

**EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN DE LA CUENCA ALTA
DEL RIO PUTUMAYO – VALLE DE SIBUNDOY**

**ALARCÓN ÁLVAREZ RICHARD ALEXANDER
BASTIDAS CASTILLO MARTHA ARACELLY
NARVÁEZ CAMPAÑA NHORA LILIANA**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

**EVALUACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD DE INUNDACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL
RIO PUTUMAYO – VALLE DE SIBUNDOY**

Trabajo de grado presentado como opción parcial para optar al título de Especialista en
Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016**

CONTENIDO

	pág.
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	12
2. OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GENERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. MARCO REFERENCIAL	17
4.1 MARCO TEÓRICO	17
4.1.1 Sistemas de Información Geográfica..	17
4.1.2 Amenaza de inundación.....	17
4.1.3 Amenazas Naturales y Antrópicas.	18
5. METODOLOGÍA.....	22
5.1 INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA.....	22
5.2 PROCEDIMIENTO.....	22
5.2.1 Delimitación.....	22
5.2.2 Recopilación y Análisis de Información.....	22
5.2.3 Digitalización.	22
5.2.4 Análisis y Resultados.	22
6. RESULTADOS	23
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	23
6.1.1 Delimitación cuenca hidrográfica.	23
6.1.2 Delimitación Microcuencas Abastecedoras Del Rio Putumayo.....	25
6.1.3. Generación De Pendientes..	27
6.1.4 Mapa de Drenajes..	29
6.1.6 Obtención del mapa de inundabilidad de la cuenca alta del rio Putumayo sobre el Valle de Sibundoy.....	31
6.1.7 Simulación de Inundación.	32
CONCLUSIONES.....	39
RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización cuenca Alta Rio Putumayo	12
Figura 2. Emergencias en Sibundoy	13
Figura 3. Ordenación de corrientes hídricas para la parte alta del Rio Putumayo	14
Figura 4. Variación del balance Hídrico Estación Michoacán – Colón.....	19
Figura 5. Modelo Digital de Elevación – Valle de Sibundoy	24
Figura 6. Direcciones Flujo de Aguas.....	25
Figura 7. Acumulación de Flujo de Aguas.....	26
Figura 8. Cuencas de Captación	26
Figura 9. Delimitación de Microcuencas.....	27
Figura 10. Mapa de Pendientes	28
Figura 11. Mapa de drenajes.....	29
Figura 12. Sistema Raster.....	30
Figura 13. Mapa de Permeabilidad	31
Figura 14. Sistema Raster - Mapa de susceptibilidad	31
Figura 15. Suma de capas vectoriales	32
Figura 16. Simulación de Inundación	33
Figura 17. Simulación de Inundación	34
Figura 18. Susceptibilidad de Inundación.....	35
Figura 19. Área Urbana dentro de área medianamente inundable	37

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Nivel de susceptibilidad Valle de Sibundoy	36

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tabla atributos Mapa de Permeabilidad.....	30
Tabla 2. Áreas inundables Valle de Sibundoy.....	35
Tabla 3. Veredas con alta susceptibilidad de inundación en los municipios del Valle de Sibundoy.....	36
Tabla 4. Veredas afectadas por media inundabilidad	37
Tabla 5. Veredas afectadas por baja inundabilidad.	38

GLOSARIO

Amenaza: peligro latente de que un evento físico de origen natural causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presenta con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones y 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.

Amenazas naturales: originadas en la dinámica propia de la Tierra, los seres humanos no intervienen en su ocurrencia, según el origen se clasifican en geológicas (sismos, erupciones volcánicas, maremotos, deslizamientos y avalanchas), o hidrometeorológicas (huracanes, vendavales, inundaciones y sequías), entre otras.

Amenazas antrópicas: atribuibles a la acción humana, como la contaminación, incendios, derrame de hidrocarburos, y explosiones de materiales inflamables, entre otras.

Avalancha: creciente súbita de una corriente de agua acompañada de abundantes sedimentos gruesos, desde lodo hasta bloques de roca, troncos de árboles, puede ser generada por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca.

Análisis de vulnerabilidad: proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica.

Antrópico: de origen humano, o de las actividades generadas por el hombre.

Cuenca Hidrográfica: Una cuenca hidrográfica según lo define el Decreto 1640 de 2012, es el “área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar”.

Deforestación: acción y efecto de deforestar (despojar un terreno de sus árboles y plantas). Este proceso de desaparición de las masas forestales suele producirse por el accionar humano mediante la tala y la quema.

Desarrollo sostenible: proceso de transformaciones naturales, económicas, sociales, culturales e institucionales, cuyo objetivo pretende asegurar el mejoramiento de las condiciones de vida del ser humano y de su producción, sin deteriorar el ambiente natural ni comprometer las bases de un desarrollo similar para las futuras generaciones.

Deslizamiento: movimiento de masa (reptación, volamiento, desplazamiento, hundimiento, colapso de cavernas o minas, caída de rocas, desprendimiento de

masas de suelo o de rocas), como producto de la acción tectónica, características de los suelos, y la acción del agua.

Ecosistema: unidad espacial definida por un complejo de componentes y de procesos físicos y bióticos que interactúan en forma interdependiente y que han creado flujos de energía característicos y ciclo o movilización de materiales.

Erosión: proceso de pérdida o remoción superficial de suelos, ocasionada por algún agente físico.

Inundación: Es un proceso de desbordamiento del agua fuera del cauce natural o artificial. Las inundaciones son los fenómenos más letales de los desastres naturales, representan aproximadamente el 40% de las víctimas, esto es reforzado por el hecho de que más de la mitad de la población mundial vive en las costas y a lo largo de los ríos.

Micro cuenca: terreno delimitado por las partes altas de una montaña, donde se concentra el agua lluvia que es consumida por el suelo para luego desplazarse por un cauce y desembocar en una quebrada, río o lago.

Prevención de riesgo: medidas y acciones de intervención prospectiva reglamentación restrictiva dispuestas con anticipación para evitar que se genere riesgo, enfocadas a evitar o neutralizar la amenaza o exposición, y la vulnerabilidad ante la misma, en forma definitiva para impedir que se genere un nuevo riesgo.

Pronóstico: determinación de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y el registro de eventos en el tiempo.

Pluviosidad: es la precipitación generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad.

RESUMEN

Este proyecto busca realizar una evaluación de susceptibilidad de inundación en el Valle de Sibundoy, puesto que es en esta zona donde se ubica geográficamente la cuenca Alta del Río Putumayo y donde el fenómeno de inundación es recurrente en las temporadas invernales.

El objetivo es el de identificar las zonas con mayor y menor probabilidad de inundación, siguiendo la metodología de generación de mapas de inundaciones con el empleo de herramientas presentes en los sistemas de información geográfica, y propiciando de esta manera la generación de planes que mitiguen este tipo de impactos de carácter natural.

Palabras Claves: Riesgos, Inundaciones, Lluvias, Corrientes, Cuenca Hidrográfica, Sistemas de Información Geográfica.

Abstract

His project aims to conduct an assessment of flood susceptibility Valley Sibundoy, since it is in this area that is geographically located basin Alta del Rio Putumayo and where flooding is a recurring phenomenon in the winter seasons.

The aim is to identify areas with high and low probability of flooding, following the methodology of generating flood maps with the use of tools present in the GIS, and thus promoting the creation of plans to mitigate this type of impacts of natural character.

Keywords: Risks, Floods, Rain, Streams, Watershed, GIS.

INTRODUCCIÓN

La temporada de lluvias en la región del Valle de Sibundoy en el periodo comprendido entre los meses de marzo a julio presenta una alta pluviosidad, motivo de inundaciones que a su vez provocan avalanchas de lodo y escombros sobre áreas de cultivos, potreros y en los últimos años sobre la población urbana de los municipios que lo conforman: Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco.

El Valle de Sibundoy hace parte de la gran cuenca hidrográfica del Río Amazonas, al ser cuenca alta- alta del Río Putumayo que recoge las aguas de todas las fuentes hídricas que irrigan al valle. El río Putumayo, tiene su cuenca de abastecimiento en esta eco región estratégica, con una alta oferta hídrica, que garantiza el abastecimiento de agua para consumo humano y para el desarrollo de actividades productivas. Para este estudio se sectorizaron seis (6) microcuencas: en Santiago el río Tamauca, en Colón las quebradas Marpujay- Sigüinchica y Afilangayaco, en Sibundoy las quebradas Hidráulica y Carrizayaco y en San Francisco los ríos San Francisco y Putumayo.

Las inundaciones son un fenómeno que se genera a partir del alto grado de aguas lluvias sobre los cauces de ríos y quebradas, que al llegar al tope de su capacidad se desborda con gran velocidad llevándose a su paso los obstáculos que se encuentren en su nuevo curso.

Los Sistemas de Información Geográfica son de gran importancia en este tipo de situaciones; en la generación de cartografía de las zonas inundables, con el fin de prevenir próximas situaciones de peligro, con el único fin de preservar la vida y los recursos naturales. Las Inundaciones en el Valle de Sibundoy están asociadas con la deforestación de montañas, prácticas agrícolas inadecuadas y otras intervenciones que chocan con el buen manejo del medio ambiente.

La información generada permitirá a los diferentes actores que tienen injerencia en los municipios, tomar acciones preventivas y de recuperación en las zonas identificadas con mayor susceptibilidad de riesgo, además este ejercicio sirve como base para la elaboración del esquema de ordenamiento territorial y plan de gestión del riesgo puesto que los resultados cartográficos permiten identificar, caracterizar y dimensionar las afectaciones en infraestructura, recursos naturales y los bienes patrimoniales de los habitantes de esta zona.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

La cuenca alta del río Putumayo, se localiza en una ecorregión estratégica, con una alta oferta hídrica, que garantiza el abastecimiento de agua para consumo humano y para el desarrollo de actividades productivas. Para este estudio se sectorizaron seis (6) microcuencas: en Santiago el río Tamauca, en Colón las quebradas Marpujay-Sigüínchica y Afilangayaco, en Sibundoy las quebradas Hidráulica y Carrizayaco y en San Francisco los ríos San Francisco y Putumayo.

Históricamente el Valle de Sibundoy (constituido por los Municipios de Santiago, Colón, Sibundoy y San Francisco); ha sido una zona altamente inundable gracias a su riqueza hídrica y la formación topográfica, además de ser parte de la cuenca hidrográfica que abastece al Río Putumayo. Hace más de 40 años se realizaron obras de drenaje creando los canales A, B, C (canal C nunca funciono por errores de diseño) y D los cuales cumplen la misión de recibir las aguas del Río putumayo que inundaban las zonas bajas y planas del Valle, una obra que se abandonó porque no cumplió con el objetivo inicial de desaguar áreas con potencial agrícola, actualmente estos canales deben tener mantenimiento periódico ya que acumulan sedimentos que no permiten el curso normal de las aguas, sumándose a una de las causales de inundabilidad.

