 10 veredas así: Carichana, Chitagoto, Chorrera, Colacote, Piedra Gorda, Salitre, Sibaría, Soapaga, Socotacito y Tiza. [4].

El área específica objeto de estudio se encuentra localizada sobre la parte oriental del centro poblado principal del municipio, cuyas coordenadas planas aproximadas son $X=1.146.000$, $1.149.000$ y $Y=1.153.000$, $1.157.000$ correspondientes al recuadro de la parte derecha de la (Figura 2), se seleccionó esta zona dado que la inundación se presentó específicamente en los sectores correspondientes a los barrios Colonial, Brisas del Soapaga y Venecia.

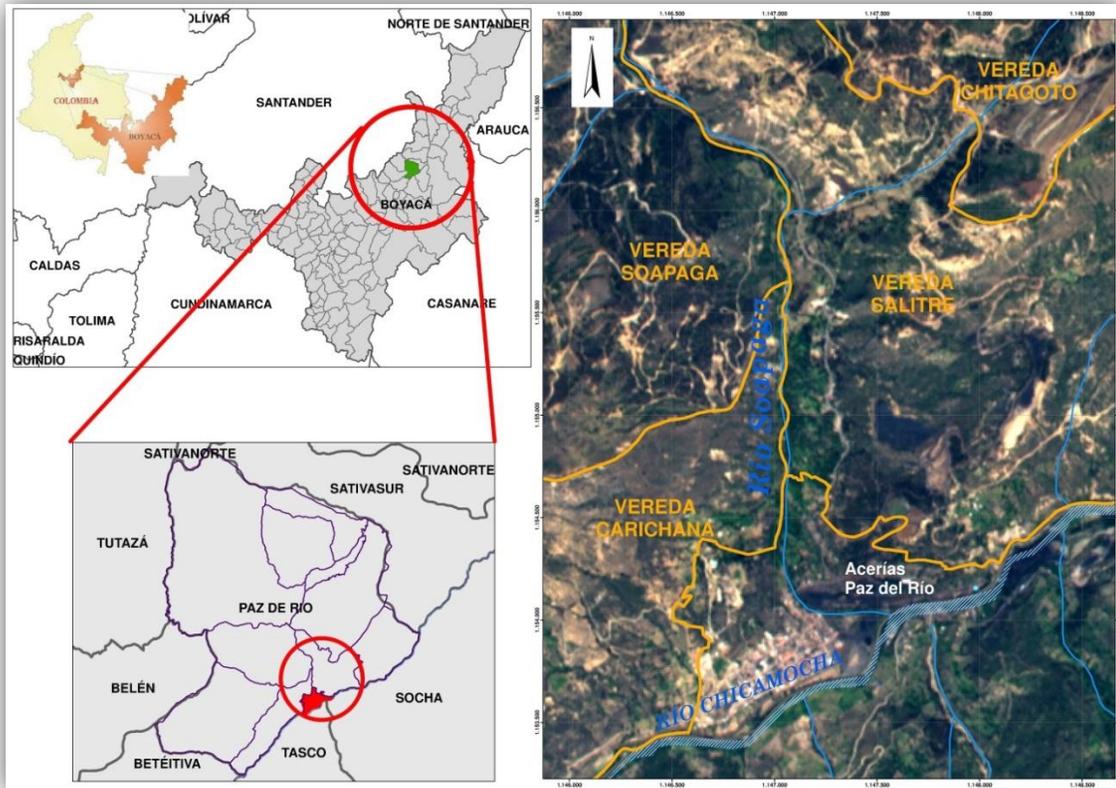


Figura 2. Localización de la zona de estudio.
Fuente: Autores, 2013.

1.4. METODOLOGÍA

A continuación se muestra el diagrama de flujo que se siguió para la consecución del estudio (Figura 3).

