

Contribución para el conocimiento del escenario de riesgo mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales del río Cauca en el sector de Villa Paz, municipio de Jamundí

Angie Vanessa Guevara Garcés
angie.guevara01@usc.edu.co

Tutor.
PhD. Andrés Felipe Melo
Cotutor:
PhD. Juan Guillermo Lozano Arango

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Especialización en Sistemas de información geográfica

Resumen

El río Cauca se caracteriza por ser sinuoso y aluvial, lo que implica una gran movilidad de su cauce; la sinuosidad de un cauce es el mecanismo por el cual el río ajusta su pendiente cuando el valle por donde fluye es mayor que la necesaria, durante sus crecidas favorecen la ocurrencia de inundaciones de los terrenos aprovechados para actividades socioeconómicas y caseríos establecidos que se encuentran en las márgenes del río ocasionando afectaciones al territorio. (López J. D., 2011) Se realizó una contribución a la identificación de escenarios de riesgo, análisis y evaluación del riesgo en el corregimiento de Villa Paz, y se aportó en el proceso de Conocimiento del Riesgo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre, se presenta un trabajo de investigación, cuyo objetivo general era analizar la dinámica del río Cauca en el corregimiento de Villa Paz municipio de Jamundí, mediante observación multitemporal de imágenes satelitales para la identificación de escenarios de riesgo. Para ello, mediante las técnicas de teledetección actuales incorporadas a los sistemas de información geográfica se crearon mapas temáticos con información de imágenes de satélites de la NASA Y fotografías aéreas del Servicio Geológico de Estados Unidos USGS; provenientes de sensores como Modis, Globe y Landsat, obtenidos por medio de la plataforma Google Earth Pro, y se realizó un análisis de la dinámica del río Cauca en diferentes espacios de tiempo, midiendo los rangos y tasas de desplazamiento anual de sus orillas, y estableciendo los vectores de movimiento del desplazamiento del cauce del río, también se realizó un análisis sobre la amenaza de inundación en la zona de estudio. Los resultados obtenidos en este trabajo abren perspectivas muy positivas para la aplicación de la teledetección en la orientación de estrategias para el monitoreo de los riesgos y en los procesos de formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de la gestión del riesgo.

Palabras clave: Sistemas de información geográfica, análisis multitemporal, Gestión del riesgo, inundación.

Abstract

The Cauca River is characterized by being sinuous and alluvial, which implies a great mobility of its channel; The sinuosity of a channel is the mechanism by which a river adjusts its slope when the valley through which it flows is greater than necessary, during its floods they favor the occurrence of floods of the lands used for socioeconomic activities and established villages that are in the banks of the river causing damage to the territory. (López JD, 2011) A contribution was made to the identification of risk setting, risk analysis and evaluation in the village of Villa Paz, and contributed to the Risk Awareness process that feeds the risk reduction and risk reduction processes. Disaster management, a research work is presented, the general objective of which was to analyze the dynamics of the Cauca River in the village of Villa Paz, Jamundí municipality, through the multitemporal observation of satellite images to identify risk setting. To do this, using current remote sensing techniques incorporated into geographic information systems, thematic maps were created with information from NASA satellite images and aerial photographs from the United States Geological Survey USGS; from sensors such as Modis, Globe and Landsat, obtained through the Google Earth Pro platform, and an analysis of the dynamics of the Cauca River was carried out in different periods of time,

measuring the ranges and rates of annual displacement of its banks, and Establishing the movement vectors for the displacement of the riverbed, an analysis was also carried out on the threat of flooding in the study area. The results obtained in this work open very positive perspectives for the application of remote sensing in the orientation of strategies for risk monitoring and in the processes of formulating, executing, monitoring and evaluating risk management.

Keywords: Geographic Information Systems, multi-temporal analysis, Risk management, flood.

1 Introducción

Los daños en la propiedad en Colombia, la infraestructura y los medios de subsistencia siguen en aumento y evidencian las condiciones de vulnerabilidad creciente frente a los riesgos de desastres. Los desastres por fenómenos naturales son el resultado de un inapropiado desarrollo que no considera la relación sociedad-naturaleza, un evento que evidencio la falta de buen modelo de desarrollo sostenible fue las inundaciones de la pasada ola invernal en los años 2010-2011 que en todo el país, causaron grandes pérdidas agrícolas y de infraestructura, y dejaron una importante afectación de centros poblados. Debido a estas afectaciones directamente sufridas por las comunidades, surge en Colombia el 24 de Abril en el año 2012 la ley 1523.

La Gestión del Riesgo de Desastres De acuerdo a la Ley 1523 de 2012, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. La orientación de La Gestión del Riesgo de Desastres permite implementar la gestión en un sentido transversal, partiendo desde el conocimiento del riesgo de desastres para tomar medidas correctivas y prospectivas de reducción del riesgo y fortalece el proceso de manejo de desastres, que conduce a una transformación del escenario de riesgo a un territorio seguro y ambientalmente sostenible, tal como lo induce la ley en los objetivos del Sistema Nacional en su Artículo 6o y que se muestra en la siguiente figura:

Figura 1. Procesos de la gestión del riesgo



Fuente: Elaboración propia con base a la ley 1523 de 2012

Es así cuando el uso de la Teledetección y su implementación en los Sistemas de Información Geográficos - SIG se presentan como herramientas útiles que permite capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar datos con la información geográficamente referenciada, con el objetivo de identificar y caracterizar escenarios de riesgos.

Dado a lo anterior, y con el propósito de realizar un aporte al conocimiento de un escenario de riesgo y contribuir en el proceso de plan de gestión del riesgo, con este trabajo se pretende identificar y caracterizar un escenario de riesgo e identificar la vulnerabilidad y amenaza de la comunidad del corregimiento de Villa Paz – Vuelta de las Córdoba en el municipio de Jamundí, departamento del Valle del Cauca mediante análisis multitemporal, con el fin de contribuir a reducir la afectación de la población, el impacto económico del desastre y mejorar la relación sociedad-naturaleza.

2 Antecedentes

La ubicación geográfica y la ocurrencia e impactó de los fenómenos naturales a través de la historia de nuestro país, como el terremoto de Tunjuelo en la ciudad de Bogotá en 1644, terremoto de Cúcuta en 1875, terremoto de Tumaco en 1979, terremoto de Popayán en 1983, La tragedia de Armero en 1985, el deslizamiento de Villatina en la ciudad de Medellín en 1987, la sequía de 1992 conocida como la crisis energética, el terremoto de Armenia en 1999, el desbordamiento de Girón en 2005; donde las fuertes lluvias ocasionaron inundaciones, deslizamientos y avalanchas, el desbordamiento de Belalcázar (Cauca) en 2008 por el crecimiento de la quebrada Cañón del Salado, la ola invernal en el 2010 – 2011, la catástrofe de Mocoa en 2017 durante una temporada de lluvias que provoco el desbordamiento de los ríos Mocoa, Sangoya y Mulato (Veloza, 2020), entre otros desastres naturales, ocasiona que se considere a Colombia un país expuesto a casi la totalidad de los fenómenos naturales sin contar con aquellas amenazas de tipo antrópico. Por otra parte, el cambio climático y el aumento en la recurrencia del denominado fenómeno de La Niña han traído como efecto lluvias más intensas y abundantes en el departamento del Valle del Cauca, período al que se le ha dado el nombre de “ola invernal”. Dicha intensificación de las lluvias ha generado fuertes incrementos en los niveles y el caudal transportado por el río Cauca y sus tributarios, lo que, a su vez, ha provocado severas inundaciones, socavación de las orillas del río, daños y pérdidas incalculables, afectando la vida de miles de vallecaucanos, y dejando una importante afectación de centros poblados. A nivel del departamento, de acuerdo al Convenio de Asociación No 001 de 2013 entre ASOCARS - Universidad del Valle - Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), uno de los casos más críticos y preocupantes se presenta en el corregimiento de Villa Paz en el municipio de Jamundí, esta zona ha sido afectada por sucesivos cortes o formaciones de meandros, generando procesos de socavación del lecho del río bastante pronunciados, representando una vulnerabilidad en la zona.

Las pérdidas socioeconómicas que han generado estas amenazas en la población el gobierno Colombiano ha expresado su preocupación a través de normas y leyes nacionales, como el Fondo Nacional de Calamidades creado un año después del terremoto de Popayán, la Ley 46 de 1988 y Decreto 919 de 1989, las cuales determinan las funciones y responsabilidades de cada uno de los actores del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres. Con el Decreto 93 de 1998 se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres – PNPAD (Vallejo, 2008) Las inundaciones de la pasada ola invernal en los años 2010-2011 que en todo el país, causaron grandes pérdidas agrícolas y de infraestructura, y dejaron una importante afectación de centros poblados evidenciando la falta de buen modelo de desarrollo sostenible. Debido a estas afectaciones directamente sufridas por las comunidades, surge en Colombia el 24 de abril en el año 2012 la ley 1523.

El Artículo primero, parágrafo 1o de la Ley 1523 de 2012 explica que “La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos,

mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.”. De allí, se genera una consideración fundamental proyectando la gestión no como un producto, sino como un proceso. Iniciando por la identificación y caracterización de escenarios de riesgo, luego a la reducción del riesgo y finalizando en la ejecución de la respuesta y la recuperación.