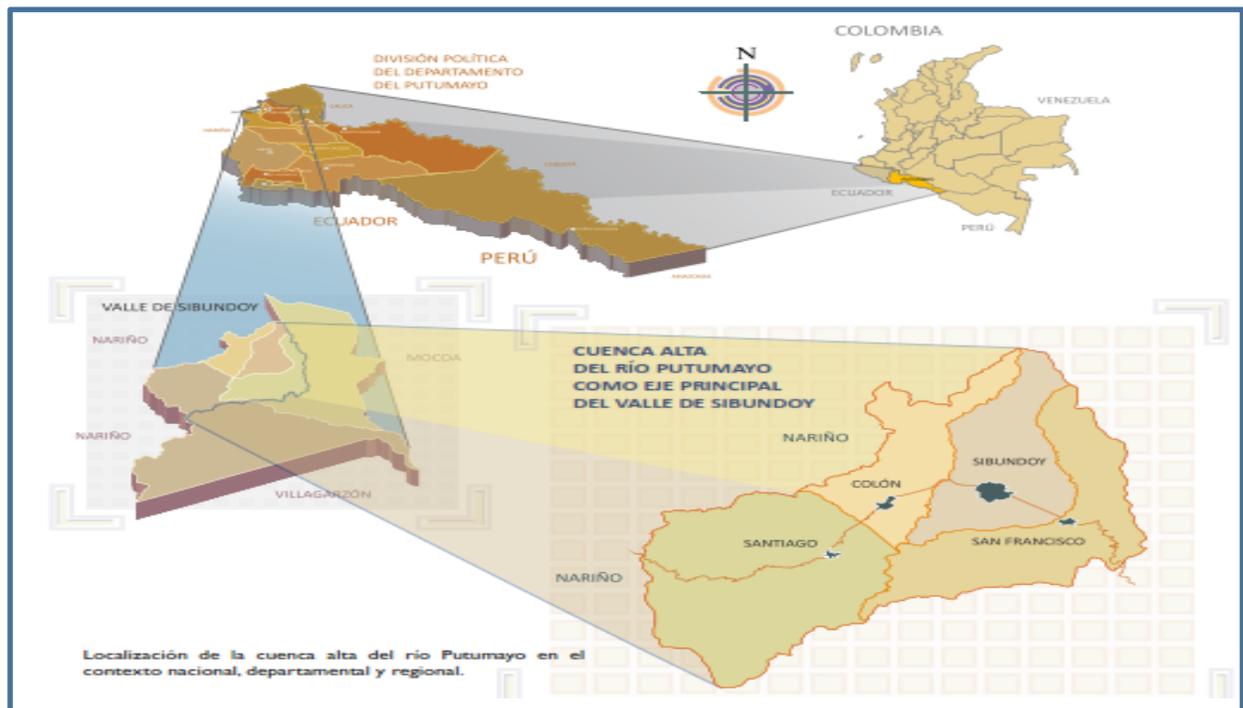


Figura 1. Localización cuenca Alta Río Putumayo
Fuente. Google Maps

Con base en la revisión de los registros históricos de emergencias, la distribución de participación entre las 56 emergencias reportadas es: 37.50% sismos, 17.86% movimientos en masa, 28.57% inundaciones, 1.79% vendavales, 8.93% incendios, y 5.36% incendios forestales (Alcaldía Municipal de Sibundoy, 2014).

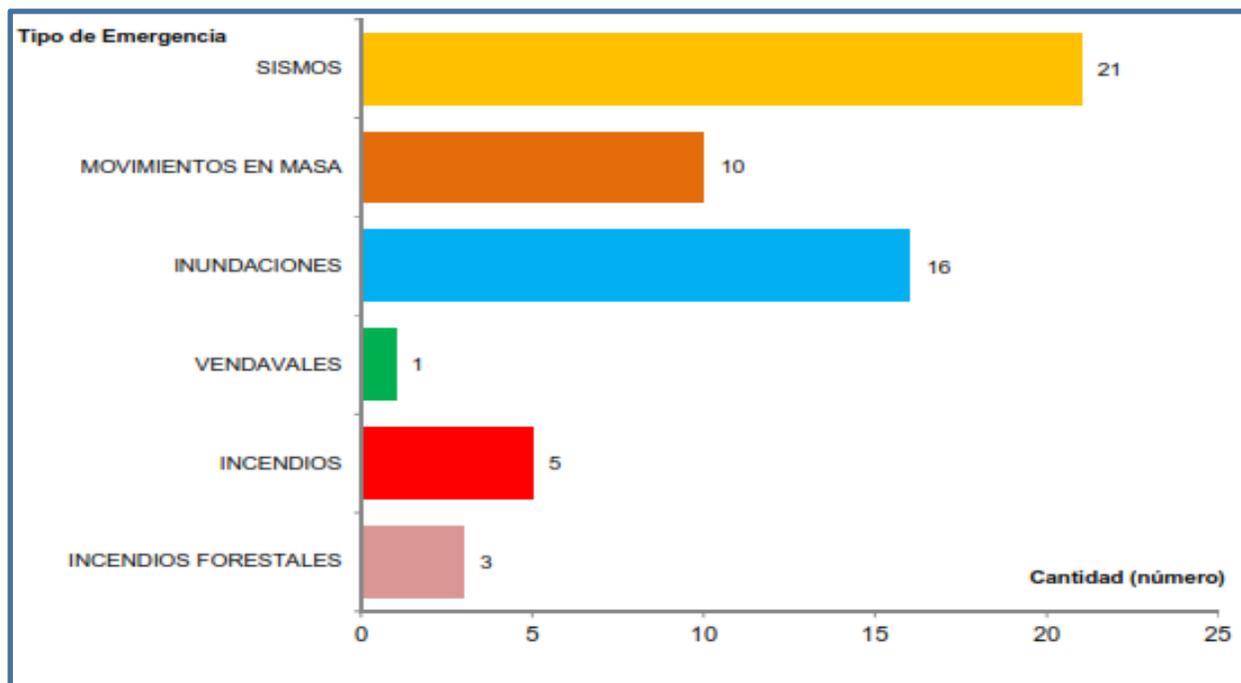


Figura 2. Emergencias en Sibundoy

En general, desde 1990 hasta la fecha, los registros históricos de emergencias en inundaciones muestran recurrencia anual, sin embargo, se observa que cada cinco años aproximados los daños y/o afectaciones son mayores.

En el Municipio de Sibundoy las áreas inundables se encuentran asociadas a las márgenes de las quebradas El Cedro, Lavapiés, Hidráulica, Espinayaco, Cabuyayaco, Carrizayaco hacia la parte plana y en un corredor paralelo a la vía de la Q Hidráulica con una amplitud de 100m., el área está restringida a las zonas más bajas de los depósitos fluviovolcánicos. (MADVDT- CORPOAMAZONIA, 2009)

De acuerdo al análisis de los promedios multianuales, en las últimas décadas se han presentado periodos de precipitaciones de gran intensidad con una frecuencia de eventos con alguna posibilidad de recurrencia de aproximadamente una década. Estos eventos son potencialmente peligrosos por presentar periodos amplios de altas precipitaciones que desencadenan flujos de lodo y otros fenómenos naturales que ponen en riesgo vidas humanas, el colapso de infraestructura y deterioran el medio natural ((MADVDT- CORPOAMAZONIA, 2009)

La susceptibilidad a inundaciones está determinada por el caos en el régimen climático, conflictos por uso inadecuado del suelo, la falta de cobertura, como factores que pueden detonar fenómenos adicionales de deslizamientos, represamiento y subsecuente avalancha con detritos, y por supuesto, la potencialidad de afectación es mayor, como ha ocurrido en varias ocasiones con las quebradas La Hidráulica, Tamauca, y el Río San Francisco, Río San Pedro. (Alcaldía Municipal de Sibundoy, 2014)

GRAN CUENCA	CUENCA	SUB CUENCA	MICROCUENCA	MUNICIPIO	AREA Km2	Nº ORDEN		
Amazónica	Cuenca alta-alta del río Putumayo	Río Quinchoa	Río Quinchoa	Santiago	121,03	3		
			Mulachaque		2,32	4		
		R. Tamauca	R. Tamauca		16,19	3		
		Sistema de canales						
		Escurrimientos Directos Canal B						
				Q. Marpujay, Q. Sigüinchica y Q. Afilangayaco	Colon		12,74	4
				Q. Pejeyaco		0,90	4	
				Q. Tacangayaco		11,28	4	
				Q. Jacanamejoy		3,42	4	
				Q. Guapanitayaco		3,64	4	
				Río San Pedro	Río San Pedro		60,39	3
		Escurrimientos Directos Madre Vieja Río Putumayo						
				Q. Hidráulica	Q. Hidráulica	Sibundoy	21,31	3
				Q. Carrizayaco	Q. Carrizayaco		24,78	3
		Escurrimientos Directos Canal A						
				R. San Francisco	R. San Francisco	San Francisco	31,97	3
				R. Putumayo	R. Putumayo		14,79	3
				Q. Porotoyaco	Q. Porotoyaco		0,64	4
				Q. Chinayaco	Q. Chinayaco		0,79	4
				Q. San Antonio	Q. San Antonio		1,76	4
		Q. Secayaco	Q. Secayaco	2,38	4			
		Q. Chunga Caspi	Q. Chunga Caspi	1,01	4			
		Q. San Miguel	Q. San Miguel	0,73	4			
		Q. Saladoyaco	Q. Saladoyaco	9,78	4			
TOTAL					322,61*			

Fuente. Este estudio 2008

*La diferencia de este resultado con el área total de la cuenca corresponde a 137,26 Km² que hace referencia al área que delimita los canales A, B y D del Distrito de Drenaje del Valle de Sibundoy.

Figura 3. Ordenación de corrientes hídricas para la parte alta del Río Putumayo
 Fuente. Contrato Interadministrativo 311- MADVDT-CORPOAMAZONIA, 2009

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la susceptibilidad por inundación de la cuenca alta del Río Putumayo a partir de la utilización de herramientas SIG con el fin de aportar información para la prevención y gestión del riesgo de los municipios que hacen parte del Valle de Sibundoy.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar áreas susceptibles de inundación en los municipios del Valle de Sibundoy.
- Delimitar áreas con mayor probabilidad de ocurrencias de fenómeno de inundación.
- Establecer niveles de susceptibilidad en la zona de la cuenca alta del Río Putumayo.

3. JUSTIFICACIÓN

La prevención de desastres es una necesidad básica en todas las zonas donde los episodios de riesgo no dan tiempo para evitar desastres “Son múltiples las amenazas que pueden presentarse.

Las hay naturales, como los sismos, las erupciones volcánicas, los derrumbes, los vendavales y las inundaciones. En este sentido, Colombia, por su situación y sus características geográficas, es un país que se encuentra sensiblemente expuesto a ellas. Pero hay amenazas de otro tipo, como las que pueden ser provocadas por el hombre, que se conocen como antrópicas, entre las que se encuentran los incendios y las explosiones.” (Colombia Aprende, 2014)

Los mapas de susceptibilidad de inundación son una herramienta valiosa, que pretende evitar y prevenir desastres en el Valle de Sibundoy, anticiparse a los sucesos y elaborar planes de prevención en la zona urbana y rural de esta forma proteger la población, cultivos y recursos naturales principal riqueza del Valle de Sibundoy.

La información generada es la base para concebir un manejo de recursos naturales sustentable, una planeación urbanística adecuada, uso de suelos apropiado, la creación de infraestructura resistente y ajustada a las necesidades de la región, protección de los recursos hídricos y demás complicaciones que puedan presentarse por causa de los fenómenos naturales como lo es la temporada de alta lluviosidad características de esta zona del alto Putumayo.

Además será una herramienta para la elaboración del Plan de riesgos, Esquema de Ordenamiento Territorial para los municipios implicados en la investigación.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Sistemas de Información Geográfica. En la actualidad existe una amplísima gama de procedimientos adoptados para la realización de mapas de inundaciones con el empleo de las herramientas presentes en los Sistemas de Información Geográfica.