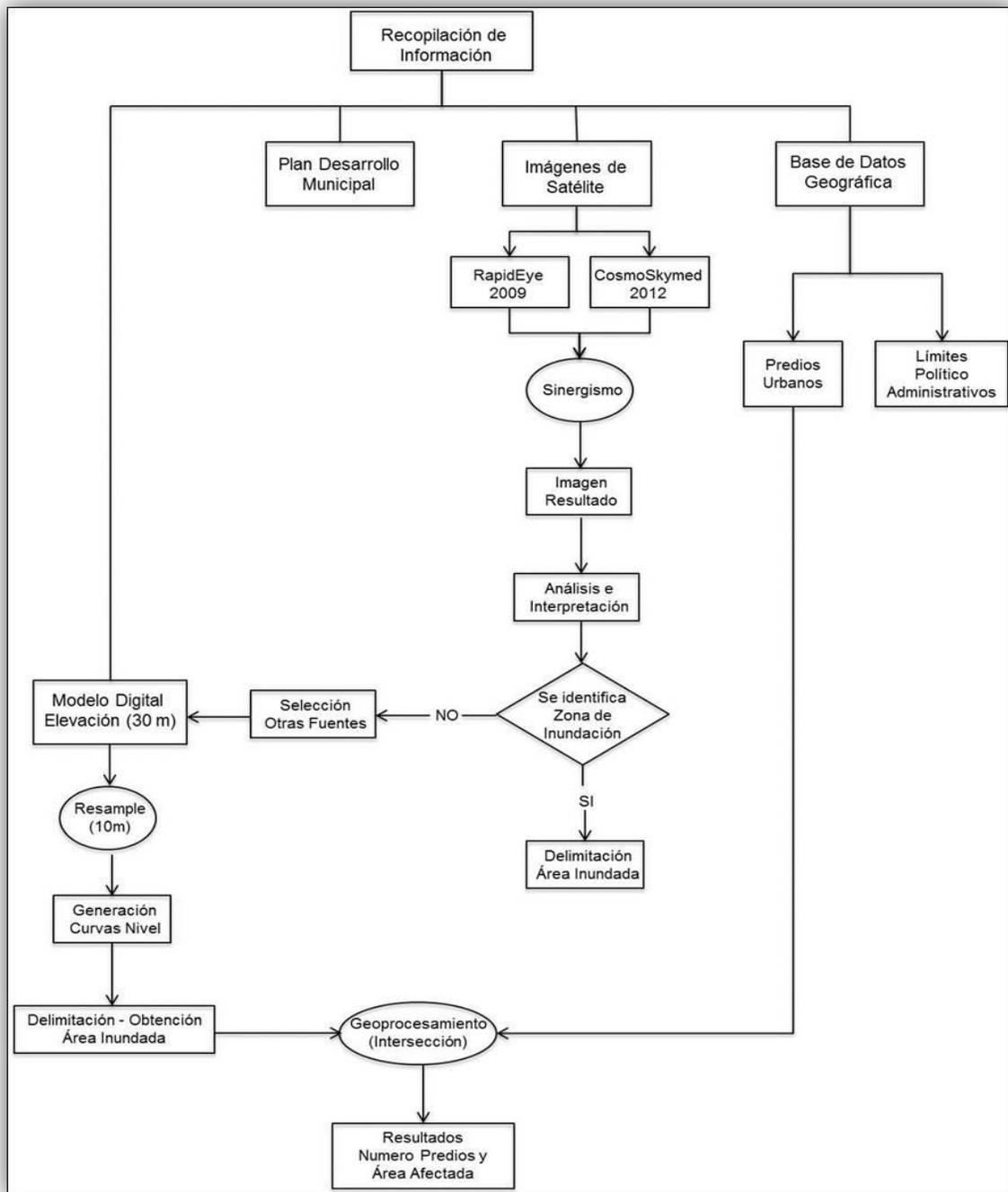


Figura 3. Diagrama de flujo para la metodología.
Fuente: Autores, 2013.

Se trabajó con información fuente proveniente del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, el cual proporciono lo concerniente a las imágenes de satélite, se utilizaron dos tipos de imágenes, una imagen óptica adquirida del sistema satelital RapidEye y una imagen de radar del programa CosmoSkymed, los datos principales de cada una de las imágenes se muestran a continuación (Tabla 1).

