

ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD A FENOMENOS DE INUNDACIÓN EN  
EL ÁREA DE INFLUENCIA URBANA DE LA QUEBRADA CHAPAL EN SAN JUAN  
DE PASTO, NARIÑO.

KATHERIN FRANCINY BENITEZ SOLARTE

DANIEL IVAN GOMEZ ARCINIEGAS

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

PROGRAMA DE GEOGRAFIA

SAN JUAN DE PASTO

2015

ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD A FENOMENOS DE INUNDACIÓN EN  
EL ÁREA DE INFLUENCIA URBANA DE LA QUEBRADA CHAPAL EN SAN JUAN  
DE PASTO, NARIÑO.

KATHERIN FRANCINY BENITEZ SOLARTE

DANIEL IVAN GOMEZ ARCINIEGAS

Trabajo de grado en modalidad Diplomado presentado como requisito  
para optar al título de Geógrafo con énfasis en Planificación Regional.

ASESOR:

MSc: CARLOS ALBERTO TORRES BURBANO

GEOGRAFO CON ENFASIS EN PLANIFICACIÓN REGIONAL

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

PROGRAMA DE GEOGRAFIA

SAN JUAN DE PASTO

2015

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Director del proyecto

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

San Juan de Pasto., Agosto de 2015

## TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
1. TÍTULO DEL PROYECTO.....	20
2. FORMULACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	21
2.1 Formulación del problema:.....	22
3. JUSTIFICACIÓN .....	24
4. OBJETIVOS .....	26
4.1 OBJETIVO GENERAL: .....	26
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS: .....	26
5. LOCALIZACION Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	27
6. MARCO CONCEPTUAL .....	30
7. MARCO NORMATIVO .....	34
7.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991. ....	34
7.2 LEY 99 DE 1993. LEY GENERAL DE MEDIO AMBIENTE. ....	34
7.3 LEY 388 DEL 1997. LEY DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. ....	35
7.4 LEY 1523 DE 2012.UNIDAD DE GESTIÓN DEL RIESGOS Y DESASTRES. ....	36
7.5 DECRETO 1729 DE 2002. CUENCAS HIDROGRÁFICAS. PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO CUENCAS HIDROGRÁFICAS (POMCH).....	37
7.6 ACUERDO NO.004 DE 2015 (15 DE ABRIL). PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) MUNICIPIO DE PASTO 2014-2027. ....	37
8. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG). ....	38
9. DIAGRAMA METODOLÓGICO .....	41
.....	41
9.2 PARADIGMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
9.3 TIPO DE ESTUDIO.....	42
9.4 PROCEDIMIENTO Y MÉTODO.....	42
10. CONCLUSIONES .....	85
11. RECOMENDACIONES .....	86
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	87
BIBLIOGRAFÍA .....	87
CIBERGRAFÍA.....	88
ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	90

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Sistema Operativo de un Sistema de Información Geográfica (SIG).	37
Tabla 2. Información obtenida por teledetección.	38
Tabla 3. Definición de ponderación y criterios de análisis.	43
Tabla 4. Rango de pendientes.	46
Tabla.5 Clasificación de la Variable pendientes.	46
Tabla 6. Área de los depósitos geológicos.	50
Tabla.7. Clasificación de la Variable Geología.	51
Tabla 8. Consolidado de Atención de Emergencias por inundación para el departamento de Nariño.	54
Tabla 9. Registros de precipitación de estaciones ubicadas en el Municipio de Pasto.	55
Tabla 10. Clasificación de la Variable precipitación.	55
Tabla 11. Ponderación de pendientes.	63
Tabla 12. Ponderación de unidades geológicas.	68
Tabla 13. Ponderación de cada variable.	77

## LISTA DE IMÁGENES

	<b>pág.</b>
Imagen 1. Localización del Área de Estudio.	27
Imagen 2. Delimitación del Área de Estudio.	28
Imagen 3. Porcentaje de población afectada en la ola invernal 2011.	53
Imagen 4. Presentación grafica de la precipitación máxima por meses y por estaciones.	56
Imagen 5. Ponderación sistema Weighted Overlay	60
Imagen 6. Procesamiento de la variable de pendientes	62
Imagen 7. Procesamiento de la variable de geología.	66
Imagen 8. Ponderación de variables en el Weighted Overlay.	75