Las disposiciones actuales para lograr la prevención de sucesos, están dadas por la implementación de tecnologías que permitan brindar información oportuna para la toma de decisiones, el uso de Sistemas de Información Geográfica resulta crucial y necesario en el análisis de todas las etapas o fases de desastres, y que deben ser aplicados para generar mayores beneficios en la planificación del territorio, prevención y mitigación. (Herrera, 2005). La teledetección espacial permite la disponibilidad de imágenes satelitales, las cuales pueden ser analizadas usando Sistemas de Información Geográfica para exponer los cambios geomorfológicos ocurridos en una zona durante un amplio período de tiempo, realizando análisis multitemporales como una herramienta importante para la identificación y caracterización de escenarios de riesgo, así como en las tendencias que serán de utilidad para un mejor estudio y monitoreo del riesgo

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Analizar la dinámica del río Cauca en el corregimiento de Villa Paz, municipio de Jamundí, mediante observación multitemporal de imágenes satelitales para la identificación de escenarios de riesgo.

3.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de imágenes y temática existente de la zona de Villa Paz.
- Realizar un análisis multitemporal de imágenes de la zona de Villa Paz.
- Identificar la exposición a la amenaza de la población de Villa Paz.

4 Estado del arte

4.1 Gestión del riesgo

La Gestión del Riesgo de Desastres en Colombia de acuerdo a la Ley 1523 de 2012, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, con el fin de asegurar los derechos, la seguridad territorial, mejorar la calidad de vida e intereses colectivos de las poblaciones y las comunidades en riesgo, siendo esta responsabilidad de todas las autoridades y los habitantes del territorio Colombiano.

4.2 Conceptos básicos para la Gestión Local de los Riesgos de Desastres

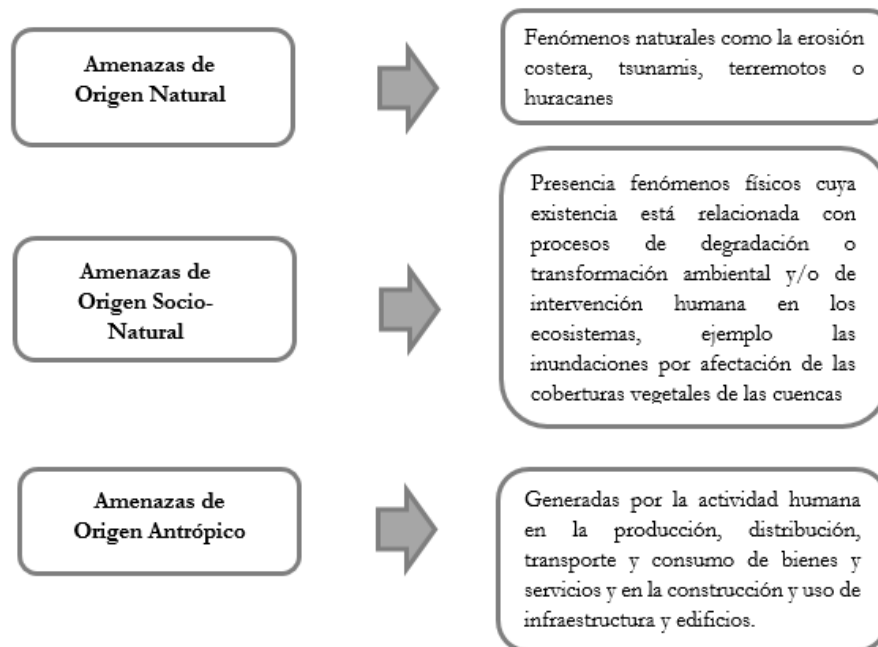
4.2.1 El riesgo

El riesgo se entiende como el conjunto de daños y/o pérdidas sociales, económicas y ambientales que pueden llegar a presentarse en un espacio geográfico y periodo de tiempo determinados. Existen factores de riesgo externos e internos que definen las características y el nivel de los daños y/o las pérdidas que pueden presentarse; estos factores son amenaza y vulnerabilidad. (DGR, 2012)

4.2.2 Amenaza

La amenaza es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales. (Ley No. 1523 de 2012). Dependiendo del tipo de amenaza, sus características y manifestación se clasifican en:

Figura 2. Clasificación de la amenaza



Fuente: Elaboración propia con datos del (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020)

4.2.3 Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos (Ley 1523 de 2012).

4.2.4 Emergencia

La emergencia es la situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general (Ley 1523 de 2012).

4.2.5 Desastre

El desastre es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción (Ley 1523 de 2012).

4.2.6 Conocimiento del riesgo

El conocimiento del riesgo es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Ley 1523 de 2012).

4.2.7 Escenario de riesgo

El escenario de riesgo son fragmentos o campos delimitados de las condiciones de riesgo del territorio presentes o futuras, que facilitan tanto la comprensión y priorización de los problemas como la formulación y ejecución de las acciones de intervención requeridas. Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización y/o análisis de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre las causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, la identificación de los principales factores que requieren intervención, así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir en la planeación, ejecución y control de las líneas de acción. (FUNAGUA, 2018)

4.3 Inundación ribereña.

El estudio de la dinámica fluvial es un tema que desde siempre ha tenido relevancia, pues su conocimiento se aplica en muchas situaciones de tipo práctico, como por ejemplo en la toma de decisiones de tipo ingenieril, en la evaluación del

riesgo por erosión de orillas e inundaciones, en la sedimentación de embalses, en la calidad del hábitat para las especies que viven en las riberas de los ríos, en la restauración de ríos, en la definición del espacio fluvial requerido para minimizar el impacto de las inundaciones en una cuenca, etc. (Chávez, 2015)

La inundación ocurre cuando las aguas de los ríos, riachuelos y galerías pluviales salen del lecho del escurrimiento debido a la falta de capacidad de transporte de uno de estos sistemas y pasa a ocupar espacio que la población utiliza para vivienda, transporte (calles, autopistas y paseos públicos) recreación, comercio, industria entre otros. Las condiciones meteorológicas e hidrológicas propician la ocurrencia de inundaciones (Tucci, 2006)

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo por el cual un río ajusta su pendiente cuando el valle por donde fluye es mayor que la necesaria. La configuración y geometría de un cauce con meandros están determinadas por procesos de erosión y sedimentación actuando simultáneamente (López, 2011). Las inundaciones y la erosión fluvial son fenómenos naturales que a menudo causan problemas al hombre y a las comunidades como la del corregimiento de Villa Paz, pero debido a las facilidades y ventajas que hacen atractivas la fundación de comunidades en las márgenes de los ríos, muchos municipios colombianos se han desarrollado a partir de caseríos establecidos en sitios no aptos, desde el punto de vista geológico y geomorfológico, esta ubicación y la dinámica del río son responsables de dos puntos de mayor riesgo, por un lado, la inundabilidad con periodos de retorno cortos, y por otro en la fuerza erosiva de la corriente, que incide directamente en las orillas en las que se cimientan estos municipios Colombianos, donde sus habitantes han visto aproximarse los cauces a sus territorios y han sufrido inundaciones en cada crecida importante del río como ha sido el caso del corredor del río Cauca.

4.4 Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, herramientas de los análisis multitemporales.

La teledetección es la técnica de obtener información acerca de objetos tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados para adquirir los datos estén en contacto directo con el objeto, permitiendo su posterior tratamiento en una determinada aplicación. Un aporte importante de la teledetección a la gestión del riesgo, es la capacidad de seguir procesos dinámicos en una dimensión temporal, ya que permite recopilar e integrar datos de procedencia satelital. Esta dinámica puede ser analizada a partir de sucesos esporádicos (erupciones e incendios) o procesos continuos (deforestación) en ciclos variados (horas, meses o años) (Chuvienco, 1998). Por otra parte existe una característica sumamente importante: la información de imágenes de satélite es aportada de forma global, es decir es una fuente de información que, prácticamente, ha registrado datos de todo el planeta de forma ininterrumpida durante los últimos 40 años; lo que la convierte en una fuente de información de valor incalculable. (Arango, 2016)

A partir de las herramientas de teledetección se crean los datos que se incorporan a los Sistemas de Información Geográfica con la combinación de atributos (espaciales y alfanuméricos) almacenados y manipulados (Buzai & Humacata, 2016) utilizándolos para la generación de mapas temáticos y análisis morfológico multitemporal de los ríos, midiendo los rangos y tasas de desplazamiento anual de sus orillas, y estableciendo los vectores de movimiento del desplazamiento del cauce de los ríos, también se enfocan en la orientación de estrategias para el monitoreo de los riesgos.