Tabla 1. Datos principales de las imágenes.

| Imagen | RapidEye | CosmoSkymed |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Resolución Espacial | 7 metros | 5 metros |
| Resolución Temporal | 1 a 5 días | 10 horas |
| Resolución Espectral | 5 Bandas (RGB, Red Edge, IRC) | 2 Bandas (X) |
| Resolución Radiométrica | 12 bits/pixel | 16 bits/pixel |
| Tamaño de Escena | 77 km | 40 km |
| Tamaño en Disco | 1234.62 MB | 395.09 MB |
| Fecha de Toma | 08/12/2009 | 25/04/2012 |

Fuente: Autores, 2013.

Cabe anotar que las dos imágenes se encuentran en el mismo sistema de referencia cuyos parámetros son:

- Tipo de proyección: Transverse Mercator
- Elipsoide de referencia: GRS 1980
- Datum: SIRGAS

Adicionalmente, se recopiló información relevante como lo es el modelo digital de elevación (DEM) para toda Colombia con una resolución de 30 metros, la prediación a nivel urbano del municipio con vigencia catastral del año 2009 en formato file geodatabase, cartografía básica a escala 1:100.000 del municipio y sus alrededores, adquirida en formato file geodatabase, así mismo todo lo que corresponde a los límites político administrativos (municipales, veredales, centros poblados, etc), en formato shape y file geodatabase y finalmente el Plan de Desarrollo Municipal vigente.

Para establecer el área de inundación provocado por el río Soapaga (afluente del río Chicamocha) se hace uso de un sinergismo, para aprovechar las características espectrales de la imagen RapidEye, ya que en la imagen de radar no se visualiza claramente el área de inundación. Es importante resaltar que la única imagen con información posterior a este fenómeno es la obtenida por el sensor CosmoSkymed empleado para imágenes de radar.

Con ayuda del software *Erdas Imagine 2010* y la herramienta *Resolution merge* se procede a realizar el sinergismo.

Para este caso se utilizó el método **Brovey Transform**, el cual fue desarrollado para aumentar los contrastes visuales en las zonas finas bajas y altas del histograma de las imágenes, es decir para proporcionar el contraste en las sombras, agua y áreas

de alta reflectancia. Este método no debe ser usado si se desea conservar la radiometría de la escena original. [5]

El método **Brovey** también permite controlar la combinación RGB que se desea obtener, para este caso de utilizaron los canales 4,5,3 que resalta las zonas de humedad y cuerpos de agua en un tono magenta (Figura 4). Finalmente se obtiene una imagen multispectral con características acordes a las necesidades del estudio.