Llegar a la delimitación, clasificación y cartografía de las inundaciones constituye un arduo trabajo, en los que el uso de los SIG es de gran ayuda, ya que permite contar con una serie de elementos, tanto en el almacenamiento como la actualización de la información de los componentes, así como la existencia de una base cartográfica única para cada uno de ellos, dándonos la posibilidad de integrar toda la información en un mapa preliminar de inundaciones, a partir del esquema metodológico general para la realización del mismo mediante el empleo de las herramientas del SIG. (Montecelos Zamora, 2011)

4.1.2 Amenaza de inundación. El reconocimiento del nivel de amenaza por inundación tiene por finalidad identificar las áreas que son afectadas por el aumento del nivel de agua en las corrientes y sobre las llanuras aluviales, también obliga a reconocer el comportamiento de las áreas que aportan los caudales que descargan en las corrientes de las cuencas. En concordancia podemos decir que como resultado del análisis del riesgo por inundaciones se obtienen dos mapas. El primero identifica en los cauces principales de una cuenca la posibilidad de ocurrencia de inundaciones, las cuales se nombran como Zonas Inundables y el otro mapa muestra las áreas que aportan a la inundación, las cuales se denominan Zonas de Control.

El mapa de Zonas de Control, muestra las condiciones de susceptibilidad en las que se encuentra una cuenca en la actualidad y la posibilidad que tienen los terrenos de generar un mayor aporte o disminución del fenómeno de la inundación. Para la realización de este producto se tuvo como principales factores de análisis, las características morfométricas de la cuenca, la precipitación y la cobertura.

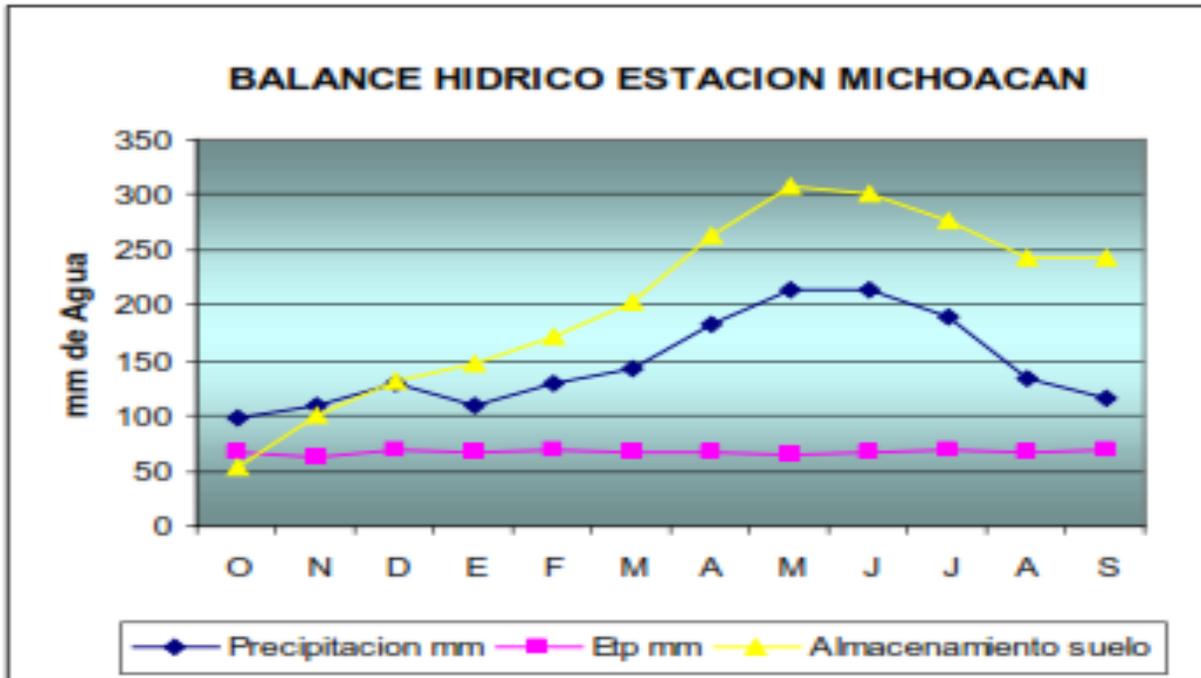
Las zonas de control, también se pueden entender como las zonas de recarga de las cuencas, las cuales, funcionan en virtud de las características físicas y morfológicas de la cuenca, en ellas el proceso tiende a regular o a facilitar el escurrimiento hacia el canal central. (Cornare, Gobernación de Antioquia, 2012)

La parte alta del río Putumayo muestra un comportamiento relativamente homogéneo en su disponibilidad de agua, pero con excesos hídricos durante todo el año a excepción del mes de Octubre cuando no se presentan excedentes pero tampoco se presenta déficit. Los mayores excesos se registran desde el mes de marzo a agosto debido a la alta precipitación y baja evaporación con un máximo para la estación Michoacán en el mes de Junio de 214,2 mm (*Ver Figura 3*). En la zona de estudio la

pérdida mensual o anual de humedad no excede a la precipitación, por el contrario se presenta un excedente, con lo cual el suelo se mantiene permanentemente húmedo, esto se debe a que además de presentarse precipitaciones muy altas, la cobertura vegetal es baja y el suelo tiene una capacidad de almacenamiento muy alta. (MAVDT, CORPOAMAZONIA, 2009)

4.1.3 Amenazas Naturales y Antrópicas. Analizando la información climática, geológica, geomorfológica, morfométrica, tipo de pendientes, uso y cobertura del suelo se puede inferir que la parte alta del río Putumayo se encuentra amenazada por fenómenos naturales (deslizamientos, inundaciones, volcanes y sismos) y por la intervención del hombre (deforestación, ampliación de la frontera agrícola, sobre pastoreo y contaminación). Las consecuencias de la interacción de estos factores repercuten en la aparición de eventos de carácter fluviotorrencial, como (por ejemplo) los presentados en la década de 1980 asociados al río Tamauca; los desbordes de Junio de 1989, de las quebradas y ríos que rodean la parte plana del Valle; los acaecidos en la Quebrada El Edén en 1997 (municipio de San Francisco); los de mayo del año 2000 donde se evidenció la fuerte torrencialidad de los ríos Putumayo, San Francisco, y San Pedro y las quebradas Hidráulica, Cabuyayaco, Carrizayaco, Lavapiés, El Cedro y Espinayaco; en el 2002 el río San Francisco por represamiento se desbordó y tomó el cauce viejo del río; en mayo de 2005 los desbordes de la quebrada Carrizayaco e inundación de la parte plana del Valle de Sibundoy.

De acuerdo a INGEOMINAS, los procesos de degradación que ocurren en las zonas de ladera del Distrito han ocasionado el represamiento de cauces, originando inundaciones que han afectado los municipios del Alto Putumayo. Las corrientes arrastran gran contenido de sedimentos colmatando con frecuencia los canales del Valle ocasionando inundaciones. La parte media y alta del área de estudio está amenazada por fenómenos de remoción, fallas, deforestación, ampliación de la frontera agrícola y sobre pastoreo y la parte plana por desbordes, inundaciones, fallas, ampliación de la frontera agrícola y contaminación. Por otro lado INGEOMINAS considera la región con amenaza sísmica alta, los datos históricos de sismicidad indican magnitudes hasta de 7,0 en la escala de Richter asociados al volcán Sibundoy. (MAVDT, CORPOAMAZONIA, 2009)



Fuente. IDEAM, 2008

Figura 4. Variación del balance Hídrico Estación Michoacán – Colón.
Fuente. Ideam, 2008

4.2 ANTECEDENTES

- **Diseño Metodológico para la Elaboración de Mapas de Peligrosidad por Inundaciones** (Montecelos Zamora, 2011)

El objetivo de estudio fue la delimitación y clasificación de la Cuenca del Río Cauto – Cuba mediante el uso de herramientas SIG Arcgis 9.3 los resultados permitieron obtener una base cartográfica con la cual se logró determinar el grado de probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural desde el punto de vista espacial. Se establecen niveles de susceptibilidad a partir del valor de cada clase de factores condicionantes.

La cuenca se divide en cinco categorías fundamentales: zonas extremadamente Inundables, muy inundables, medianamente inundables, baja inundabilidad, no Inundables.

- **Uso de un sistema de información geográfica para el análisis de amenaza por inundaciones en la cuenca alta del río Bogotá-Municipio de cota-límites localidad de suba** (Alvarado Bello , 2014)

Objeto de estudio de esta tesis de grado fue desarrollar por medio de sistemas de información geográfica, un modelo para el análisis de tipo predictivo, con amenaza de inundación para la cuenca alta del Río Bogotá en el sector de Cota Cundinamarca y límites con la localidad de Suba.

Con lo cual se logró identificar las áreas sujetas a inundaciones en la cuenca alta del Río Bogotá, almacenar todos los datos de referencia geográfica y atributos existentes respecto a la amenaza que genera la cuenca, creación de un mapa con contenidos claros de la zona afectada

- **Evaluación y Zonificación de Riesgos por avenida Torrencial, inundación y movimiento de masa y dimensionamiento de procesos erosivos del Municipio de San Vicente – Antioquia, Convenio CORNARE- Gobernación de Antioquia San Vicente 2011**

En este estudio se abordan dos tareas, la primera es la zonificación de riesgo por movimientos en masa y avenidas torrenciales e inundación y la segunda es la atención de las áreas afectadas por los eventos desastrosos ocurridos por la temporada invernal. Esta última se incorpora como una actividad integrada al logro de la identificación de las zonas de riesgo del municipio.

Las áreas caracterizadas con los niveles de riesgo identificado, son acompañadas de una propuesta general de uso y/o manejo según sea el estado actual que presenten, buscando garantizar el aprovechamiento racional del territorio por parte de la población. Los sitios afectados por los eventos desastrosos serán caracterizados e interpretados presentando para ellos, una propuesta de recuperación que incluya obras de corrección, mitigación y control según sea pertinente.

- **Metodología de Zonificación de fenómenos de deslizamiento e inundaciones, (Abril, 2012)**

Este documento presenta una síntesis de los métodos existentes para la zonificación de áreas susceptibles de deslizamiento, se detalla el procedimiento de utilización combinada de los Sistemas de Información Geográfica y las Técnicas de evaluación Multicriterio que constituyen herramientas muy útiles en los procesos de evaluación territorial.

De igual manera se describen aspectos metodológicos para el tratamiento de información de base, su valoración, normalización y ponderación a través de la evaluación de la matriz analítica Saaty.

Se describe el proceso de automatización realizado en el Sistema de Información Geográfica ArcMap, el manejo y tratamiento de información generada por el modelo de susceptibilidad de Evaluación Espacial Multicriterio, la generación de un mapa de

susceptibilidad definitivo sector Quimsacocha considerando el efecto detonante de la precipitación.

5. METODOLOGÍA

5.1 INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA

Este proyecto se basó en la investigación cuantitativa ya que permite examinar la calidad de la información recolectada como: análisis de datos y mapas relacionados con la zona de estudio a través de la medición numérica, conteo, uso de estadística que permita establecer el comportamiento de la población.

5.2 PROCEDIMIENTO

5.2.1 Delimitación. Con el uso de herramientas SIG se delimita el área de estudio la cuenca hidrográfica del Río Putumayo ubicada en el Valle de Sibundoy departamento del Putumayo

5.2.2 Recopilación y Análisis de Información. Búsqueda bibliográfica, documentos cartografía y testimonios que ayudan a soportar el planteamiento y desarrollo del proyecto de investigación.

5.2.3 Digitalización. Con herramienta Hydrology de Spatial Analyst el software Arcgis 10.1, y software libre Global Mapper. Generación de mapas del área de estudio que permitan la identificación de amenazas de inundación en la zona de estudio.

5.2.4 Análisis y Resultados. Con la información obtenida se hace un análisis verificable que permita evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

6.1.1 Delimitación cuenca hidrográfica. La delimitación de cuencas implica una demarcación de áreas de drenaje superficial donde las precipitaciones (principalmente las pluviales) que caen sobre éstas tienden a ser drenadas hacia un mismo punto de salida.