5 Metodología

Durante el desarrollo del proyecto, se obtuvo información de datos abiertos por diferentes entidades y se empleó solo la información de la zona de estudio:

5.1 Localización

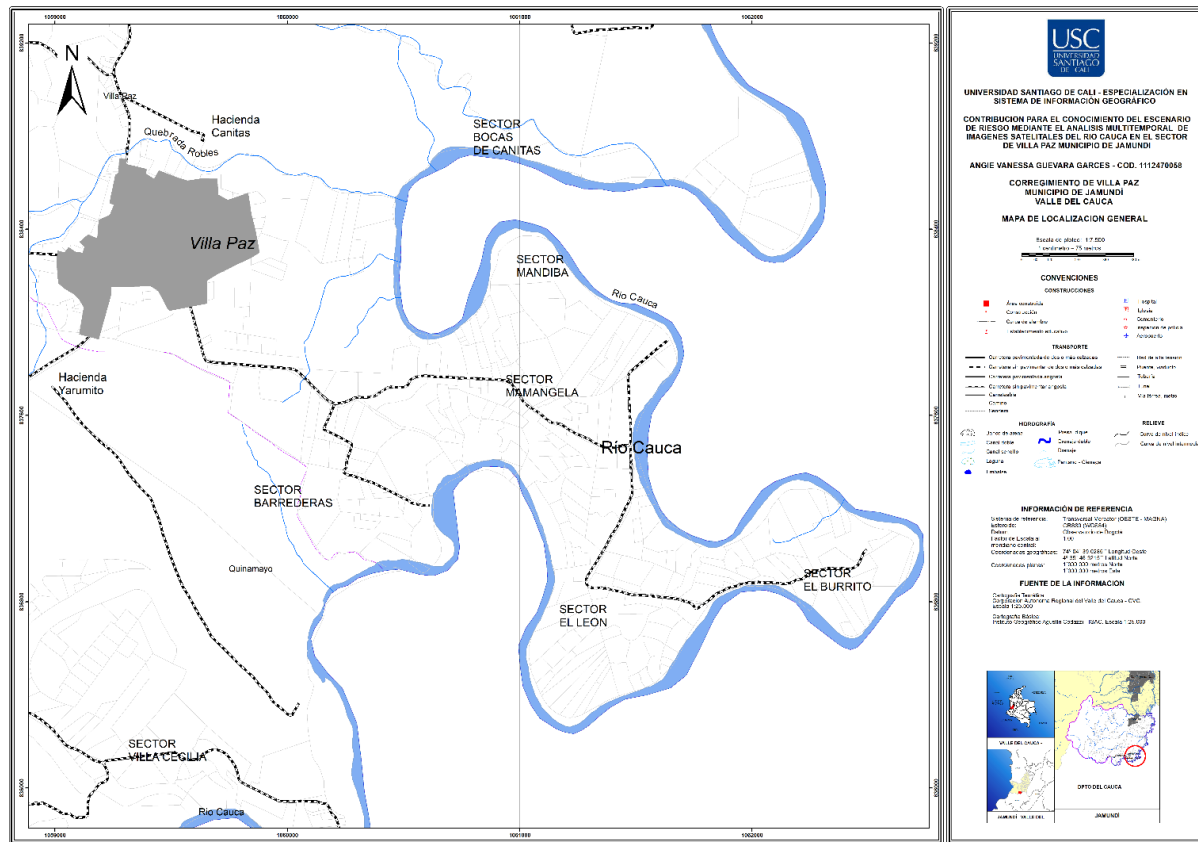
El corregimiento de Villa Paz se encuentra al sudeste del Valle del Cauca sobre la margen izquierda del río Cauca, limitando con el departamento del Cauca, en la zona plana a 14.800 metros de la cabecera municipal de Jamundí. Este corregimiento limita al norte con el Paso de la Bolsa, al sur con el río Cauca, al suroccidente con el corregimiento de Quinamayó, y al suroriente con el río Cauca. Donde el promedio de habitantes es de 5.000 personas, Se encuentra a una altitud de 970 m s.n.m el clima de este corregimiento es cálido con una temperatura promedio de 24°C, y la principal actividad económica es la agricultura

Las Fuentes de empleo e ingresos más representativas de la zona son la agricultura, fincas tradicionales donde se cultivan plátano, cacao y café, Minifundios con cultivos de plátano, maíz, frutales y hortalizas. También existe cría de animales domésticos, la actividad piscícola y avícola. Las tierras de grandes haciendas antes dedicadas a la explotación extensiva de ganado y arroz, hoy están siendo cultivadas con caña de azúcar, lo que ha ocasionado la disminución notable de los empleos en la zona. (Alcaldía de Jamundí, 2020). De acuerdo a lo conversado con la Líder Social Ingrid Julieth Rivas y otros habitantes del territorio quienes también asistieron a las jornadas de Participación Ciudadana para la construcción de el Plan de Desarrollo del municipio de Jamundí 2020 -2023; entre las principales problemáticas del corregimiento están la perdida de la riqueza natural, la perdida de las vocaciones agrícolas, el mal funcionamiento del acueducto que genera inundaciones, poco apoyo a la comunidad y perdida de tierras por la erosión de las orillas ocasionadas por el avance del río Cauca en su margen izquierda. Estas problemáticas han provocado un estancamiento en el etnodesarrollo del corregimiento.

El análisis multitemporal se inició con recolección de información en algunos documentos como: Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019 denominado Jamundí una ciudad para vivirla, el Plan de Desarrollo Municipal 2020 – 2023, el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Jamundí 2002, cartografía del IGAC, información raster del portal GeoCVC, mapas temáticos del municipio de Jamundí, imágenes satelitales (1969, 2012, 2015 y 2018) y fotografías aéreas del departamento del Valle del Cauca durante la ola invernal del 2010 - 2011.

El área de estudio se definió entre las coordenadas 3° 8'13.34"N 76°32'18.39"O, 3° 8'14.09"N 76°30'41.95"O, 3° 6'49.84"N 76°30'37.51"O y 3° 6'53.56"N 76°32'37.40"O, utilizando mapas de la plataforma de Google Earth Pro, que superpone imágenes Satelitales de la NASA y fotografías aéreas de la USGS. Se utilizó la proyección cartográfica Transverse Mercator OESTE - MAGNA y el Datum WGS 84, con el objetivo de que existiera concordancia con la cartografía manejada actualmente en Colombia.

Ilustración 1. Mapa de localización corregimiento de Villa Paz municipio de Jamundí



5.2 Procesamiento de imágenes

Las imágenes tratadas en esta proyecto fueron tomadas de la plataforma de Google Earth Pro, que a su vez utiliza imágenes satelitales de la NASA y fotografías aéreas del United States Geological Survey (USGS); provenientes de sensores como Modis, Globe y Landsat, en diferentes épocas, de las cuales se capturaron imágenes que contaran con nubosidad bajas y de buenas resolución espacial. Para ello fue necesario la ubicación de cuatro puntos geográficos, esto dado a que estas imágenes no permiten su descarga, por ende se genera una captura de la zona requerida y se guardan como imagen sin formato espacial, como se indica en la figura 3, dado a estas marcas o puntos de referencia se permite generar la georreferenciación de las imágenes y de esta forma poder llevarlas a un sistema de coordenadas, finalmente en software ArcGis 10.5 se logró la georreferenciación de cada imagen y obtener así una imagen geolocalizada.

Figura 3 Imagen con marca de georreferenciación

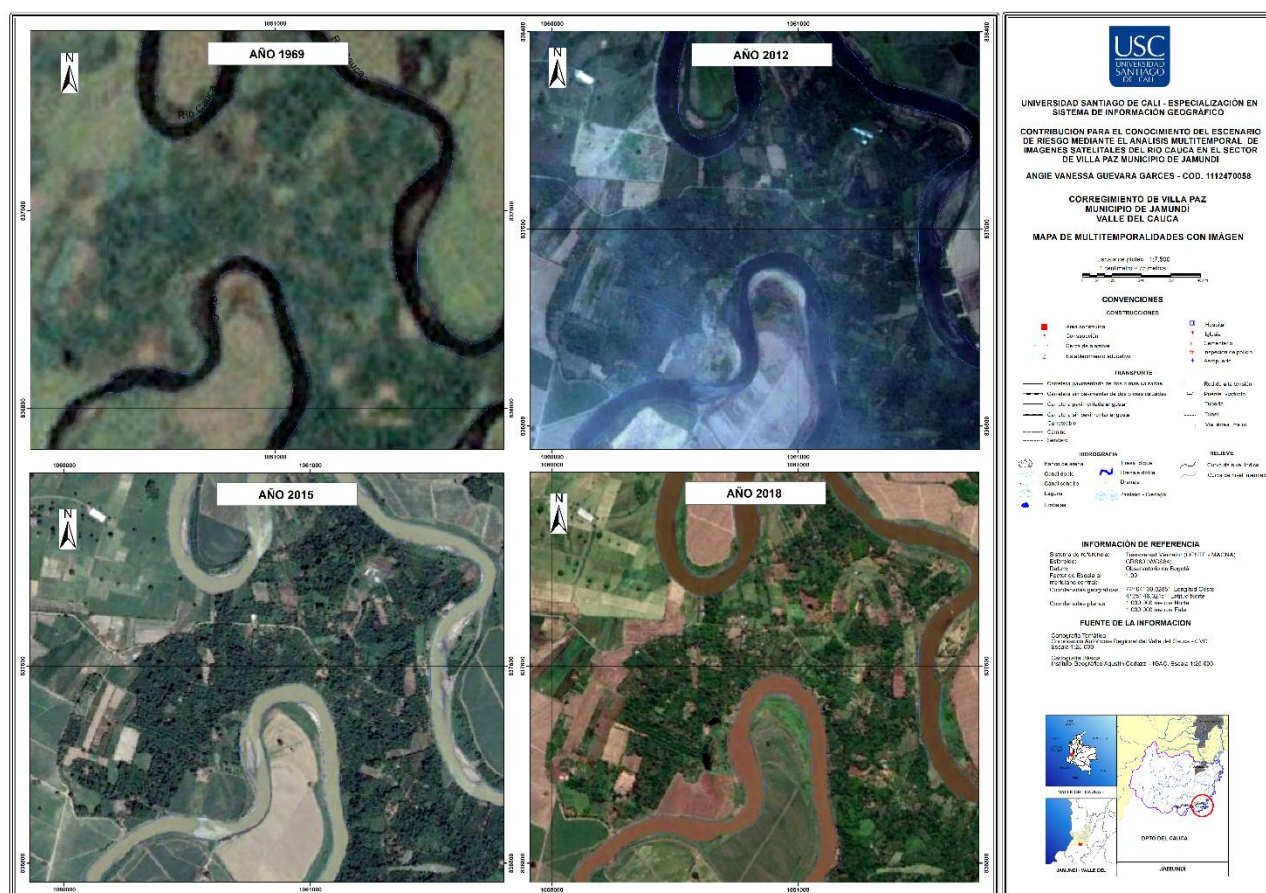


Fuente: Google Earth Pro

5.3 Análisis multitemporal

Se realizó una comparación de imágenes previamente clasificadas de manera independiente. El requisito fue tener elaborada la misma leyenda temática para las cuatro fechas, con el propósito de que sean realmente comparables. A partir de esto, se generó un dato espacial vectorial multitemporal de cambios, en donde se presentan las transiciones que se producen entre los periodos 1969, 2012, 2015 y 2018, lo que permitió observar, no sólo las zonas de cambio sino también los rangos y tasas de desplazamiento anual de sus orillas durante estos periodos. Se hizo un chequeo con la información del Plan de Desarrollo Municipal de Jamundi 2020-2023 permitiendo validar la información de la dinámica actual del río Cauca. La detección de cambios en su orilla y su erosión de la margen izquierda del río en la zona de estudio y uso del suelo de la zona.