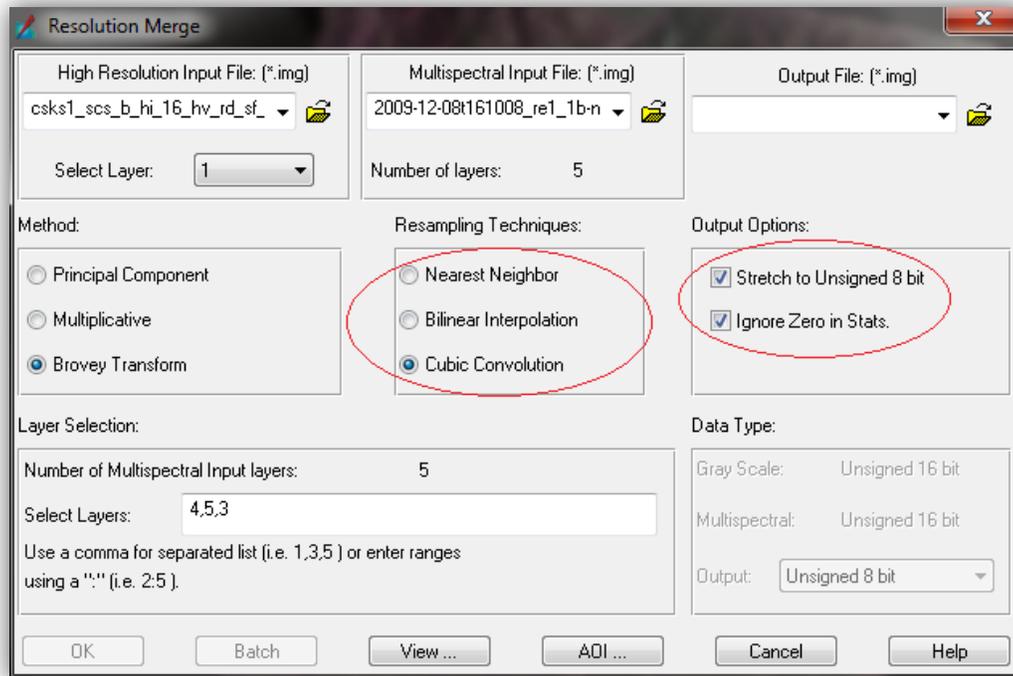


Figura 4. Herramienta “Resolution Merge” para la obtención del sinergismo.
Fuente: Autores, 2013.

Una vez interpretado el sinergismo se deduce que no es posible identificar el área inundable ya que la topografía de la zona es pendiente e influyó para que el agua drenara rápidamente. En consecuencia la imagen no permite identificar la inundación, ya que existe una diferencia de 12 días entre la ocurrencia del evento y la toma de la imagen de radar. Dado lo anterior se busca una nueva alternativa para delimitar de forma aproximada la posible área de inundación, teniendo en cuenta la topografía de la zona, para ello se hace uso del modelo digital de elevación (DEM) de Colombia a 30 metros de resolución.

Tomando como base el modelo digital de elevación (DEM) se hace un corte que delimita aproximadamente la zona de estudio y con ayuda de la herramienta *Resample* de ArcToolbox se genera un nuevo DEM de 10 metros de resolución el cual permite un mayor detalle de la topografía (Figura 5).

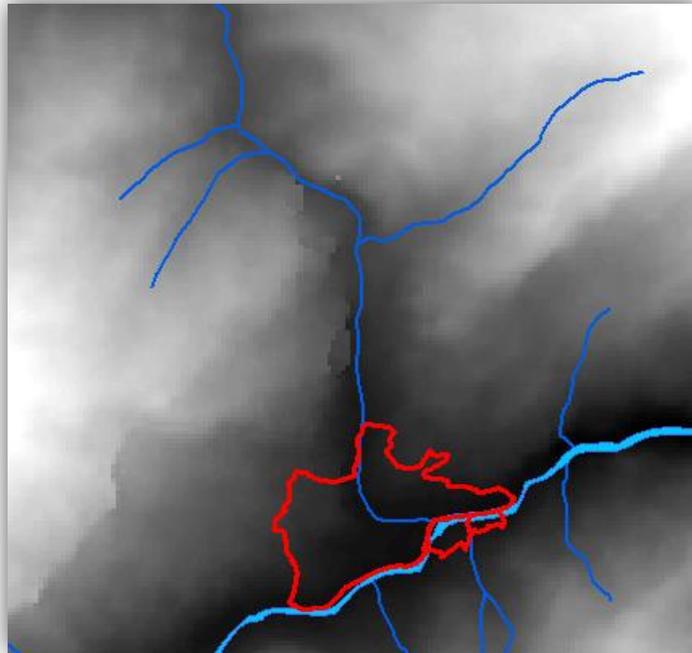


Figura 5. DEM de la zona de estudio a 10 metros de resolución.
Fuente: Autores, 2013.

Teniendo como base el DEM de 10 metros de resolución generado, se extraen las curvas de nivel con ayuda de la herramienta *Contour* de *Arctoolbox* (Figura 6) y se delimita el área aproximada de inundación tomando como referencia la cota 2210 metros de altura y un sector del río Chicamocha.