Una cuenca hidrográfica es una unidad morfológica superficial, delimitada por divisorias (“parteaguas”) desde las cuales escurren aguas superficiales hacia quebradas, ríos, lagos, pantanos o acuíferos subterráneos. Al interior, las cuencas se pueden delimitar o subdividir en sub-cuencas o cuencas de orden inferior, asimismo se diferencian zonas caracterizadas por una función primordial (cabecera-captación y transporte-emisión) o por su nivel altitudinal (cuenca alta, media y baja). (Gómez, 2013)

Con la utilización de software ArcGis 10.1 herramienta hydrology a partir de un Modelo digital de elevación de la zona se procede a delimitar la cuenca Alta del Río Putumayo, y de acuerdo a los procesos realizados, la Cuenca presenta un área de 89.473 has, que comprenden los cuatro municipios del alto Putumayo con sus principales microcuencas.

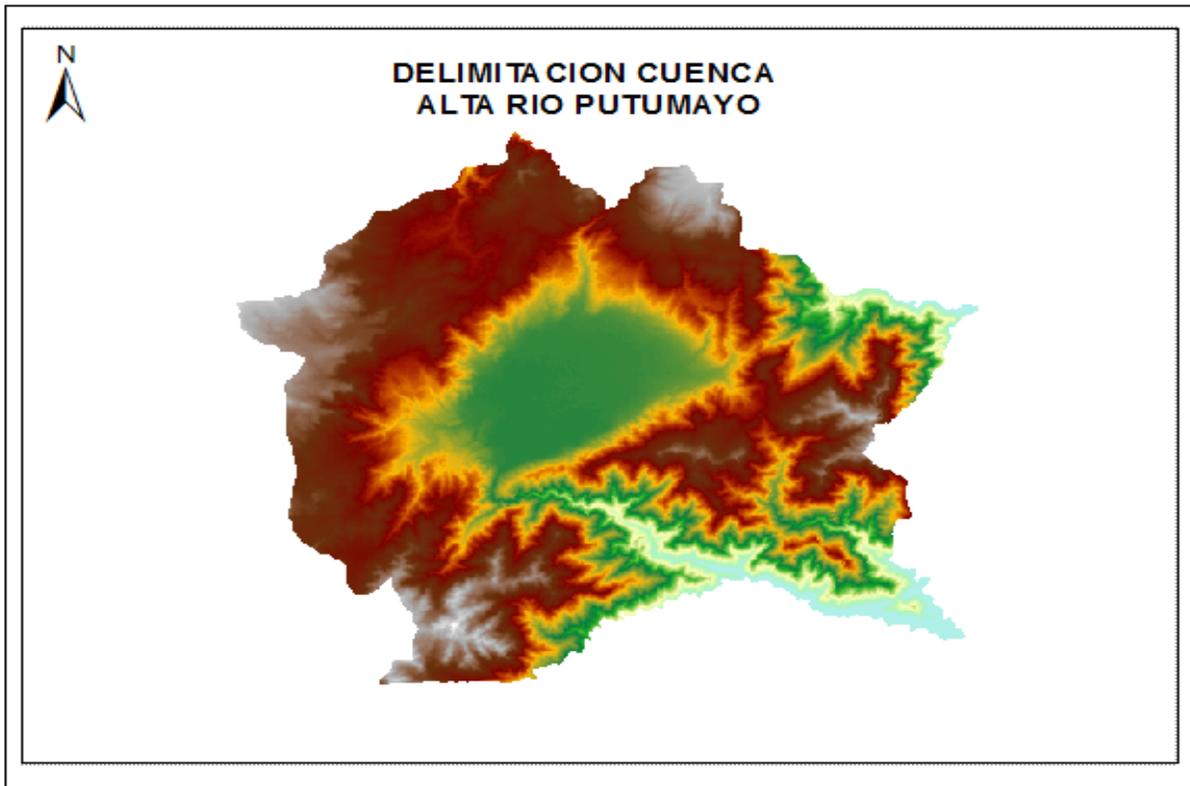


Figura 5. Modelo Digital de Elevación – Valle de Sibundoy
Fuente. Esta investigación

Como tributarias del río Putumayo en la parte alta existen seis microcuencas abastecedoras de acueductos de los centros urbanos y algunos rurales del Valle de Sibundoy, los ríos Tamauca, San Pedro y Putumayo y las quebradas Marpujay-Sigüínchica y Afilangayaco, Hidráulica y Carrizayaco.

El origen del Valle de Sibundoy se produjo bajo el levantamiento de la cordillera oriental y los diferentes movimientos tectónicos del complejo Bordoncillo, produjo la obstrucción de la salida de las aguas en el sector de Balsayaco represándolas y formando un lago que se constituyó en base de la sedimentación del Valle, los sedimentos que traían los ríos y quebradas fueron depositados y formando abanicos aluviales y deltas en los alrededores del mismo. El Valle naturalmente se drena en dirección NE y SW por el Río Putumayo y el Río San Pedro, este último desemboca al Putumayo en la Laguna “Las Cochas” el Río Putumayo recibe las aguas de los Ríos Tamauca y Quinchoa provenientes del oeste, al San Pedro caen las aguas de la Hidráulica.

A excepción del Putumayo, todas estas corrientes y quebradas secundarias de carácter intermitente se originan en las montañas adyacentes las que contribuyen notablemente al régimen hídrico del valle, durante los meses de lluvia en la época de invierno los ríos se desbordan e inundan grandes extensiones; este fenómeno no solo

es provocado por la precipitación directa sobre la zona y la escorrentía proveniente de las laderas que rodean al valle, sino también y en grado primordial por el represamiento de las aguas a su salida conocida como Balsayaco, donde su cauce se estrecha como consecuencia de las lavas provenientes en épocas geológicamente resientes del complejo bordoncillo. (Ospina & Valera citado por Trejos Ortega, 2012)

6.1.2 Delimitación Microcuencas Abastecedoras Del Río Putumayo. Con el fin de visualizar las microcuencas que abastecen al Río Putumayo, determinamos la dirección que tienen cada una de ellas, direcciones de agua que son importantes y permiten tener en cuenta su trayectoria, se visualiza por cada una de las celdas hacia sus celdas más próximas o vecinas, cada color representa las posibles 8 direcciones que puede tener cada una de las quebradas y así calcular donde se acumula el flujo de las aguas.

En este caso el desarrollo arroja la acumulación de las aguas en la zona conocida como *La Garganta De Balsayaco*, lugar donde confluyen las aguas para continuar su trayectoria al Río Putumayo.