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Variable Geología.	49
Figura 2. Modelo espacial cartográfico.	59
Figura 3. Criterio de susceptibilidad por pendientes.	65
Figura 4. Criterio de susceptibilidad de variable geología.	69
Figura 5. Proceso de mapa de isoyetas.	71
Figura 6. Mapa de isoyetas.	72
Figura 7. Mapa de ponderación de precipitación.	73
Figura 8: Mapa de Zonificación por susceptibilidad a inundación.	76

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>pág.</b>
Fotografía 1. Vivienda Quebrada Chapal.	22
Fotografía 2. Sector parque Chapalito.	22

**LISTA DE DIAGRAMAS**

**pág.**

Diagrama 1. Diagrama metodológico.

49

## GLOSARIO

- **Atributo:** Propiedad o Por ejemplo: la superficie, la población, la renta media, pueden ser atributos de la clase municipios en una base de datos (glosario de términos usados en el trabajo con sistemas de información geográfica).
- **Base de datos:** Son catalogados como conjunto de datos, los cuales han sido estructurados, para lograr un funcionamiento apropiado, bajo unos fines: almacenamiento, consulta y actualización de una información. De hecho, existe una base de datos *relacional* que permite organizar información en tablas, bajo los atributos o características que se apliquen para su búsqueda y su relacionantes.
- **Cartografía:** Conjunto de técnicas utilizadas para la construcción de mapas.
- **Comuna:** Se entiende por comuna, a la administrativa menor que corresponde a una zona urbana, rural, o mixta. Es equivalente al municipio o concejo u otras instancias de administración local.
- **Dato:** Hecho verificable sobre la realidad. Un dato puede ser una medida, una ecuación o cualquier tipo de información que pueda ser verificada (en caso contrario se trataría de una creencia).
- **Digitalizar:** Operación de codificar la información en cifras, la digitalización se aplica habitualmente a la codificación de la información gráfica (mapas y planos convencionales) pero puede ser aplicada con propiedad a todo tipo de información para la construcción de bases de datos digitales
- **Georeferenciar:** Asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura. El concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada píxel de la imagen un par de coordenadas, caso de X y Y, en un sistema de proyección.
- **Leyenda:** Listado ordenado y estructurado de las relaciones símbolo/valor para las variables representadas en un mapa, la leyenda debe permitir interpretar los significados de los recursos gráficos usados en el mapa.

- **Líneas:** Las líneas unidimensionales o polilíneas, son usadas para rasgos lineales como ríos, caminos, ferrocarriles, rastros, líneas topográficas o curvas de nivel. En los elementos lineales se pueden medir las distancias.
- **Mapa:** Es un modelo gráfico de la superficie terrestre donde se representan objetos espaciales y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas. Un mapa puede ser analógico (impreso sobre papel, por ejemplo) o digital (codificado en cifras, almacenado en un ordenador y presentado en una pantalla). Existen mapas métricos, diseñados para representar distancias, superficies o ángulos; y mapa topológicos; diseñados para representar vecindad, inclusión, conectividad y orden, en el contexto de los SIG. Un mapa es la presentación de cualquier estructura de datos usada para reflejar cartográficamente una variable espacial (nominal o cuantitativa) independientemente del modelo de datos utilizado (vectorial o raster).
- **Metadato:** Información sobre las características de un conjunto de datos típicamente, los metadatos incluyen información anexa al cuerpo de datos principal (por ejemplo, un modelo digital de elevaciones) sobre extensión geográfica, estadísticas, autoría, metodología, calidad de la información, etc.
- **Modelo:** Representación simplificada de un objeto o proceso en la que se representan algunas de sus propiedades, un modelo reproduce solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda, por tanto, representado por otro objeto o sistema de menor complejidad; los modelos se construyen para con o cero predecir propiedades del objeto real.
- **Modelo de datos:** Esquema conceptual utilizado para representar la realidad mediante un modelo de datos; intenta solucionar el problema de cómo dar el paso realidad a modelo, es decir, cómo representar la realidad de forma adecuada y eficiente. Un mismo modelo de datos puede luego expresarse en diferentes estructuras de datos, según la forma física en la que se organiza la información.
- **Ordenamiento territorial:** El ordenamiento territoriales una de las políticas nacionales, aplicada en los últimos años para aportar a la construcción del desarrollo por regiones. Tiene que ver por una parte, con la organización político administrativa que adopte el estado para gobernar las diversas territorialidades surgidas de la evolución económica, social, política y cultural del país y, por otra, con los cambios en la

ocupación física del territorio, como resultado de la acción humana y de la misma naturaleza.