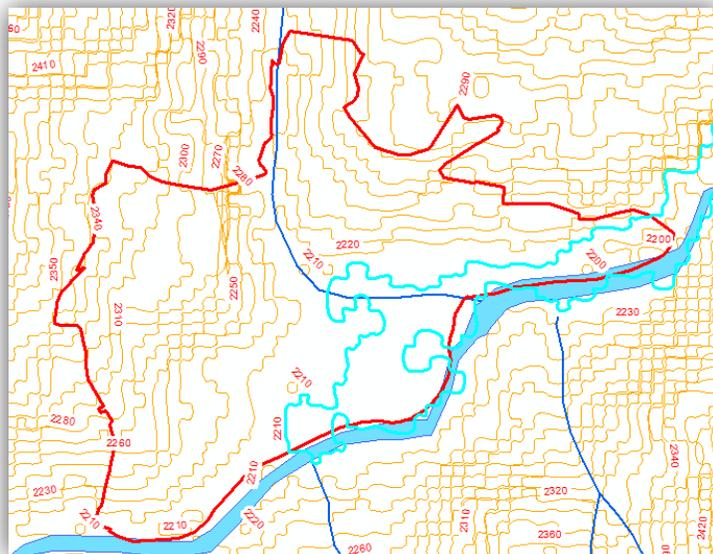


Figura 6. Curvas de nivel – selección de cota 2210 metros.
Fuente: Autores, 2013.

Con el insumo correspondiente a la prediación urbana y el polígono trazado con el área inundada se procede a realizar un geoprocesamiento tipo intersección entre dichas capas, haciendo uso de la herramienta *ArcToolbox*, con la finalidad de cuantificar el número de predios y áreas afectadas por la inundación. Este resultado se almacena en un nuevo *feature class* tipo polígono llamado *Area_Afectada_Urbana*.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para determinar el área de inundación aproximada se obtuvo inicialmente un sinergismo de imágenes en el cual se busca identificar la mancha de agua, pero al ser la imagen de radar capturada en un tiempo posterior a la fecha de inundación y teniendo en cuenta que el evento cubrió un área no muy extensa, el uso de esta imagen no es aplicable para este estudio. Cabe anotar que el sinergismo permitió identificar algunas coberturas, como pastos, bosques y construcciones (Figura 7).

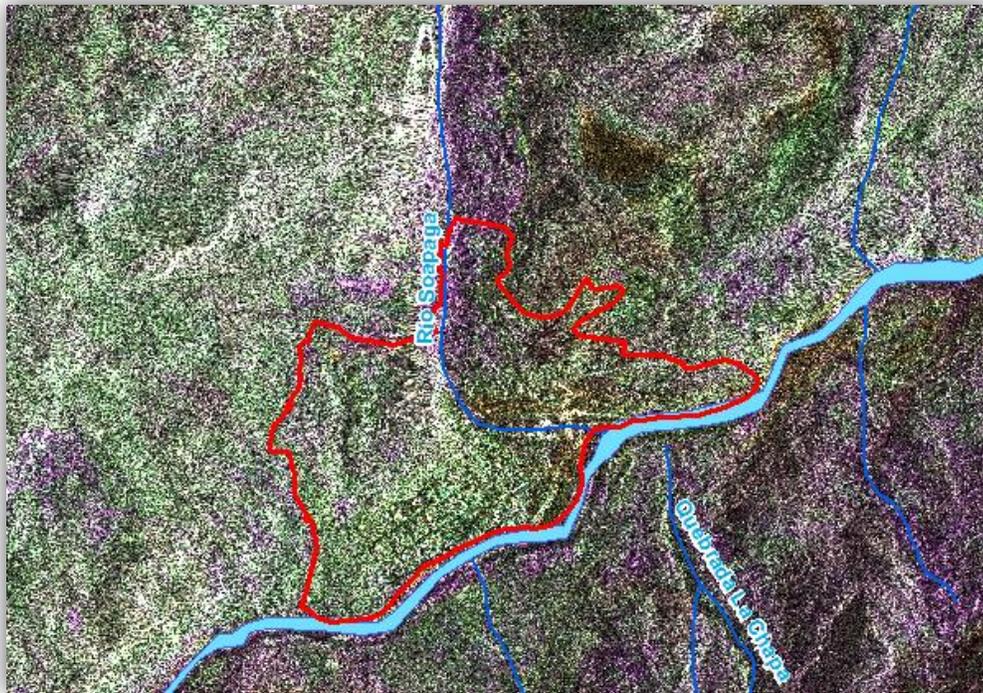


Figura 7. Sinergismo entre imágenes RapiEye y CosmoSkymed.
Fuente: Autores, 2013.