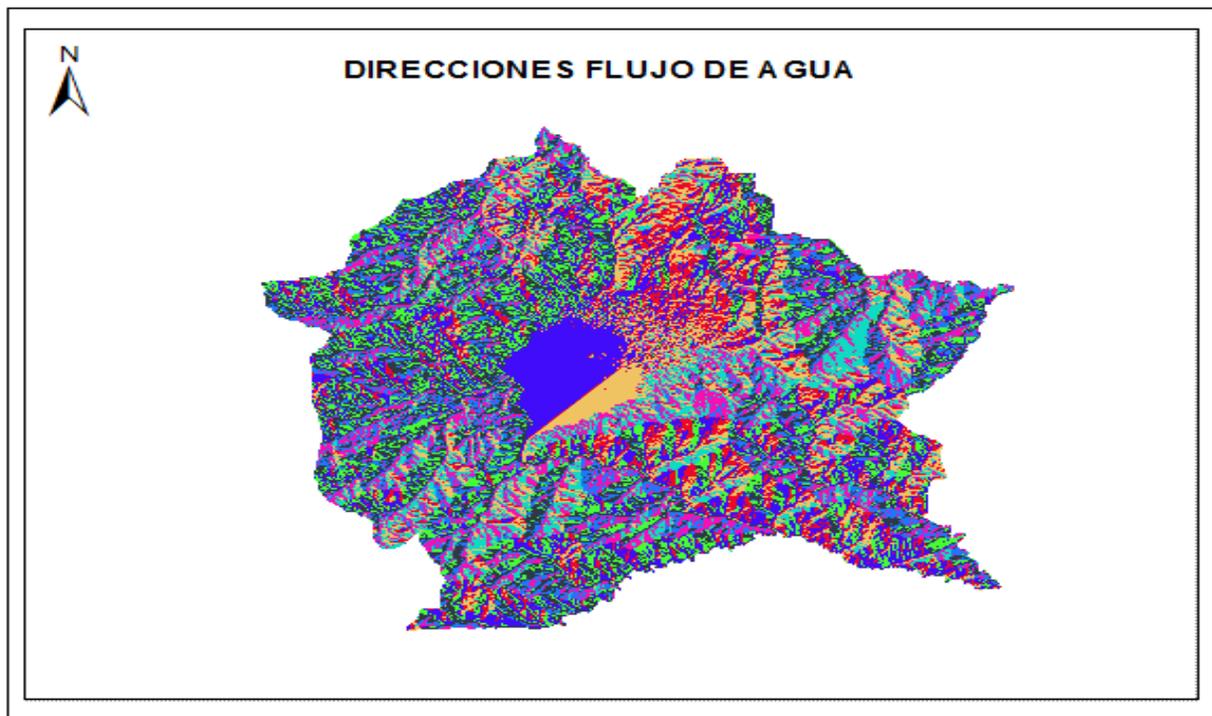


Figura 6. Direcciones Flujo de Aguas
Fuente. Esta investigación



Figura 7. Acumulación de Flujo de Aguas
Fuente. Esta investigación

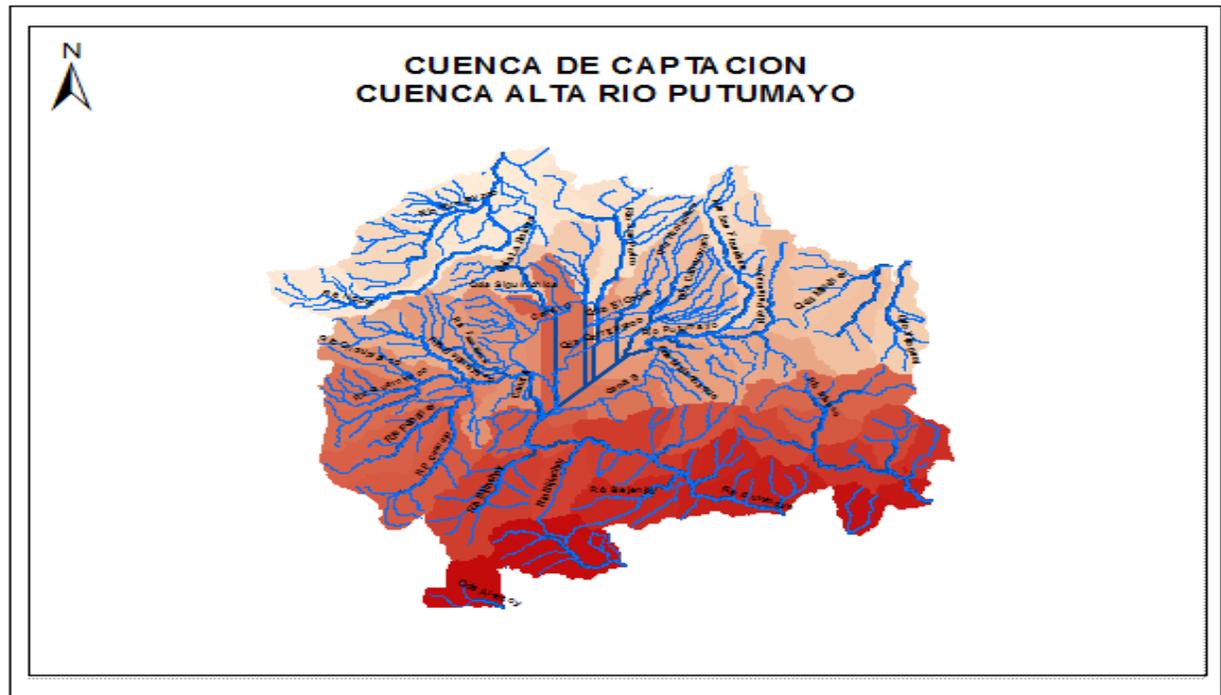


Figura 8. Cuencas de Captación
Fuente. Esta investigación

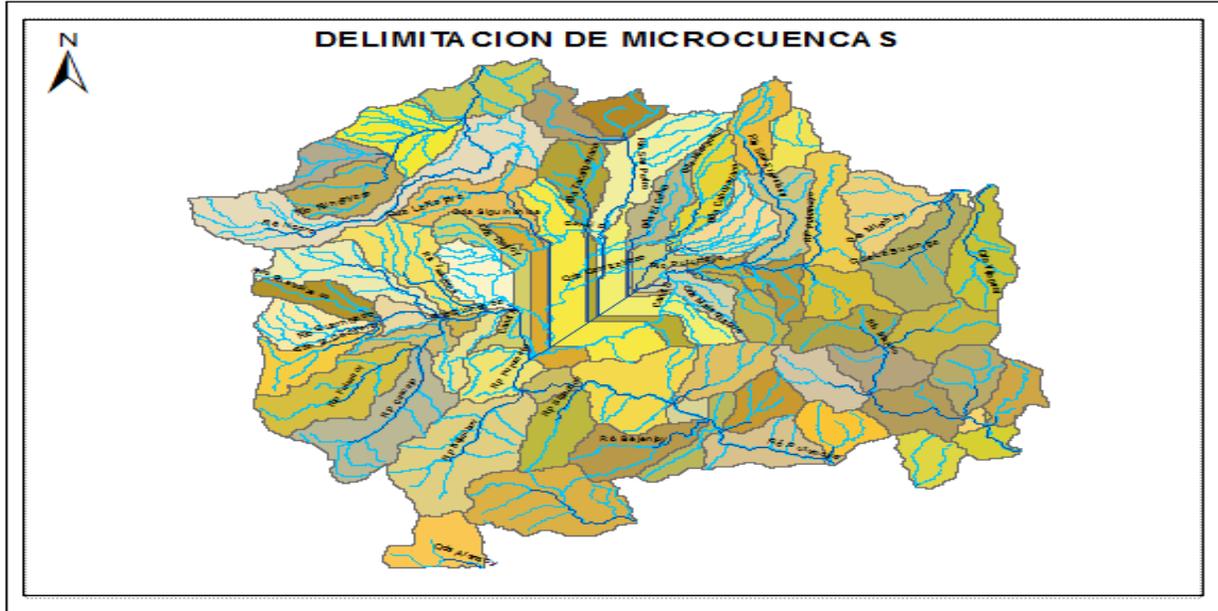


Figura 9. Delimitación de Microcuencas
Fuente. Esta investigación

6.1.3. Generación De Pendientes. A partir del modelo de elevación digital, en el software Arcgis 10.1 a través de la herramienta slope ubicada en 3d analyst.

Reclasificación del Modelo de Pendientes: se toman 4 rangos de pendientes de acuerdo a la variación del terreno. Se puede observar que las pendientes de mayor elevación se ubican sobre el contorno del Valle de Sibundoy, la parte central presenta pendientes de menor elevación.

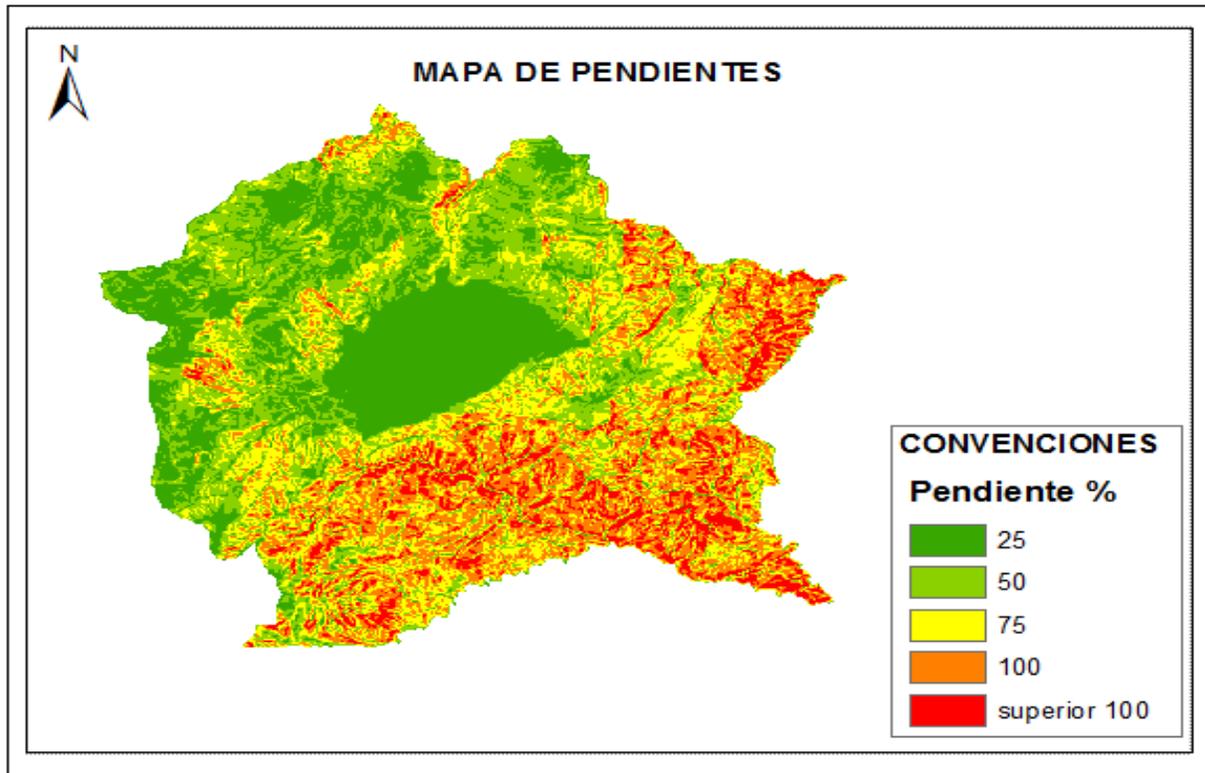


Figura 10. Mapa de Pendientes
Fuente. Esta investigación

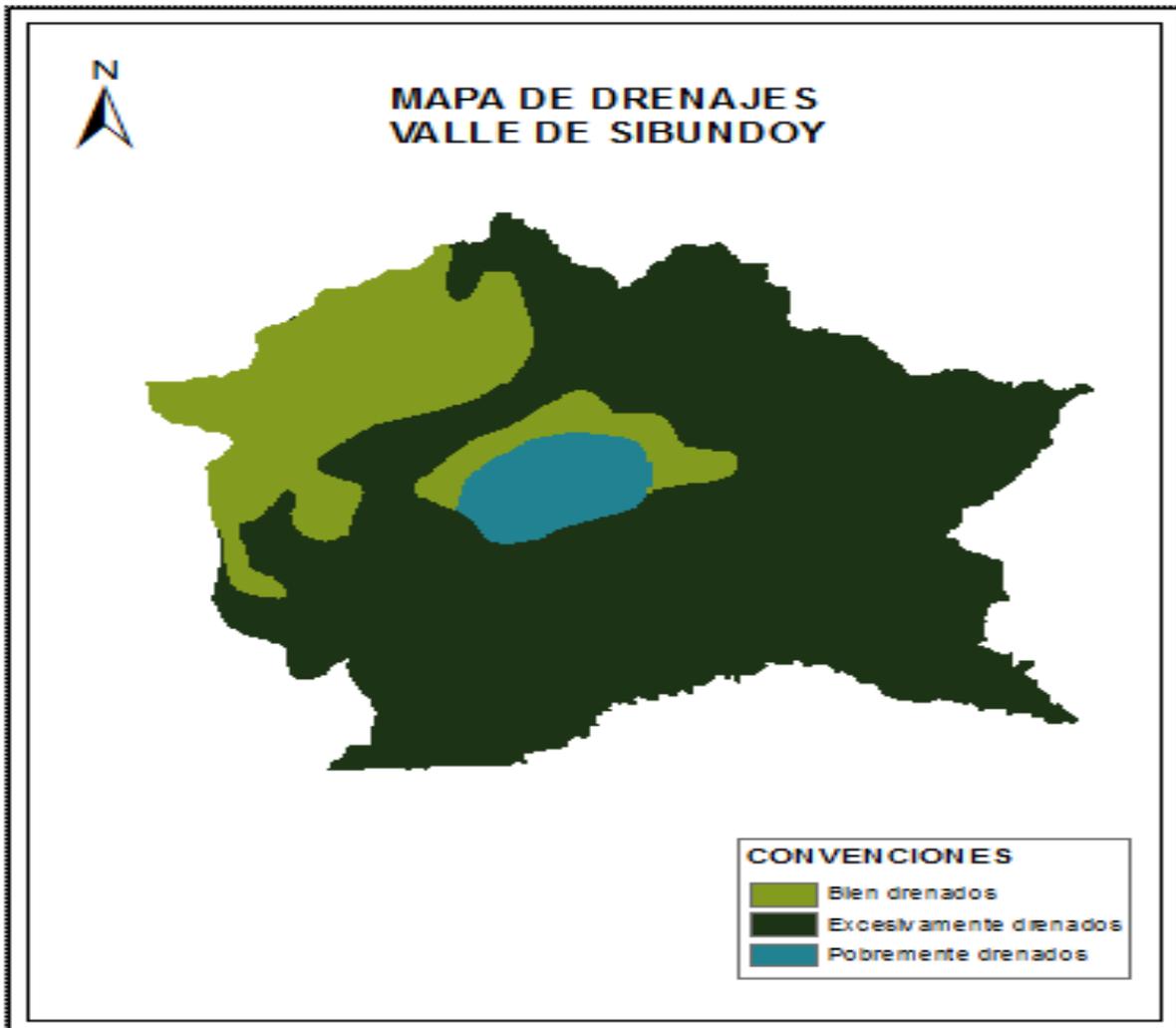


Figura 11. Mapa de drenajes

Fuente. Alcaldía Municipio Sibundoy, 2014

6.1.4 Mapa de Drenajes. Este shape se obtiene a partir del mapa Agrologico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, para la zona de estudio, verificando la tabla de atributos se puede observar datos de Profundidad, Valor de Permeabilidad, Capacidad de drenaje, tipo de suelos. Con la herramienta Conversion tools_ Polygon to raster se elige como valor de campo la casilla de DRENAJES_NA se obtiene un raster con valores de capacidad de drenajes de los suelos en el Valle de Sibundoy.