- **Plan de ordenamiento territorial(POT):** Es el instrumento técnico y normativo, mediante el cual la administración municipal concertadamente con los actores sociales y particulares fijan objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo del municipio (áreas urbana y rural) a corto, mediano y largo plazo, para mejorar el nivel y calidad de vida, (en concordancia con el modelo de desarrollo socioeconómico y en armonía con el medio ambiente y las tradiciones históricas y culturales de la región.
- **Polígono:** Figura geométrica plana formada por, al menos, un anillo externo un polígono puede tener anillo(s) interno(s) en cuyo caso se habla de un polígono compuesto en vez de un polígono simple.
- **Predio:** Se denominará predio, el inmueble perteneciente a una persona natural o jurídica, o a una comunidad situada en un mismo municipio y no separada por otro predio público o privado
- **Predio urbano:** Predio urbano es el inmueble que se encuentra ubicado dentro del perímetro urbano de un municipio.
- **Puntos:** Se utilizan para las entidades geográficas que mejor pueden ser expresadas por un único punto de referencia. Por ejemplo la localización de pozos, picos de elevaciones o puntos de interés. También se pueden utilizar para representar en escalas pequeñas zonas como ciudades en lugar de polígonos.
- **Urbanización:** Se entiende por urbanización el fraccionamiento material del inmueble o conjunto de inmuebles urbanos pertenecientes a una o varias personas jurídicas o naturales, destinado a la venta por lotes en zonas industriales, residenciales, comerciales o mixtas, con servicios públicos y autorizados según las normas y reglamentos urbanos.
- **Red:** Modelo de datos formado por nodos y conexiones entre ellos tanto los nodos como las conexiones pueden tener atributos propios como, por ejemplo, longitud, resistencia, sinuosidad. El análisis de redes agrupa un conjunto de técnicas simplificadas en la resolución de cuestión es que pueden ser modeladas mediante una red, por ejemplo, determinación del camino de mínimo coste entre dos puntos.

## ABREVIATURAS

SIG: Sistema de Información Geográfica.

GIS: Geographic Information System.

SIG-OT: Sistemas de Información Geográfica-Ordenamiento Territorial

POT: Plan de Ordenamiento Territorial.

POMCH: Plan de ordenación y manejo cuencas hidrográficas.

ArcGIS: Sistemas de Información Geográfica-Programa.

DEM: Modelo Digital de Elevación.

BGG: Base de datos gráfica.

BDA: Base de datos Alfanumérica.

SGBD: Sistema Gestor de Base de Datos.

PMGR: Planes Municipales para la Gestión del Riesgo.

SNGRD: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

EMPOPASTO: Empresa de Obras Sanitarias de Pasto.

CORPONARIÑO: Corporación Autónoma Regional de Nariño.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

CMGRD: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

PMGRD: Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres.

## RESUMEN

El presente trabajo se basa en la aplicación de herramientas de geoprosesamiento del software ArcGIS 10.2 (Versión Académica) para el análisis y modelamiento espacial de zonas susceptibles a inundaciones en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal en la zona urbana del Municipio de Pasto.

Se realizó un análisis integral de la zona de estudio, considerando los elementos físicos que potencian los efectos de las lluvias, como la pendiente, el tipo de usos de suelo de la planta urbana, el comportamiento de las precipitaciones presentes y además los predios cercanos al curso de agua en estudio.

Se trabajó sobre los conceptos como susceptibilidad y sistemas de información geográfica. Para este estudio se realizó un análisis de la precipitación, tomando como referencia un período de 20 años (1988-2008). Se registró el comportamiento de las precipitaciones en cuanto a su periodicidad.

En el trabajo se implementó la técnica de Evaluación Multicriterio. Para poder visualizar las áreas, se optó por construir un modelo de ponderación (Weighted Overlay). Esta metodología, empleada para la integración de variables de distinta naturaleza, consiste en seleccionar los criterios necesarios para llegar al objetivo planteado, es decir la localización de las zonas de mayor susceptibilidad a inundación en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal en el Municipio de Pasto - Nariño.