Ilustración 2. Mapa imágenes multitemporales años 1969, 2012, 2015 y 2018 resolución espacial 0.25 m/píxel

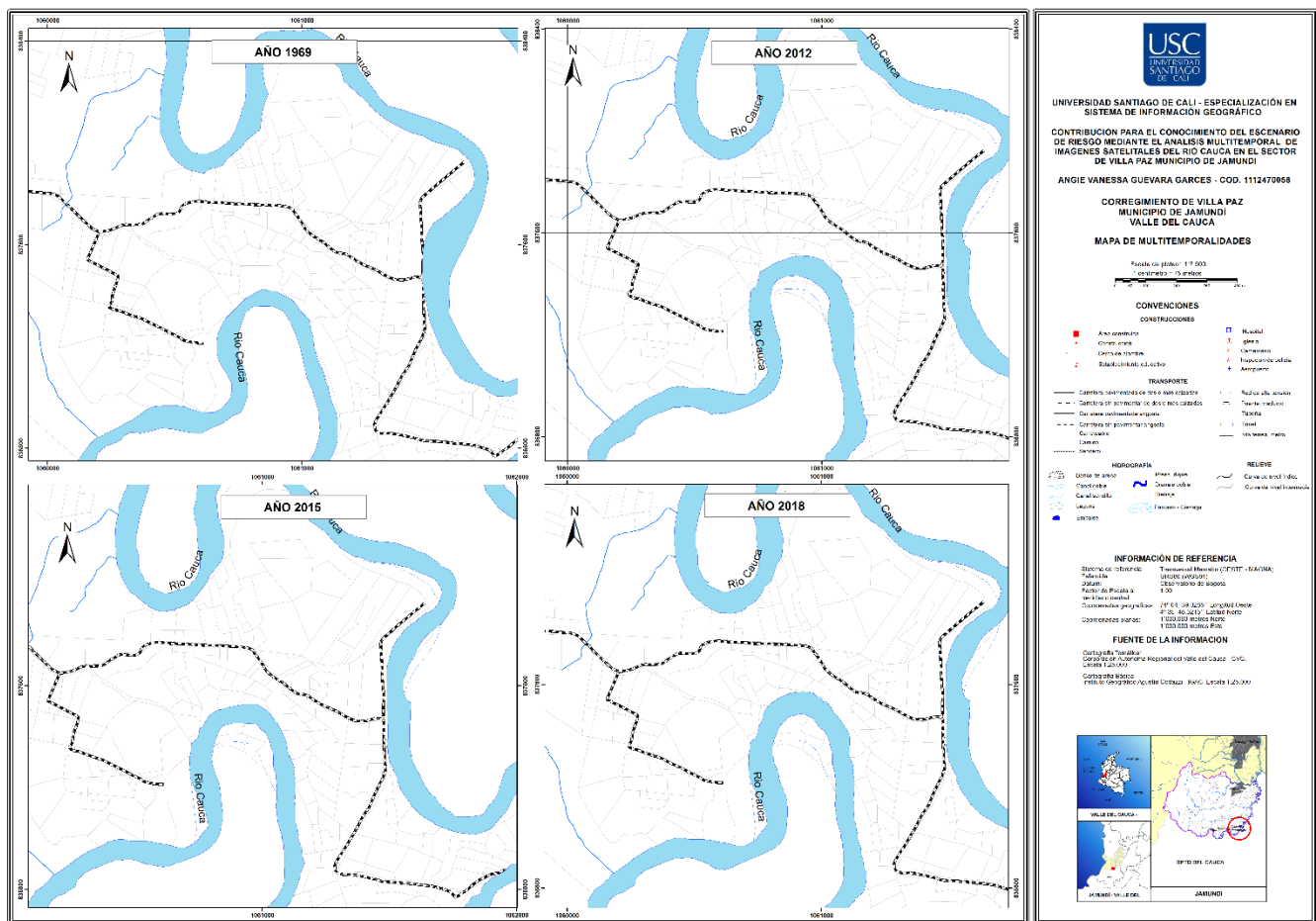


Fuente: Elaboración propia con imágenes obtenidas de Google Earth Pro

5.4 Vectorización de la geoforma del río para realizar el mapa de amenaza por inundación

El diagnóstico de las inundaciones por desbordamiento del Río Cauca en el sector de Villa Paz se realizó mediante la recopilación, superposición y análisis de información digitalizada a través de los años por la Corporación autónoma regional del Valle del Cauca- CVC, correspondiente a las áreas inundadas durante diferentes eventos de creciente ocurridos en esta zona del valle geográfico del río Cauca, y que se encuentra como datos abiertos Geográficos en el portal de GeoCVC.

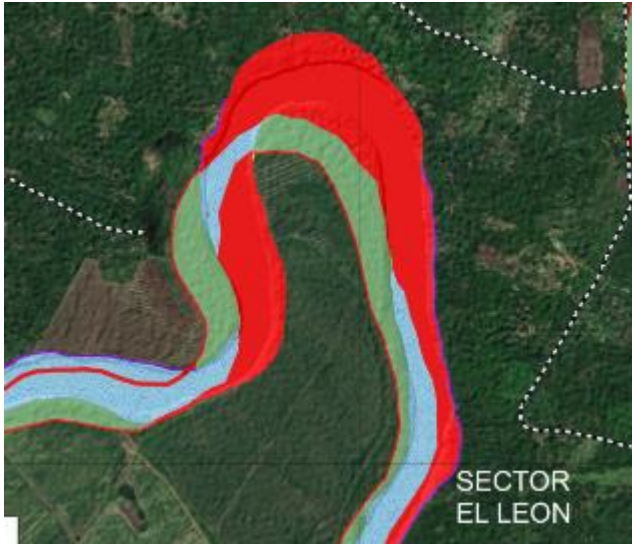
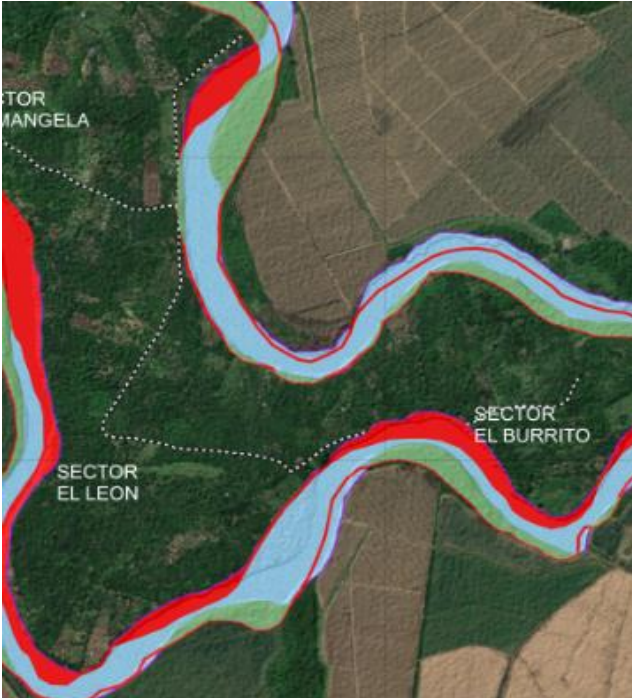
Mediante el software de ArcGis 10.5 se realiza la superposición de las capas se procedió a elaborar los mapas de amenaza por inundación teniendo en cuenta tres criterios: el primero relacionado con la ubicación e identificación de las corriente principales y las planicies aluviales, el segundo la poca inclinación del terreno, identificada en los bajos valores de la pendiente que propicia la concentración de agua en ella y el tercero con la morfología de las llanuras la cual se caracteriza con las curvaturas del terreno, utilizando la herramienta *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology*. Es importante anotar que las áreas inundadas fueron dibujadas sobre la cartografía existente a partir de la información raster obtenida de la CVC e interpretadas en alineación con los criterios de clasificación de la amenaza por inundaciones establecidos en el documento “Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de Sonsón” (CORNARE- Gobernación de Antioquia, 2012).