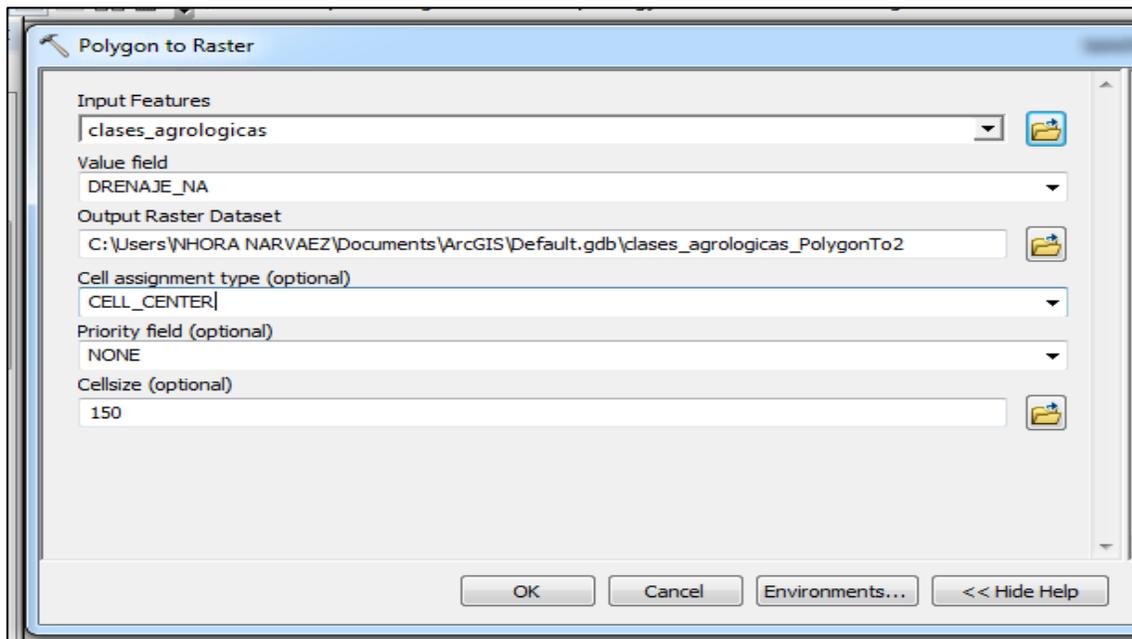


Figura 12. Sistema Raster
 Fuente. Esta investigación

6.1.5 Mapa de Permeabilidad. En el mapa de clases agrologicas en la tabla de atributos existe una celda de tipo de suelos a la cual se le asigna valores de permeabilidad acuerdo a la capacidad de drenaje de los suelos clasificados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Tabla 1. *Tabla atributos Mapa de Permeabilidad*

DRENAJE_NA	MATERIAL_P	V_PERMEABILIDAD
Excesivamente drenados	Rocas Mixtas (Complejos Ígneo - Metamórfico y Sedimental)	1.7
Bien drenados	Depósitos superficiales de ceniza volcánica	0.8
Pobremente drenados	Depósitos superficiales orgánicos	0.5

Fuente. Esta investigación

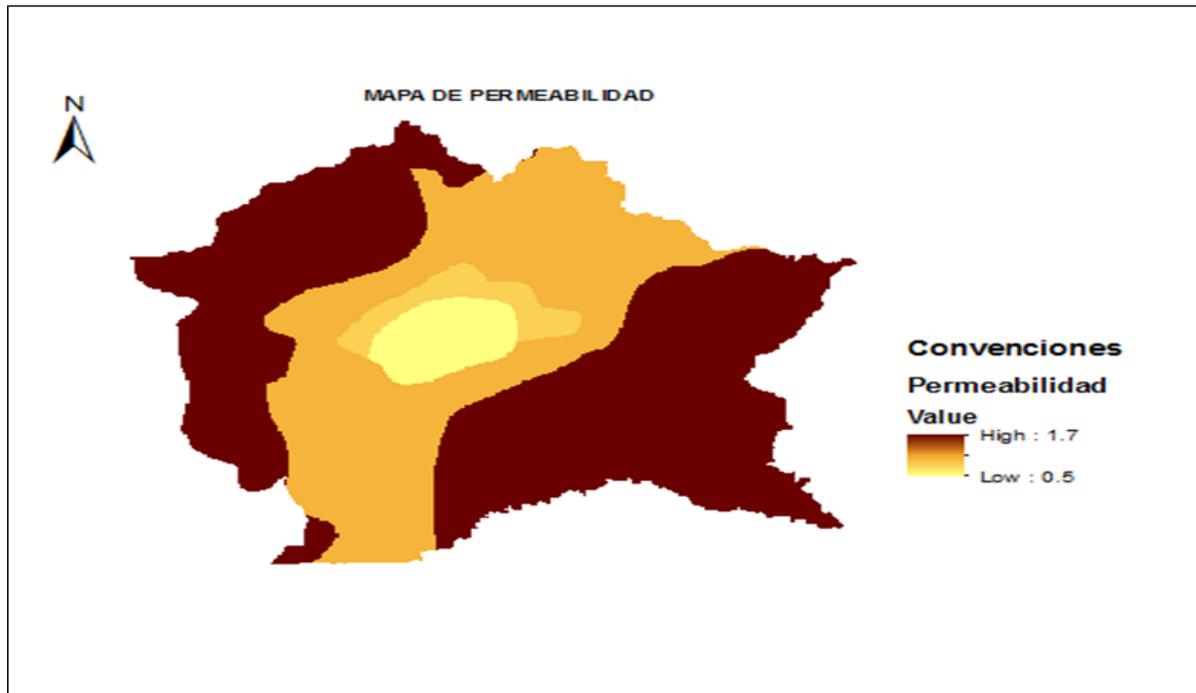


Figura 13. Mapa de Permeabilidad

Fuente. Esta investigación

6.1.6 Obtención del mapa de inundabilidad de la cuenca alta del río putumayo sobre el Valle de Sibundoy. A partir de los mapas raster que integran cada factor condicionante analizado y el empleo del Sistema de Información Geográfica se construyó el mapa de susceptibilidad de inundación de la Cuenca Alta del Río Putumayo a través de la herramienta Spatyal Analist Tools se realiza la sumatoria de todas las capas temáticas obtenidas.

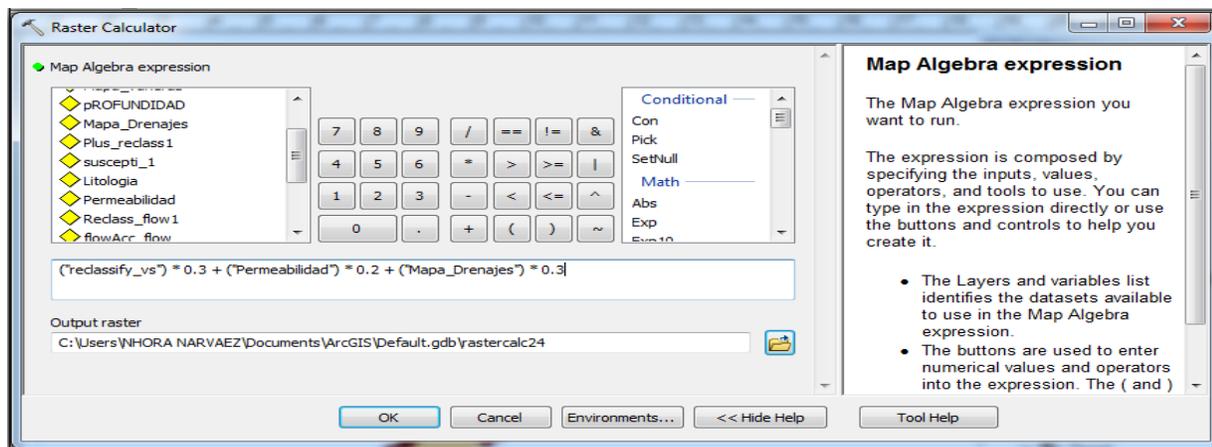


Figura 14. Sistema Raster - Mapa de susceptibilidad

Fuente. Esta investigación

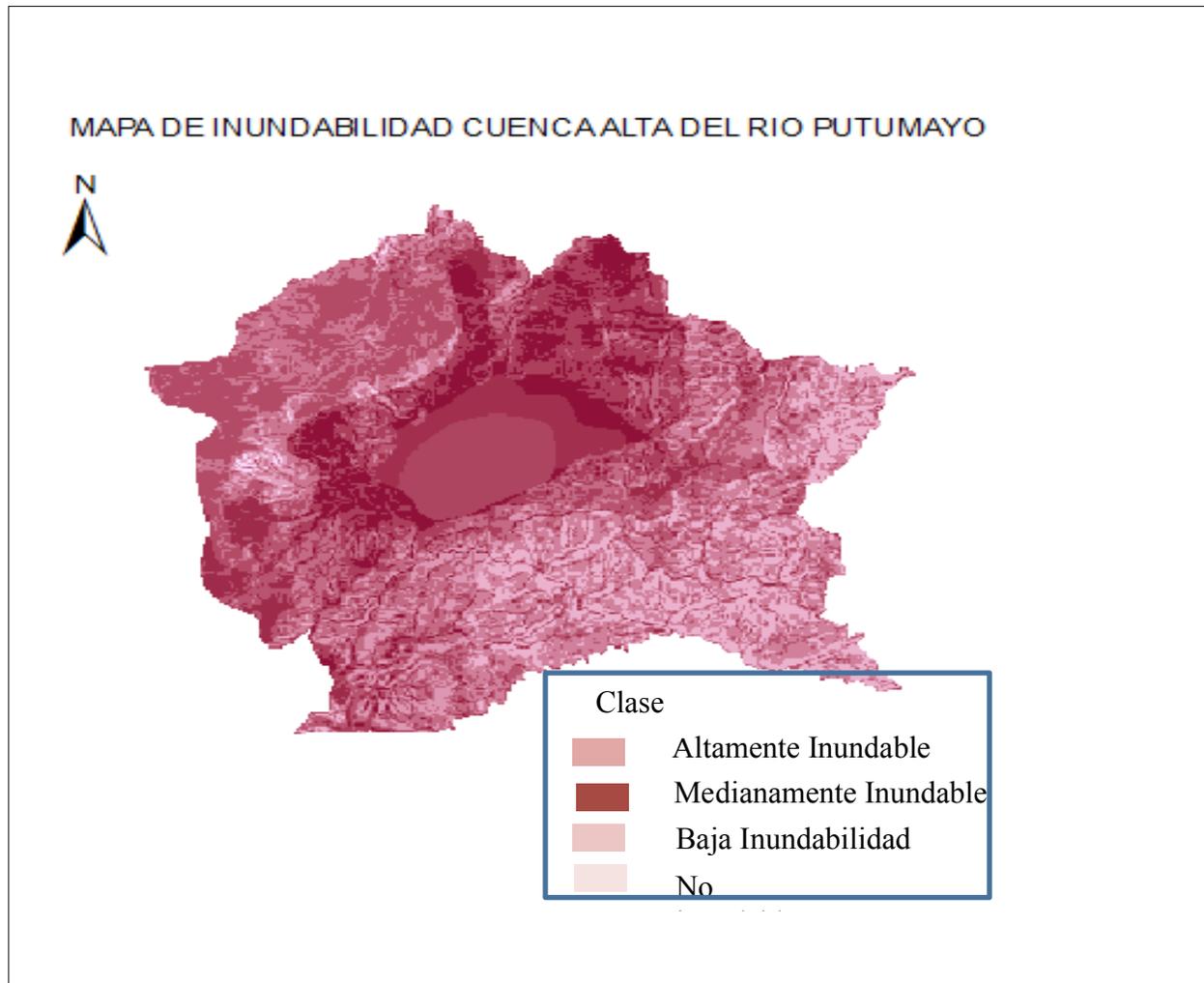


Figura 15. Suma de capas vectoriales

Fuente. Esta investigación

6.1.7 Simulación de Inundación. Para la realización de este mapa es necesario conocer datos de la geomorfología del terreno, las depresiones, pendientes, cursos de los ríos y quebradas, información que se fue generando a través de los procesos anteriores, dando como resultado un mapa de simulación de inundación del Valle de Sibundoy, en el cual se puede observar el desborde de las Quebradas que hacen parte de la cuenca abastecedora del Río Putumayo.