A cada variable se le asignó un peso, considerando, el mayor peso en porcentaje a la variable de pendientes, luego la composición geológica del área de estudio y por último un menor peso a la precipitación. Las tres variables determinan la zonificación de la susceptibilidad de inundación presente en cada zona, a mayor precipitación (alta), menor permeabilidad del suelo (baja) y menor pendiente (baja); esto será mayor susceptibilidad a inundación (alta).

Igualmente, se tuvo en cuenta que en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal al entrar al sector urbano, se presentan una serie de indebidas intervenciones de usos del suelo, tales como: construcciones de viviendas sobre la ronda del río (descargas domésticas), además, algunas intervenciones de canalización de la Quebrada a la altura de Parque de Chapalito, obras de infraestructura (canalización y puentes) que incrementan el riesgo de inundación en épocas de invierno.

A partir de la implementación de este modelo y el análisis de estas áreas de influencia, se tendrá como resultado la zonificación de la susceptibilidad a inundación de la Quebrada Chapal, modelo que podrá ser aplicado en otros sectores de la ciudad con superficies mayores, contribuyendo a la gestión del riesgo y a la prevención de desastres en el territorio urbano del Municipio de Pasto.

## **ABSTRACT**

This work is based on the application of the ArcGIS geoprocessing tools 10.2 software (Academic Version) for spatial analysis and modeling of areas susceptible to flooding in the areas of influence to Rio Chapal in the urban area of the municipality of Pasto.

A comprehensive analysis of the study area was conducted, considering the physical elements that enhance the effects of the rains, as the slope, type of land use of urban ground, the behavior of rainfall and also present nearby farms to watercourse under study.

We worked on concepts such as susceptibility and geographic information systems. For this study an analysis of the precipitation, with reference to a period of 20 years (1988-2008) was performed. Precipitation behavior in their frequency was recorded.

At work multicriterial evaluation technique was implemented. To view the larger areas, it was decided to build a model weighting (Weighted Overlay). This methodology, used for the integration of variables of different nature, is to select the criteria for reaching the stated goal, namely the location of the areas most susceptible to flooding in the areas of influence to Rio Chapal in the municipality of Pasto - Nariño.

Each variable was assigned a weight, considering the largest percentage weight to the variable slope, then the geological composition of the study area and finally a lower weight to precipitation. The three variables determine the zoning of flood susceptibility present in every area, most precipitation (high), lower soil permeability (low) and lower slope (low); this will be more susceptible to flooding (high).

Similarly, it took into account that in the areas of influence of the river Chapal to enter the urban sector, a number of improper land use interventions, such as are presented: apartment buildings on the river bank (domestic discharges), plus some interventions channeling the river up to Park Chapalito, infrastructure (pipelines and bridges) that increase the risk of flooding in winter times.

Since the implementation of this model and analysis of these areas of influence, it will result in zoning susceptibility to flooding of Rio Chapal model that can be applied in other areas of the city with larger areas, contributing to the risk management and disaster prevention in the urban municipality of Pasto.

## INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos amenazantes que ocurren con frecuencia y tienen un alto costo en cuanto a pérdidas humanas y económicas se refiere, para ello se requieren de una predicción rápida y en tiempo real de la magnitud del desastre. Para la determinación de zonas susceptibles a inundaciones, existen diversas metodologías como estudios con fotografías aéreas, imágenes por satélite o evaluaciones *in situ*, donde se observa la marca de la anterior avenida y así tomar las precauciones convenientes.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son una serie de técnicas y procesos que por medio de computadoras y datos geográficos ayuda a un mejor entendimiento del medio en que vivimos y nos permite resolver los problemas que diariamente afrontamos. El SIG es usado para diagnosticar zonas con posibles desbordes de los ríos y planificar acciones para mitigar la ocurrencia de inundaciones, integrando modelos hidráulicos e hidrológicos así como fotografías aéreas e imágenes por satélite.

Este trabajo consiste en la aplicación de herramientas del software ArcGIS 10.2 (Versión Académica), como instrumento de análisis y modelamiento espacial para evaluar el grado de afectación y susceptibilidad de ocurrencia de inundación en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal.

Para ello se necesitaron datos esenciales para la identificación del área de estudio como: el DEM (modelo digital de elevación), Ortofoto con resolución de 3 metros, registros de inundación, datos de infraestructura de predios ubicados dentro del área a estudiar, las pendientes para identificar la zona más susceptible a inundación, precipitación, geología y geomorfología.