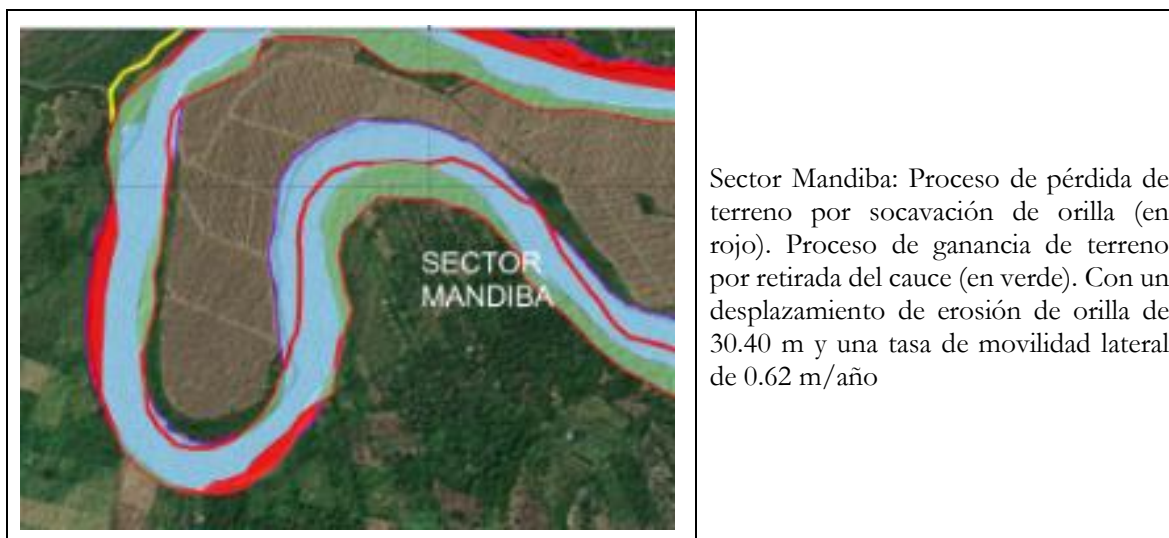


La dinámica del río de acuerdo con los resultado del análisis del movimiento lateral de la margen izquierda frente al área en estudio, se puede concluir que su movimiento muestra procesos de socavación lateral de ida y vuelta, y de variada intensidad a lo largo del trayecto, con tasas de movilidad interanuales importantes durante el período estudiado, lo cual se ha manifestado, en algunos sectores, con la pérdida de amplias franjas de terreno como el caso del sector Mamangela, y en otros sectores, con la ganancia de áreas de terreno que se van adecuando para la agricultura como el sector Mandiba. A pesar de las importantes magnitudes en el desplazamiento lateral presentadas anteriormente, hay que poner de manifiesto que el cauce del río Cauca en su historia ha presentado un trazado meándrico, con canales abandonados y transporte de sedimentos que forman barras e islas variables en el tiempo, por lo que, de forma general, se puede decir que en el tramo en estudio el río Cauca por su margen izquierda viene presentando cambios substanciales, según el análisis de movimientos efectuado con información de los últimos 49 años, ya que la configuración del río ha cambiado en el tiempo y ha ido erosionando directamente en la orilla de la margen izquierda enseñando un trazado meándrico como se muestra en la ilustración 4.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 1 Presenta el cálculo del desplazamiento lateral máximo en metros para los diferentes sectores seleccionados, y la tasa de movilidad media máxima anual obtenida. Durante la época de registros (1969- 2018), en el área de estudio, las zonas con los movimientos laterales de la margen izquierda del río Cauca de mayor importancia son:

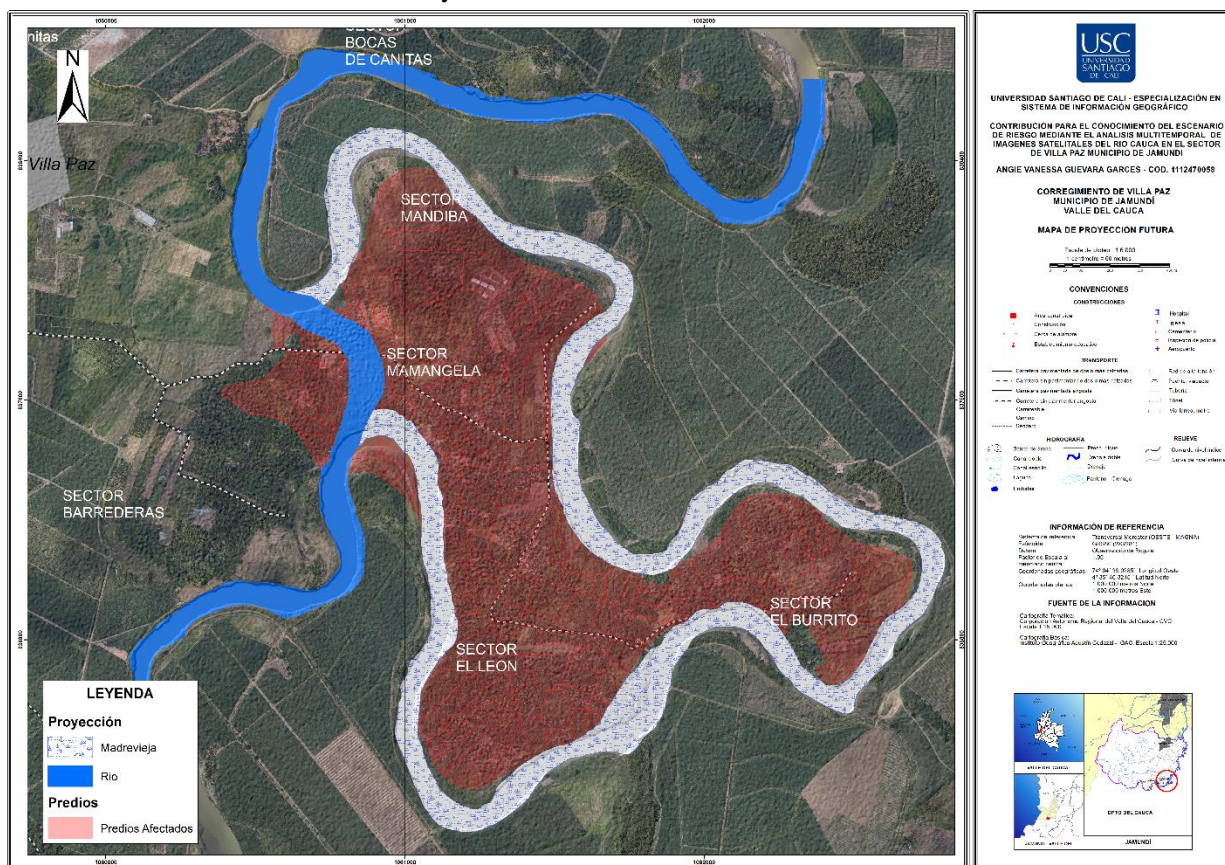
Tabla 1. Desplazamiento lateral máximo (m/periodo) y Tasa de movilidad lateral máxima (m/año) de la margen izquierda del río Cauca, frente a la zona en estudio.

	Sector Mamangela: Proceso de pérdida de terreno por socavación de orilla (en rojo). Proceso de ganancia de terreno por retirada del cauce (en verde). Con un desplazamiento de erosión de orilla de 157.63 m en la margen izquierda y una tasa de movilidad lateral de 3.22 m/año
	Sector El León – El Burrito: Proceso de pérdida de terreno por socavación de orilla (en rojo). Proceso de ganancia de terreno por retirada del cauce (en verde). Con un desplazamiento de erosión de orilla de 83.10 m en la margen izquierda y una tasa de movilidad lateral de 1.69 m/año



Los análisis del movimiento lateral de la margen izquierda del río Cauca frente a la zona de estudio presenta la configuración y geometría de un cauce con meandros que está siendo determinada por procesos de erosión y sedimentación actuando simultáneamente, la dinámica muestra procesos de socavación lateral de ida y vuelta y de variada intensidad, con tasas interanuales bastante altas durante los períodos de estudio, y que incluyen la pérdida continua de amplias franjas de terreno al interior de la zona de estudio. Al momento de formarse un meandro en un proceso de socavación, haría poner en peligro a la comunidad allí asentada y se perdería importantes recursos económicos provenientes de la agricultura, además de la afectación en su vía de acceso principal afectando así 196 predios. En la Ilustración 5 se enseña una proyección del escenario en el momento de la formación de un meandro en la zona de estudio.

Ilustración 5. Proyección a futuro del trazado meándrico.

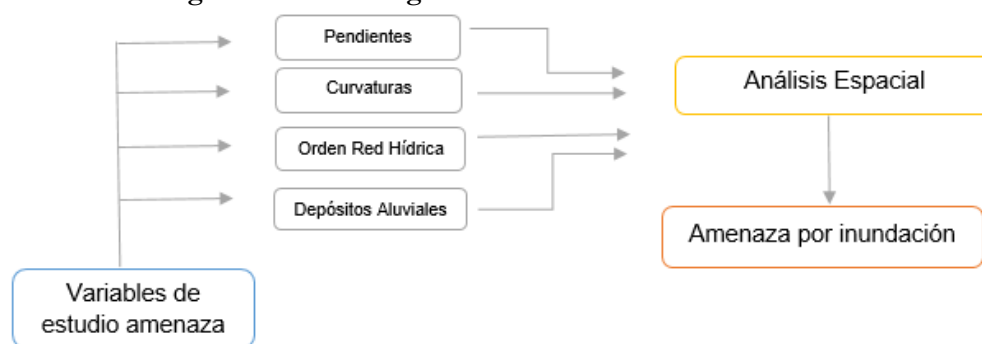


La Ilustración 5 presenta la proyección a futuro del cauce del río en el que se puede inferir que la erosión del cauce desaparecería un área total de 4,75 Ha, se vería afectada un área de 150,02 Ha que corresponde a la zona de estudio, además se afectaría los predios que se encuentran a la margen izquierda del río, al dejarlos sin caudal para regar sus haciendas.