El terreno estudiado hace parte de un valle rodeado de montañas, el área de menor pendiente hacia el norte se ubica las poblaciones de Santiago, Colon, Sibundoy y San Francisco y hacia el sur zona rural de pendientes mínimas y expuesta a mayor

probabilidad de inundación en las temporadas de invierno de los meses de julio – agosto. Los canales que hacen parte del Distrito de drenaje administrado por INCODER territorial Putumayo esta entidad asume la descolmatación de los canales con el fin de mitigar los fenómenos naturales a los cuales se ve expuesto el Valle de Sibundoy.

Lo anterior se realizó con el software libre Global Mapper y la herramienta Simulate Water Level Rise, y layer creadas y usadas en los anteriores procesos.

Para recrear una posible inundación en el área de estudio, se toma los shapes de las quebradas y se satura el nivel de agua que soportan en su curso natural, dando como resultado el desborde del líquido sobre las áreas rurales y urbanas del Valle de Sibundoy.

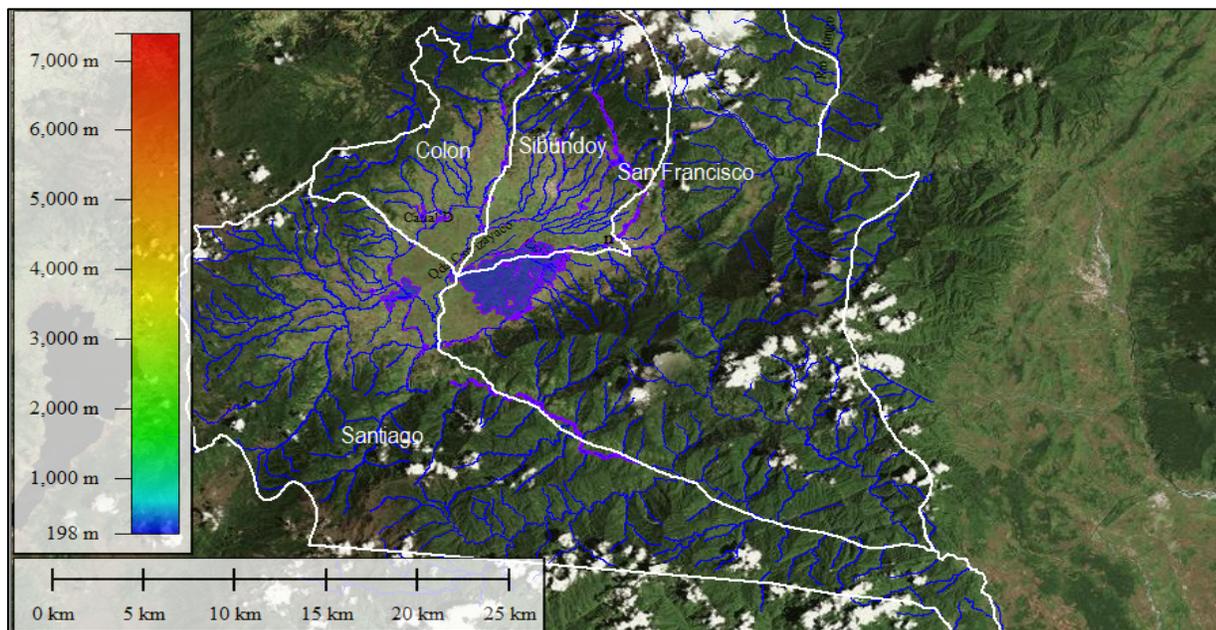


Figura 16. Simulación de Inundación
Fuente. Google Earth

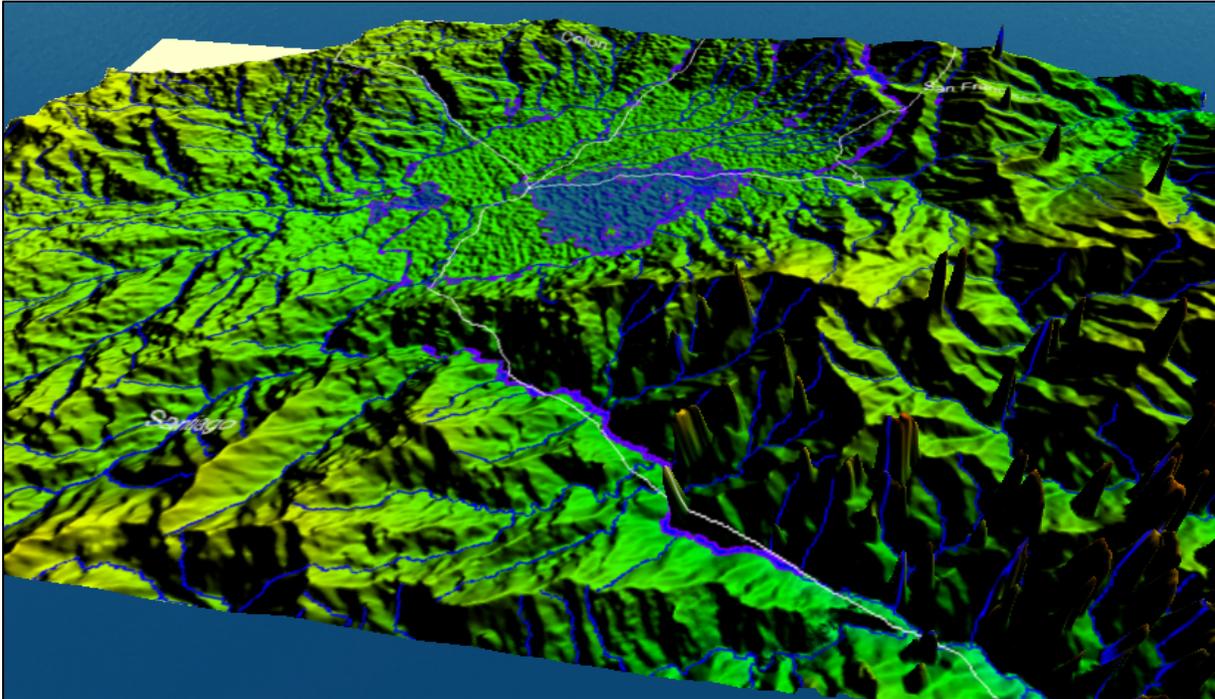


Figura 17. Simulación de Inundación
Fuente. Google Earth

6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Delimitación de Cuencas**

Los resultados de la delimitación de acuerdo al generado por Arcgis 10.1 se puede observar que existen errores en cuanto a la ubicación de las microcuencas de la Quebrada Afilangayaco, Hidráulica y carrizayaco , con respectos a la capa IGAC de Hidrografía Departamental y la orthofoto del área.

Para obtener estas microcuencas, los datos aportados por Corpoamazonia en el documento de POMCA de la Cuenca alta del Río Putumayo

- **Susceptibilidad de Inundación**

El relieve del Valle de Sibundoy es una formación montañosa de origen volcánico que rodea una planicie aluvial y de Piedemonte, donde se ubican las poblaciones de Santiago, Colon, Sibundoy y San Francisco, con una cuantiosa red pluvial que permite la alta susceptibilidad de inundación en las zonas de menor pendiente ubicadas al Suroccidente, zona de evacuación final al curso del Río Putumayo, donde confluyen las vertientes del Río San Francisco, los canales de drenaje y demás microcuencas del Valle de Sibundoy.

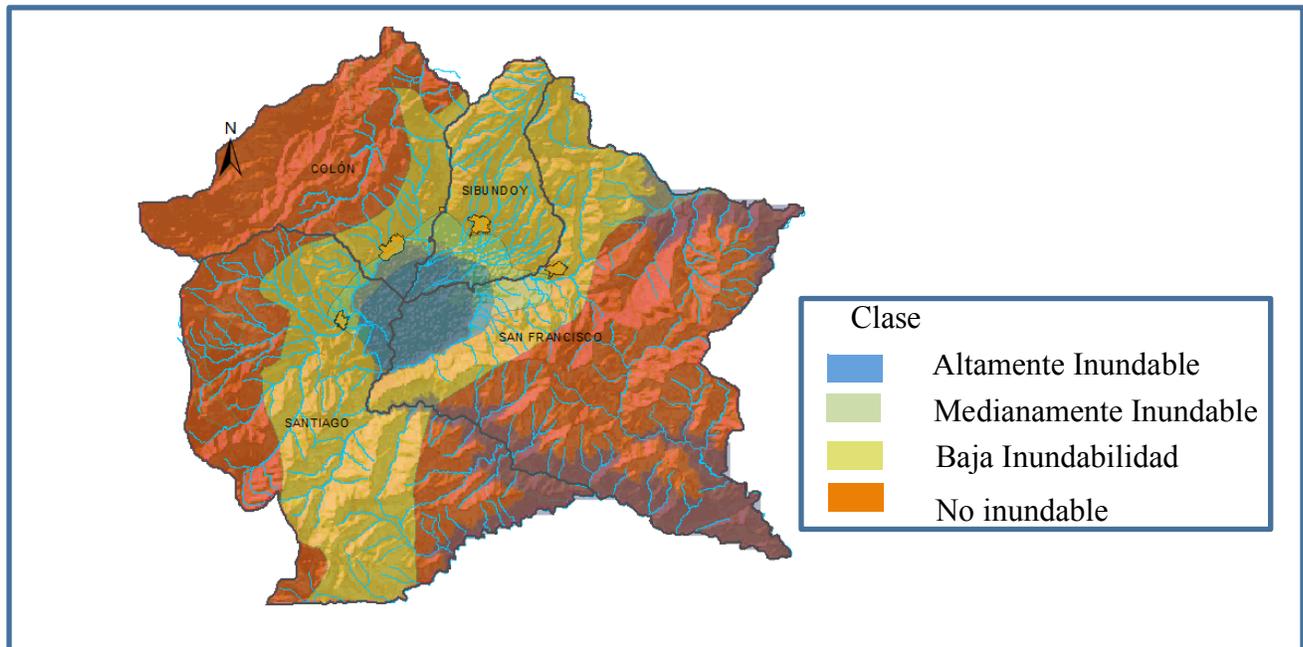


Figura 18. Susceptibilidad de Inundación

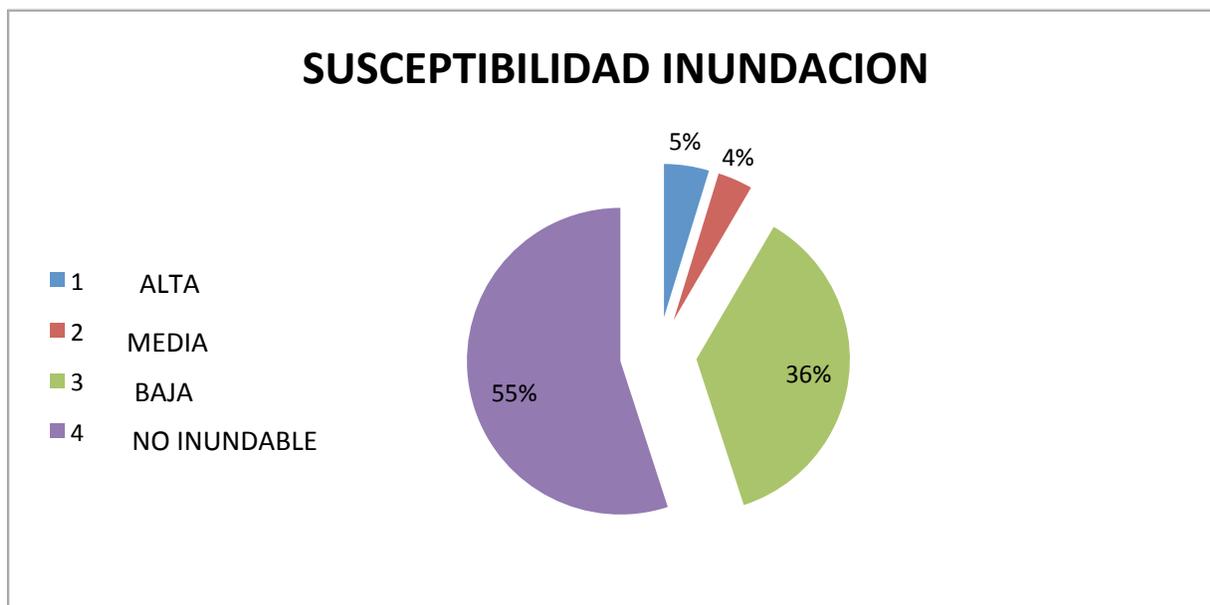
Fuente. Google Earth

- **Altamente Inundable**

Formación geomorfológica predominante, es una planicie de origen lacustre, suelos orgánicos que cubren la mayor parte, tienen su origen en una vegetación acuática, se caracterizan por ser turba con altos contenidos de materia orgánica consecuencia de la desecación natural, pobremente drenados, alto nivel freático y profundidad que va de muy superficiales a moderadamente profundas. Desde el punto de vista topográfico corresponde a las áreas más deprimidas del terreno, se ubica espacialmente en la parte SW de la cuenca del Río Putumayo. Ocupa un área de 4.754 has 5% del área total.