Una vez descartado el sinergismo se obtiene el área de inundación a partir de la extracción de las curvas de nivel a un intervalo de 10 metros

Para delimitar el área probable de inundación se tomó como referencia la cota de 2210 metros de altura, ya que se estima que el nivel del agua no excedió los dos metros de con respecto a la altura aproximada del río Soapaga y a su vez la información registrada en el plan de desarrollo del municipio, indica que los barrios y predios afectados por la inundación coinciden con el área probable delimitada (Figura 8). Para el área total delimitada se obtuvo un total de 126.564,59 metros cuadrados.

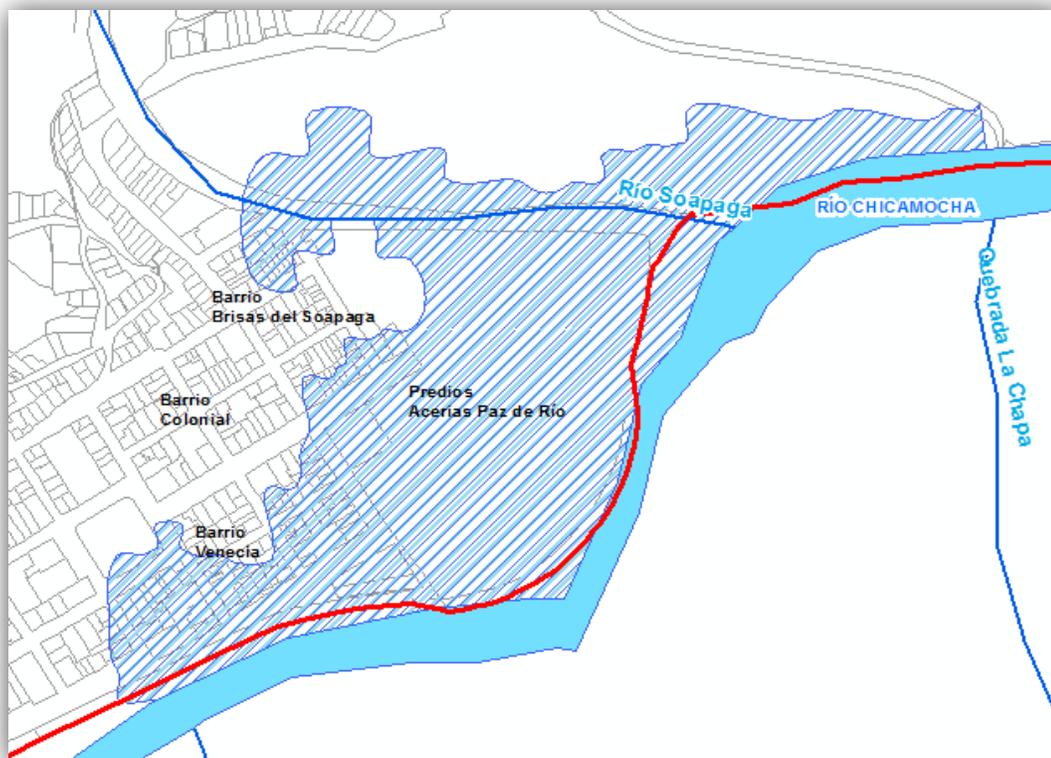


Figura 8. Área de inundación delimitada siguiendo la curva 2210 metros.
Fuente: Autores, 2013.

Como parte de los resultados obtenidos y tomando como insumo principal las curvas de nivel extraídas a una equidistancia de 10 metros, se generó la superficie topográfica, donde se puede apreciar en una vista 3D, el relieve aproximado de la zona objeto de estudio (Figura 9).