6.2 Mapa de la amenaza por inundaciones generadas por crecientes del río Cauca

La clasificación de los criterios de la amenaza por inundaciones se hicieron en alineación con el documento “Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de Sonsón” (CORNARE- Gobernación de Antioquia, 2012), el cual estableció tres criterios para la elaboración de los mapas de amenaza por inundación: el primero lo relacionan con la ubicación e identificación de las corriente principales y las planicies aluviales, el segundo con la poca inclinación del terreno, identificada en los bajos valores de la pendiente que propicia la concentración de agua en ella y el tercero con la morfología de las llanuras la cual se caracteriza con las curvaturas del terreno. La intercepción de estos mapas dio como resultado la susceptibilidad a inundación de las principales corrientes, que es equivalente al mapa de amenazas, en la metodología empleada los datos de recurrencia deben introducirse no como puntos sino como manchas o áreas de antiguas inundaciones.

Figura 4. Metodología de análisis de zonas inundables



Fuente: (CORNARE- Gobernación de Antioquia, 2012)

El primer análisis realizado, estuvo direccionado en la identificación del orden de los afluentes, para ello se utilizó el modelo digital de terreno de la zona de estudio (MDT) de 2.5 metros de resolución espacial, adquirido en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), obteniendo el orden de la red hídrica, el modelo de pendientes y el modelo de curvatura con la herramienta ArcGis 10.5. En este proceso, se clasificó siguiendo la metodología del autor.

Tabla 2. Clasificación y relación orden de la red de drenaje y el tamaño del buffer

ORDEN	TIPO DE AFLUENTE	TAMAÑO BUFFER
1	Quebradas entre 5 - 10 Km	80 m
2	Quebradas Importantes	150 m
3	Ríos Importantes Subcuencas	250 m
4	Ríos Cuencas	400 m

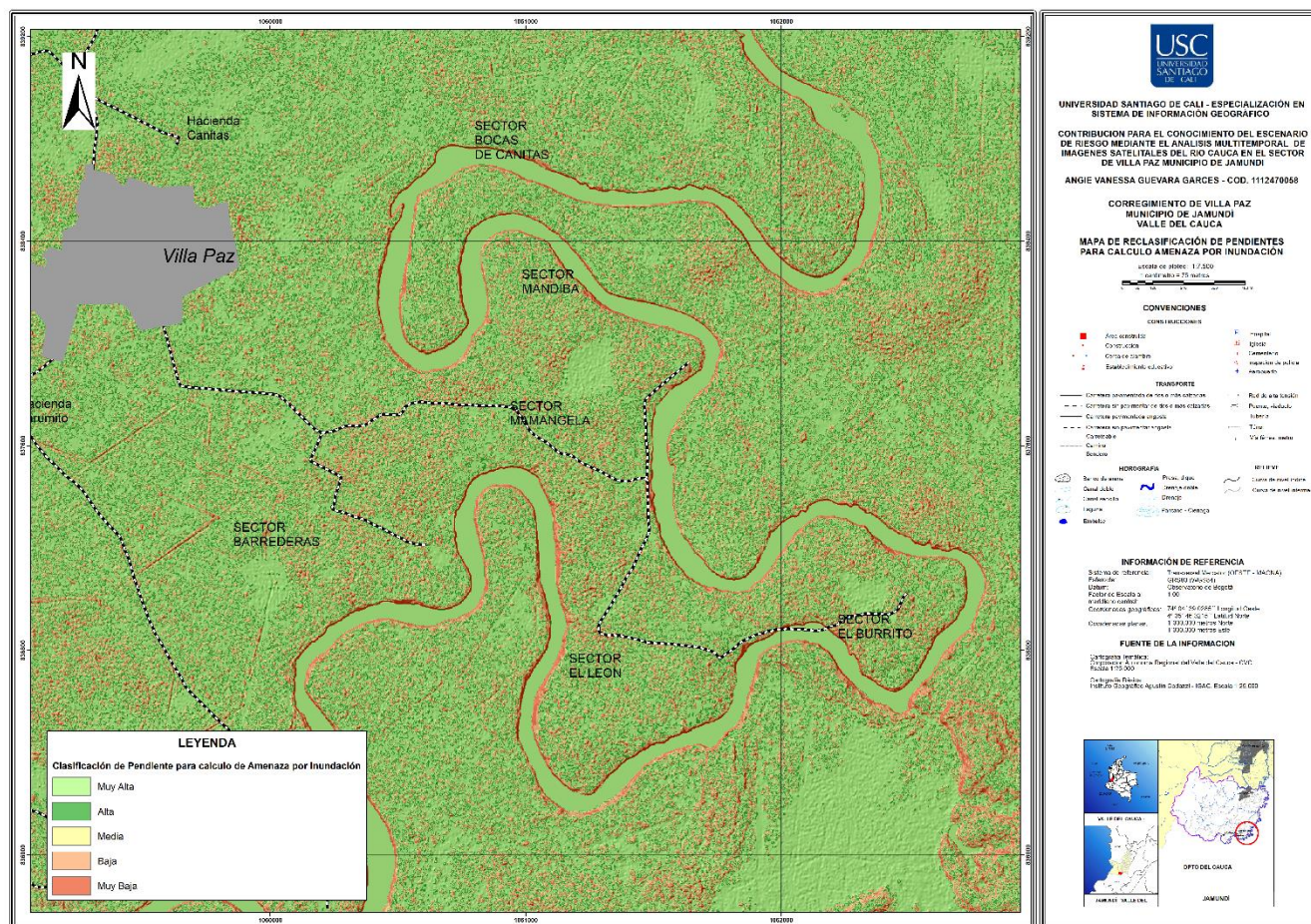
ORDEN	TIPO DE AFLUENTE	TAMAÑO BUFFER
5	Río Cauca	700 m

El segundo criterio, para identificar las zonas inundables, se partió del concepto de que las zonas del cauce donde el flujo de agua sobrepasa su banca llena y genera reboce, que corresponde a áreas de bajo gradiente y de baja inclinación. Por ello las zonas de circulación de creciente se clasificaron con base en los rangos de pendiente, en la Tabla 3 se muestra los intervalos obtenidos.

Tabla 3. Reclasificación de pendientes para cálculo amenaza por inundación.

INTERVALO	CLASIFICACIÓN
0 - 3	Muy Alta
3 - 5	Alta
5 - 7	Media
7 - 12	Baja
> 12	Muy Baja