Tabla 2. Áreas inundables Valle de Sibundoy

CLASES	HAS	%
Altamente inundable	4754	4.74
Medianamente inundable	3555	3.67
Baja inundabilidad	36720	36.59
No inundable	55322	55



Gráfica 1. Nivel de susceptibilidad Valle de Sibundoy

Fuente. Esta investigación

Tabla 3. Veredas con alta susceptibilidad de inundación en los municipios del Valle de Sibundoy

SANTIAGO	COLON	SIBUNDOY	SAN FRANCISCO
CAMPO BELLO – TAMAUCA – PARCELAS	SAN JOSE DE LAS COCHAS- VILLA ROSA	LEANDRO AGREDA- CABUYAYA CO	BALSAYACO- LAS COCHAS – BAJO SAN JOSE – SAN JOSE DEL CHUNGA- LA MENTA Y SAN AGUSTIN

Fuente. Esta Investigación

- **Medianamente Inundable**

Presenta depósito superficial de ceniza volcánica, fluvio gravitacional, nivel ligeramente plano, suelo bien drenado, grado de erosión baja, espacialmente en esta área se ubica un 100% del área urbana de Santiago, 40% de Colon, 20% de Inspección

de San Pedro, 10% de Sibundoy y San Francisco. Dentro del área total del valle comprende un área de 3555 has 4% del área total. Tienen la capacidad de transferir o conectar excedentes hídricos una vez alcanzado su nivel máximo.

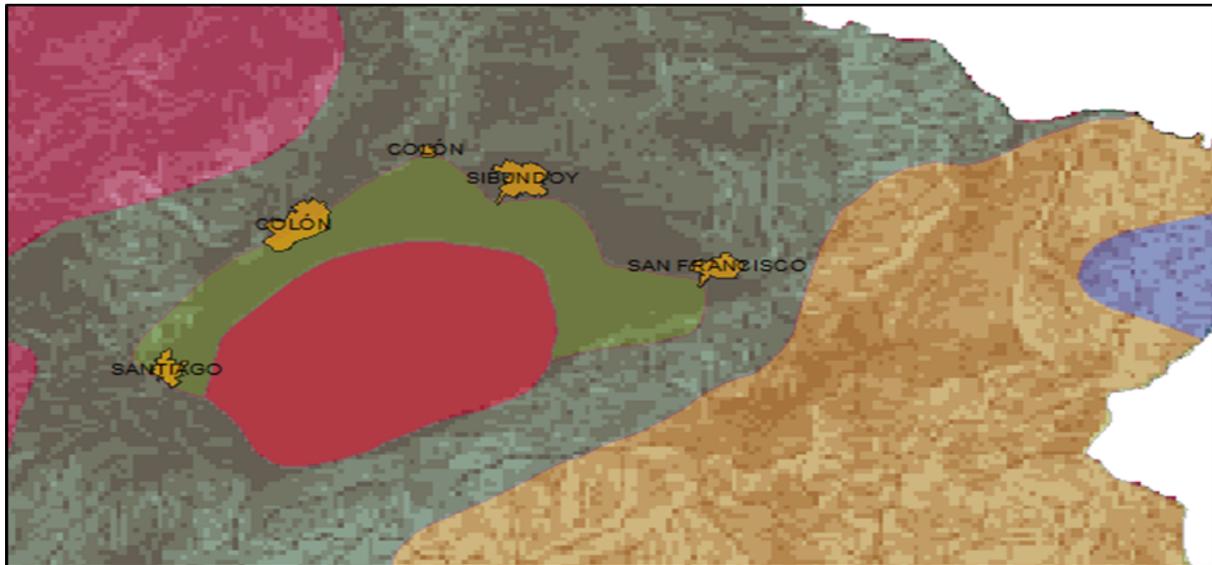


Figura 19. Área Urbana dentro de área medianamente inundable
 Fuente. Esta investigación

Tabla 4. Veredas afectadas por media inundabilidad

SANTIAGO	COLON	SIBUNDOY	SAN FRANCISCO
CASCO URBANO, QUINCHOAPAMBA, PARCELAS, DIVISO, CAMPOBELLO, TAMAUCA VIEJO	CASCO URBANO, VILLAROSA, JOSEFINA, SAN JOSE LAS COCHAS- MICHOACAN BAJO- PLAYA DEL CARMELO	LEANDRO AGREDA .	LA MENTA – SAN AGUSTIN – BAJO SAN JOSE

Fuente. Esta investigación

- **Baja Inundabilidad**

Presenta paisaje montañoso, topográficamente más elevadas de moderada a fuertemente escarpado, profundidad superficial y excesivamente drenados. Alcanzada

por las aguas en forma temporal y transitoria, no se ve afectada por la acumulación de aguas.

Tabla 5. *Veredas afectadas por baja inundabilidad.*

SANTIAGO	COLON	SIBUNDOY	SANTIAGO
MACHOY – SAN ANDRES – CRUCES – BALSAYACO	SAN JOSE DE TACANGAYACO-LAS PALMAS- SAN PEDRO	CASCO URBANO - CEDRO – LAS PALMAS – VEGAS FATIMA- CABRERA – TAMABIOY – SAN FELIX- EL EJIDO	SAN JAVIER- LA ARGENTINA- CENTRAL SAN ANTONIO- POROTOYACO – SAN ISIDRO – SAN SILVESTE

Fuente. Esta investigación

- **No Inundable**

Por su topografía de montañas altamente escarpadas, alto grado de drenaje no permite estancamiento de aguas.

- **Simulación de Inundación**

Por medio de la simulación realizada se corrobora lo generado por medio de las diferentes herramientas de Sig, demostrando así la dirección de flujo de las corrientes de agua hacia la parte más plana del valle de Sibundoy y donde confluyen todas las aguas a la parte conocida como Garganta de Balsayaco para luego seguir su curso al Río Putumayo.

CONCLUSIONES

La identificación de las áreas con la mayor probabilidad de inundación de cada uno de los Municipios del Valle Sibundoy.

Se identificaron las veredas de cada uno de los municipios que presentan mayor posibilidad de inundación en el momento de la ocurrencia de este fenómeno natural.

Por medio de las herramientas y datos se logró obtener resultados tanto en has como en % de las zonas inundables de los municipios del Valle de Sibundoy de acuerdo a su grado de probabilidad, alta, media y baja.

La investigación aplicada presenta a Hydrology como una herramienta secuencial adecuada de manejo de información, ya que al usarla permite la delimitación de las microcuencas que abastecen la cuenca alta del Río Putumayo y asocia un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas a bases de datos digitales, según se requiera.

Los sistemas de información geográfica presentan herramientas prácticas que permitieron obtener a partir de un modelo de elevación digital, mapas de susceptibilidad de inundación, la red hídrica, la dirección de flujo, mapa de pendientes, instrumentos valiosos para la toma de decisiones.

Dentro del proceso de investigación y aplicación de un Dem, imagen área de la zona y shape de red hídrica se obtiene un mapa de inundabilidad y con la herramienta 3d es posible visualizar las zonas inundables de acuerdo a la geomorfología del terreno.

RECOMENDACIONES

El presente trabajo aporta elementos claros en los cuales se visualiza el menor o mayor grado de predisposición de una zona en el momento de presentarse una inundación, esto con el fin de que las entidades competentes cuenten con anticipación con un plan de emergencias planificado y organizado, con el que se pueda reducir al mínimo las consecuencias que se puedan derivar de este fenómeno.

Al identificar la zonificación de las zonas de inundación se puede contribuir a la planificación para el uso de actividades de suelo, en este caso más relacionado a la ubicación de asentamientos humanos y al manejo de recursos naturales.

Tener en cuenta que las herramientas SIG, simplifican procesos y se obtienen resultados satisfactorios, motivo por el cual se debe mantener atentos a las actualizaciones o implementación de instrumentos que logren solucionar los problemas planteados en determinada situación.

Disponer de la capacidad de comprensión y manejo de la complejidad de las herramientas de uso y aplicaciones de los sistemas de información geográfica, para afrontar los fenómenos que se presenten y tener la información pertinente en el momento y lugar oportuno.

Conocer los diferentes programas SIG tienen una serie de funciones diseñadas para la gestión de información geográfica, por lo tanto se hace vital conocer los procedimientos de Captura, registro y almacenamiento de datos y los resultados de la información analógica ya sea en forma digital o vectorial.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. L. (2012). *Metodología de Zonificación de fenómenos de deslizamiento e inundaciones*. Cuenca.
- Alcaldía Municipal de Sibundoy. (2014). *Plan De Gestion Del Riesgo De Desastres De Sibundoy*. Alcaldía Municipal de Sibundoy, Putumayo, Sibundoy.
- Alcaldía Municipal Sibundoy. (2014). *Plan de Gestion del Riesgo Municipio de Sibundoy*. SIBUNDOY.
- Alvarado Bello , S. (2014). *Trabajo de Grado Uso de un sistema de información geográfica para el análisis de amenaza por inundaciones en la cuenca alta del río Bogotá-Municipio de cota-límites localidad de suba, . Bogotá: Universidad ctolica de Colombia*.
- Cornare, Gobernación de Antioquia. (2012). *Evaluacion y Zonificación de Riesgos por Avenida Torrencial, inundacion y mvimiento de masa y dimensionamiento de Procesos de Erosion del Municipio de San Vicente*. San Vicente Ferrer.
- gis, T.-R. s. (2015).
http://www.uco.es/treesatlab/index.php?option=com_content&view=article&id=360&Itemid=190&lang=es. Obtenido de Análisis multitemporal de cambios en la vegetación usando series temporales de imágenes.
- Gómez, N. y. (2013). *Sig para Determinar la Susceptibilidad de Movimientos en Masa en La Cuenca del Rio Montealegre*. Trabajo de Grado para optar Titulo de Especialista de Informacion Geografica, Manizales.
- MADVDT- CORPOAMAZONIA. (2009). *Contrato Interadministrativo N° 311: Documento de Seguimiento y Evaluación del Esquema de Valle de Sibundoy - Putumayo*. Sibundoy.
- MAVDT, CORPOAMAZONIA. (2009). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Alta del Rio Putumayo*. Sibundoy.
- Montecelos Zamora, Y. (2011). Diseño Metodologico para la Elaboración de Mapas de Peligrosidad de Inundacion. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. *Revista digital*, 33. Obtenido de <http://www.gesig-proeg.com.ar>
- Ospina & Valera citado por Trejos Ortega, F. R. (2012). *Produccion Agropecuaria y Ambiental del Distrito de Drenaje del Valle de Sibundoy*. Sibundoy.