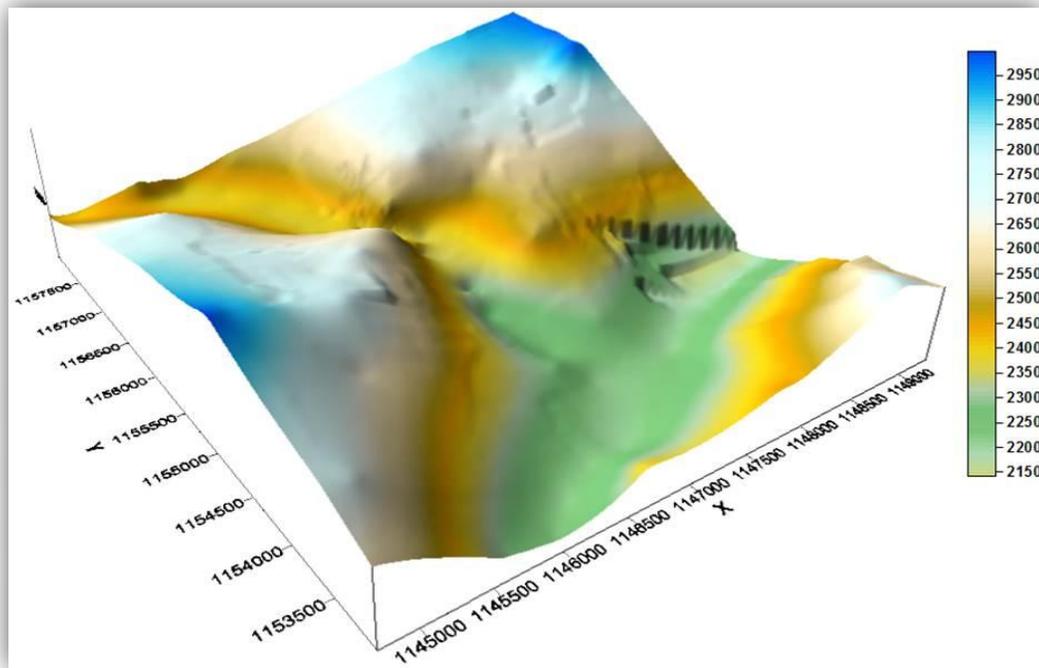


Figura 9. Superficie topográfica aproximada de la zona de estudio.
Fuente: Autores, 2013.

Finalmente con ayuda de un geoprocresamiento se realiza una intersección entre la capa predial urbana y el área delimitada, en donde se obtiene un resultado de 114 predios afectados y un área total afectada de 97.949,89 metros cuadrados (Figura 10). Cabe anotar que no todos los 114 predios se vieron afectados en la totalidad de su área, es decir, algunos presentaron afectación en tan solo una parte de esta; así mismo en el cálculo del área total afectada también se involucran las áreas correspondientes a vías, porciones del malecón y rondas pertenecientes a los ríos Soapaga y Chicamocha.

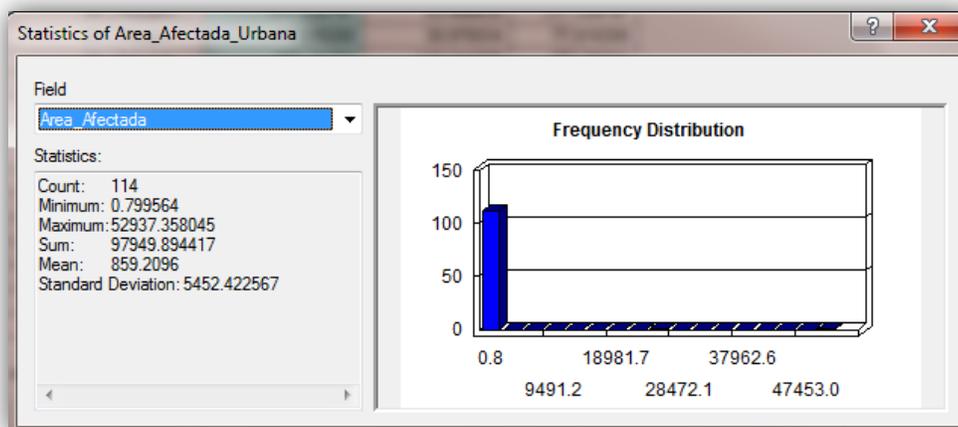


Figura 10. Estadísticas de área y número de predios afectados.
Fuente: Autores, 2013.