Ilustración 6. Mapa de pendiente

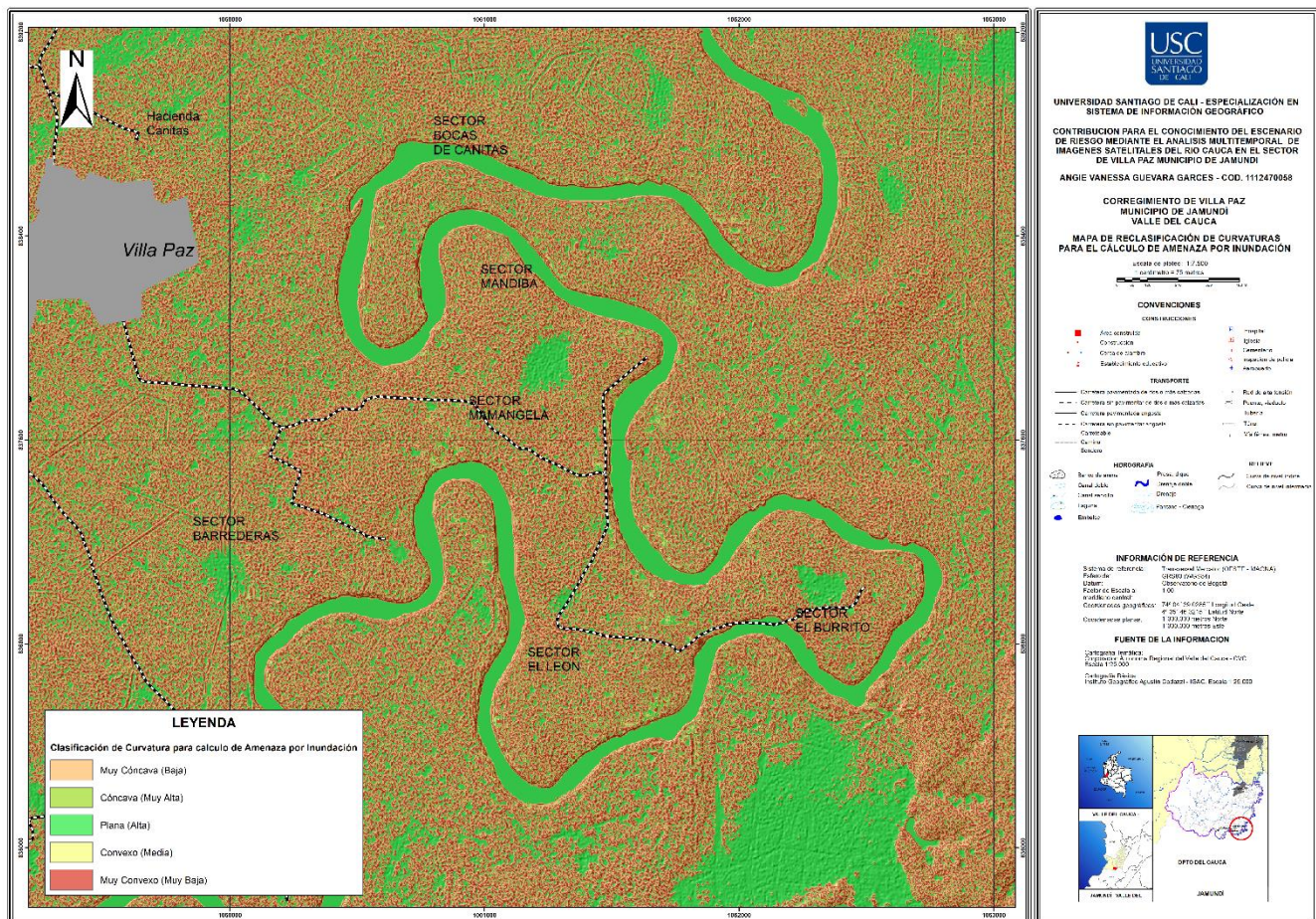


La curvatura se utilizó con la finalidad de tener un mayor acercamiento al comportamiento de las inundaciones, sobre las llanuras aluviales, la medida tiene por objeto identificar las convexidades y concavidades del terreno, se asumió un signo positivo y uno negativo respectivamente, es decir, en un punto sobre la llanura aluvial con una pendiente menor de 3%, tiene mayor probabilidad de ocurrencia de inundación si en ese punto se tiene una geoforma cóncava o plana, debido que estas zonas existe mayor facilidad de acumulación del flujo, comparándolo con una geoforma convexa. (CORNARE- Gobernación de Antioquia, 2012). Se clasificó teniendo en cuenta los valores promedio de las curvaturas dentro de las llanuras aluviales como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de curvaturas para el cálculo de amenaza por inundación

CURVATURA	INTERVALO	CLASIFICACIÓN
Muy Cóncavo	-286 - -1.5	Muy Alta
Cóncavo	-1.5 – 0.3	Alta
Plana	-0.3 – 0.3	Media
Convexo	0.3 – 1.5	Baja
Muy Convexo	1.5 - 328	Muy Baja

Ilustración 7. Mapa de curvatura



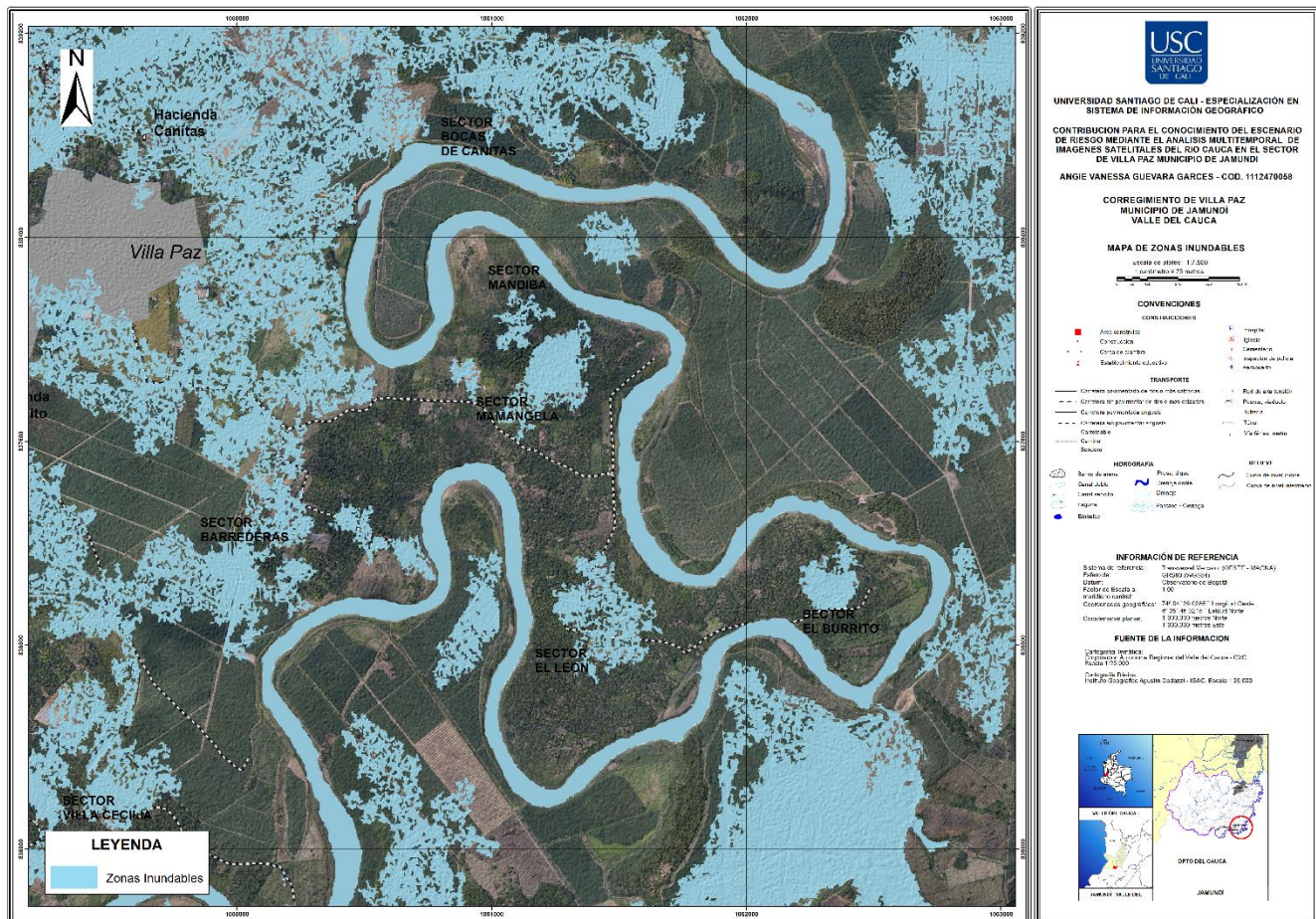
El mapa de Zonas Inundables, fue producto del algebra de mapas entre los diferentes valores de curvatura y pendiente, De acuerdo al modelo utilizado por CORNARE- Gobernación de Antioquia se obtuvo con el siguiente criterio de ponderación.

Tabla 5. Ponderación de curvaturas y pendientes

FACTOR	PESO FACTOR (%)
Curvaturas	40
Pendiente	60

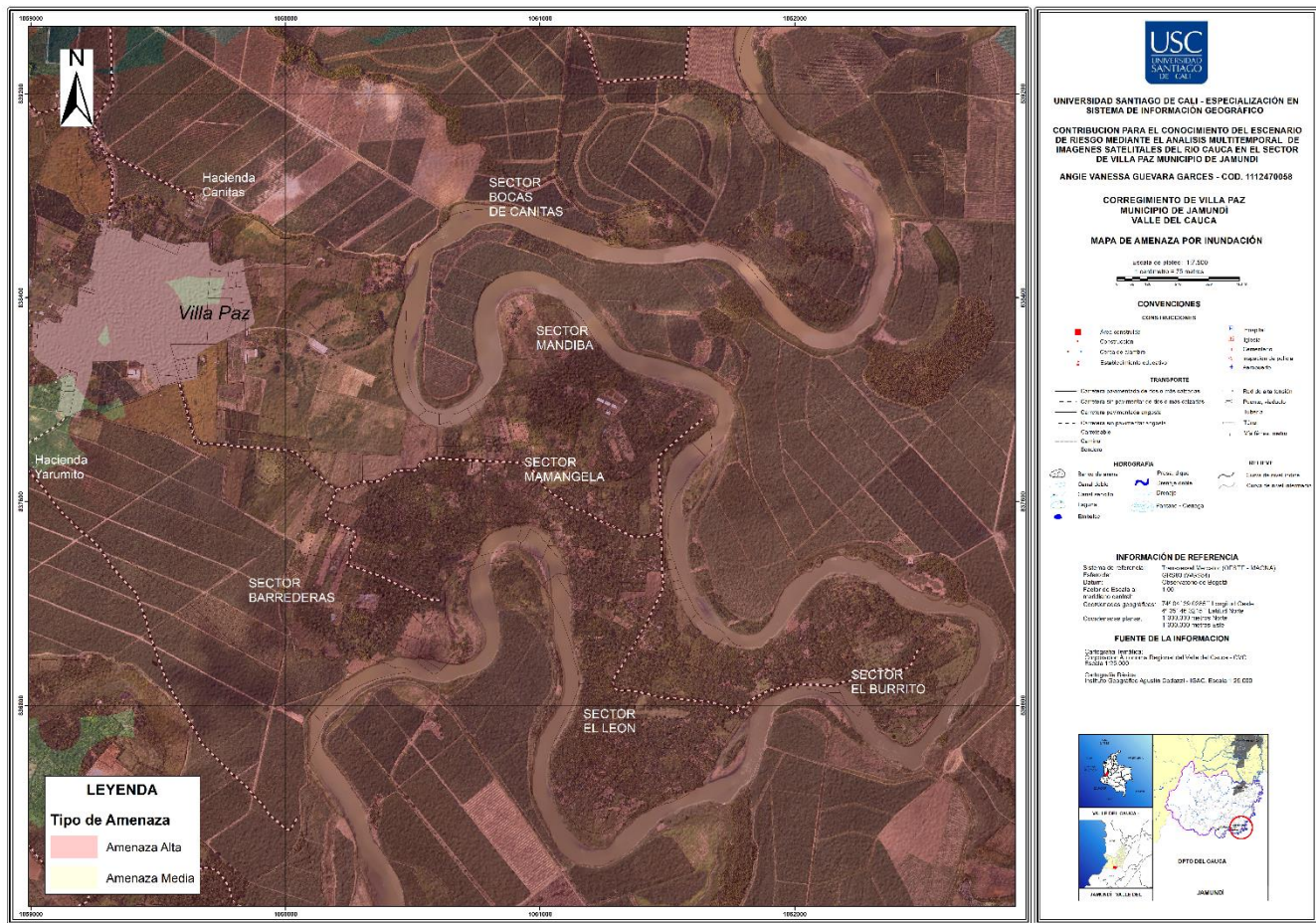
Fuente: (CORNARE- Gobernación de Antioquia, 2012)

Ilustración 8. Mapa zonas inundables



El mapa de amenaza por inundaciones se estableció, con la intercepción entre el Mapa Buffer y el mapa de Zonas Inundables, que muestra la jerarquización de las áreas a inundarse restringido a la red hídrica y las llanuras aluviales. Inundación que puede ser causada por el desbordamiento de los ríos de la cuenca Claro y microcuencas Robles y Tinajas a su paso por el corregimiento de Villa Paz, municipio de Jamundí, tal como se presenta en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Mapa amenaza por inundación



Finalmente, de lo anterior se pudo deducir que, casi la totalidad del área en estudio se encuentra vulnerable a una inundación con relación a la red hídrica y las llanuras aluviales, lo que implica una alta intensidad de la inundación, de acuerdo con la metodología seleccionada. Casi que las únicas zonas con intensidad media de inundación son las correspondientes a la cabecera municipal del corregimiento y parte de la hacienda Yarumito.

7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

- A partir del análisis de la recopilación de información antecedente y con lo discutido, con residentes de la zona y líderes comunitarios, y con funcionarios de la administración municipal, se pudo establecer que las principales problemáticas del corregimiento están la pérdida de la riqueza natural, la pérdida de las vocaciones agrícolas, el mal funcionamiento del acueducto que genera inundaciones y pérdida de tierras por la erosión de las orillas ocasionadas por el avance del río Cauca en su margen izquierda, afectando el etnodesarrollo del corregimiento.
- Dentro de los resultados expuestos en el análisis de amenaza por inundación causada por desbordamientos del río Cauca, se puede confirmar que casi la totalidad del área del corregimiento de Villa Paz se encuentra en

amenaza alta, por inundación que puede ser causada por el desbordamiento del río Cauca o de los ríos de la cuenca Claro y microcuencas Robles y Tinajas a su paso por el corregimiento de Villa Paz.

- Frente a la información obtenida del análisis del movimiento lateral de la margen izquierda del río Cauca frente al corregimiento de Villa Paz, se puede concluir que la dinámica muestra procesos de socavación lateral de ida y vuelta y de variada intensidad, con tasas interanuales bastante relevantes, que incluyen la pérdida continua de amplias franjas de terreno. En la actualidad en el sector Mamangela muestra una tasa de movilidad lateral de 3.22 m/año, amenazando la comunidad ahí asentada y sus medios de subsistencia. En relación a lo antes expuesto, es de vital importancia que se realice un monitoreo en el tiempo, y se analice con detalle y rigurosidad la necesidad de construcción de obras de protección de orilla en los sectores que en la actualidad se encuentran amenazados por la socavación lateral en el río Cauca.
- Gran parte de la información espacial utilizada en el presente proyecto para el análisis de riesgo por la amenaza fue derivada de un modelo digital del terreno (MDT) obtenido a partir de un levantamiento LIDAR realizado en el año 2013 por la CVC. La gran cantidad de puntos que se toman con la información LIDAR permitieron incrementar, de manera bastante significativa, el horizonte de la superficie del terreno y su nivel de detalle, lo cual redundó en un incremento en la precisión de los resultados espaciales obtenidos en el mapa de amenaza de inundación.
- Finalmente, luego de realizado el análisis multitemporal del movimiento lateral del río Cauca y el análisis de la amenaza por inundación; los resultados obtenidos proporcionan información relevante para la primera etapa del proceso de gestión del riesgo denominada “Proceso de conocimiento del riesgo”, aportando a su vez a los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.

7.2 Recomendaciones

Una vez concluido el trabajo de grado, se recomienda:

- Utilizar información espacial de buena precisión para obtener resultados detallados en la generación de cartografía relacionada a la gestión del riesgo
- Extender los estudios expuestos a proyectos de estudios y diseños de obras de protección de orilla y diseños de obras para la mitigación de la amenaza por inundaciones en el corregimiento de Villa Paz
- Utilizar la información obtenida la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo del presente trabajo para realizar un Plan de gestión del riesgo de desastres, con el objetivo de anticiparse a situaciones potencialmente adversas para la comunidad de Villa Paz, reducir los factores de riesgo y prepararse para poder iniciar una respuesta inmediata en cuanto se produzca un evento de origen natural.

8 Bibliografía

- Alcaldía de Jamundí. (2002). Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Jamundí . Jamundí.
- Alcaldía de Jamundí. (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016 - 2019 Jamundí una ciudad para vivirla. Jamundí, Valle del Cauca.
- Alcaldía de Jamundí. (2020). Plan de Desarrollo Municipal Jamundí 2020 - 2023. Jamundí, Valle del Cauca.
- Arango, J. G. (2016). Aplicación de la teledetección al estudio de las necesidades hídricas de los humedales. Caso de estudio humedales españoles. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría.
- ASOCARS, U. d. (2014). Geomorfología y morfodinámica del río Cauca en su valle alto. . Santiago de Cali, Valle del Cauca: Universidad del Valle - Grupo de investigación en hidráulica fluvial y marítima - Grupo Hidromar.

- ASOCARS, U. d. (2014). Propuesta y modelación hidráulica de escenarios para la gestión de inundaciones en el valle alto del río Cauca. Santiago de Cali, Valle del Cauca.
- Buzai, G., & Humacata, L. (2016). Implementación de Tecnologías de la Información Geográfica en la enseñanza de la Geografía. . Universidad Nacional de Luján (UNLu) en el marco del Programa Nacional de Capacitación Docente “Nuestra Escuela” del Ministerio de Educación de la Nación.
- Chávez, C. Y. (2015). Una aproximación a las condiciones que explican la dinámica fluviomorfológica del río Cauca en su valle alto. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en la teledetección: evolución fenomenológica y analisis de cambios. Revista de Teledetección.
- Congreso de la República. (2 de Noviembre de 1988). Ley 46 de 1988. Por la cual se crea y organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de desastres, se otorga facultades extraordinarias al Presidente de la República, y se dictan otras . Bogotá, Colombia.
- Congreso de la República. (24 de Abril de 2012.). Ley No 1523 de 2012 Diario Oficial de la República de Colombia . Bogotá, Colombia.
- CORNARE, G. d. (2012). Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de Sonsón. Sonsón: Convenio CORNARE - Gobernación de Antioquia No 2011-CF-12-0051 Y 217-2011, Grupo Gestión del Riesgo, Oficina de Control Estratégico – CORNARE.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2014). Levantamiento topográfico LIDAR en la zona de Villa Paz, municipio de Jamudí (Valle del Cauca). . Santiago de Cali, Valle del Cauca: Grupo de Cartografía.
- Corporación Autonoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (7 de Septiembre de 2020). GeoCVC. Obtenido de https://www.geo.cvc.gov.co/visor_avanzado/
- DGR. (2012). Guía para la Formulación del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Valle del Cauca: Dirección de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior y de Justicia.
- ESRI. (s.f). ArcGisDesktop. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/spatial-analyst/performing-analysis/the-types-of-operations-in-spatial-analyst.htm>
- FUNAGUA. (2018). Diseño e Instalación de Mapas de Riesgo en las Comunas y Corregimientos de Santiago de Cali. (S. d. Desastres, Ed.) Cali, Valle del Cauca: Fundación Agua Viva.
- Google Earth. (2020). Imagenes satelitales de los años 1969, 2012, 2015 y 2018. Image 2020 Maxar Technologies; Image 2020 CNES/ Airbus; Image U.S. Geological Survey.
- Herrera, J. (2005). Reflexiones del V Curso Internacional sobre Manejo de Sistemas de Información para la Mitigación de Desastres. Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, ISSN 1578-5157, N°. 5.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (7 de Septiembre de 2020). IGAC. Obtenido de <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- Ley No. 1523 de 2012. (s.f). Diario Oficial de la República de Colombia. Bogotá, Colombia: 24 de Abril de 2012.
- López, J. D. (2011). Modelación hidráulica y morfodinámica de cauces sinuosos aplicación a la quebrada la Marinilla (Ant). Marinilla, Antioquia: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Maestría en Ingeniería/Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Minambiente. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-del-riesgo-de-desastres#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Ley,del%20riesgo%20y%20para%20el>
- República de Colombia. (1989). Decreto 919 de 1989 Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia.

- República de Colombia. (1998). Decreto No. 93 de 1998 Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Bogotá, Colombia.
- Tucci, C. E. (2006). Gestión de Inundaciones Urbanas. Brasil: Organización Meteorológica Mundial WMO - OMM.
- Vallejo, A. (2008). La gestion del riesgo en Colombia como herramienta de intervención pública para la prevención y mitigación de desastres (1982 – 2008).
- Veloza, D. R. (10 de Septiembre de 2020). ESRI. Obtenido de Desastres Naturales En Colombia:
<https://www.arcgis.com/apps/MapTour/index.html?appid=4f811859b56f492d94cb879d43b853da>