3. CONCLUSIONES

No fue posible identificar el área de inundación en el sinergismo, debido a que el fenómeno ocurrido es considerado como súbito, dada la topografía montañosa de la zona que produce la desaparición casi instantánea del fenómeno, con lo cual la imagen de radar no es la más óptima para este tipo de estudios, siendo más aplicable a estudios que involucren mayor extensión y en zonas donde el relieve permita el estancamiento de cuerpos de agua por largos periodos de tiempo.

A través del modelo digital de elevación se obtuvo un criterio claro del comportamiento del relieve con el fin de conocer la zona probable en la que se depositó la inundación y a su vez determinar la cota máxima a la que podía llegar la inundación, tomando como referencia el nivel medio del río Soapaga, que para el caso de estudio no excedió los dos metros de altura.

El municipio de Paz del Río presenta zonas en donde existen procesos erosivos que involucran desprendimiento de material debido a tectónica de placas y la topografía de la región, lo cual facilita que todo este material se deposite en los ríos ocasionando inundaciones debido al volumen de material que se concentra en este tipo de cuerpos de agua. La inundación que se presentó el 13 de abril de 2012 fue causada por el estancamiento de material rocoso en el río Soapaga y por esta razón un estudio a futuro sería conocer el volumen de material que permita modelar una inundación de gran proporción. También es importante que se tomen medidas de mitigación como el dragado del río en las zonas críticas de inundación para evitar futuras catástrofes.

Aprovechando la herramienta SIG del geoprocésamiento, se estableció el número de predios y áreas afectadas por la inundación de forma acertada, ya que coincide con el reporte de los barrios que se vieron perjudicados por este fenómeno natural.

Cabe anotar que las imágenes con las cuales se trabajó provienen de una sola fuente de información, en este caso el IGAC, razón por la cual el proyecto se vio restringido a utilizar imágenes de diferente tipo de sensor (activo y pasivo), dado que para las fechas posteriores a la ocurrencia de la inundación en la zona específica, el único insumo disponible fue la imagen de radar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Morelli Tucci C. (2007). Gestión de Inundaciones Urbanas. Porto Alegre.
- [2] Goyeneche Herrera J. (2012). Plan de Desarrollo Municipal 2012-2015. Municipio de Paz de Río. Boyacá.
- [3] Chuvieco E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial (2 ed.). Madrid. Ediciones Rialp, S.A, pp. 25-42.
- [4] Municipio Paz de Río. Consultada en marzo del 2013. En: <http://pazderio-boyaca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mlxx-1-&m=f>.
- [5] Camacho Chávez M. (2012). Sinergismo de Imágenes. Notas de clase. Bogotá.
- [6] Chuvieco E. (2008). Teledetección Ambiental “La Observación de la Tierra desde el Espacio” (3 ed.). Barcelona. Editorial Ariel, S.A.
- [7] Muñoz Montoya C. (1999). Modelos Digitales de Elevación, Aplicaciones desde Surfer. Cali. Universidad del Valle.
- [8] Soldano A., Giraut M y Goniadzki D. (2007). Mapa de susceptibilidad urbana ante inundaciones caso: ciudad de Goya, provincia de Corrientes. En: XII congreso de la asociación española de teledetección.
- [9] Hudson P y Colditz R. (2003). Flood delineation in a large and complex alluvial valley, lower Pánuco basin, México. En: Journal of Hydrology, 280, pp. 229-245.
- [10] Rebolledo W., Vergara W., Guevara V., Yépez S., Reyes A y Arismendi J. Sistema de información geográfica para la gestión de riesgo por deslizamiento de tierras e inundación del eje Araira – El Salmerón del municipio Zamora del estado Miranda. Fundación instituto de ingeniería, centro de procesamiento digital de imágenes.