Estos datos son geoprocados en el modelo que se da a conocer, con el objeto principal de zonificar y analizar la susceptibilidad a inundación a través de la aplicación de la herramienta SIG.

## **1. TÍTULO DEL PROYECTO**

ZONIFICACIÓN POR SUSCEPTIBILIDAD A FENOMENOS DE INUNDACIÓN EN EL ÁREA DE INFLUENCIA URBANA DE LA QUEBRADA CHAPAL EN SAN JUAN DE PASTO, NARIÑO.

## 2. FORMULACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La Ciudad de San Juan de Pasto por su localización en la zona andina y en la franja tropical del planeta, está sometida periódicamente a la ocurrencia de ciclos invierno caracterizados por lluvias torrenciales.

A estos fenómenos naturales se agregan otros factores antrópicos, relacionados con la falta de una planificación ambiental adecuada y un ordenamiento territorial, que a pesar de contar con unos instrumentos normativos que regulan el crecimiento de la ciudad, no han permitido establecer claramente las restricciones en los asentamientos poblaciones (comunas y barrios del suelo urbano), estos se han desarrollado sobre los bordes de los ríos y quebradas, en terrenos planos con escasos desagües, en suelos de alta pendiente, aumentando los riesgos de ser afectados por la frecuentes inundaciones.

Este es el caso de la Quebrada Chapal, tiene su nacimiento en las faldas de sistema volcánico Galeras en la unión de las quebradas Hato Viejo y Pisisiquí. Esta Quebrada es el principal afluente del Rio Pasto, el área de la cuenca hidrográfica es de 71,12 Km<sup>2</sup> y su cauce principal tiene una longitud de 11,99 Km.

En el tramo superior de su cuenca se presenta una explotación agropecuaria de tipo minifundista sin embargo existe la problemática que frente a la carencia de servicios públicos de calidad, la comunidad se ve obligada a intervenir el sistema ecológico lo que se percibe con la expansión de fronteras agrícolas sobre zonas de importancia para el mantenimiento de las fuentes hídricas a esto se le suma a la utilización de fertilizantes que posteriormente son vertidos a la Quebrada generando contaminación.

En la parte media de su cuenca al pasar por el Corregimiento de Catambuco en algunos tramos de la Quebrada predomina la vegetación arbustiva y especies arbóreas respetándose la protección de la ronda, sin embargo continua presentando mayores grados de contaminación al recibir aguas negras, basuras y desechos semi-industriales de fábricas, moteles y viviendas que descargan sus residuos sobre la Quebrada.

En el tramo inferior de la cuenca la Quebrada ingresa al suelo urbano del Municipio, a través de un estrecho cauce a la altura del Parque de Chapalito, situación que aumenta el grado de acumulación del caudal hídrico en las épocas de invierno, además, siendo acentuado este fenómeno por la pendiente del terreno que baja desde el Corregimiento de Catambuco, acrecentando el problema ya que incrementa el nivel de susceptibilidad ante posibles inundaciones. Al llegar a la zona plana recibe un gran volumen de material contaminante proveniente de industrias y de descargas de aguas residuales de los barrios Chapalito, Chapal, Las Lunas, El Pilar, La Vega, que en combinación con otros factores como ciclos invernales, la morfología del lugar y la mala planificación generan las conocidas inundaciones.

### **2.1 Formulación del problema:**

¿Cómo la aplicación de herramientas SIG en la zonificación de amenazas, permite la identificación de áreas susceptibles a fenómenos de inundación en el área de influencia urbana de la Quebrada Chapal?

**Fotografía 1. Vivienda Quebrada Chapal. (Sector El Remanso – Salida al Sur)**



**Fuente: Este estudio.**

**Fotografía 2. Erosión Quebrada Chapal. (Sector Parque Chapalito)**



**Fuente: Este estudio.**

### 3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realiza con miras al análisis de la susceptibilidad por medio de una zonificación; frente a fenómenos de inundación, lo cual es indispensable justificar su importancia en la medida de que son procesos geográficos que ayudarán a establecer una metodología por medio de modelos cartográficos, donde su utilidad será la más acertada a la hora de estudiar la amenaza y su afectación en su espacio, es por ello que se ve necesario e importante la generación de un modelo que guie futuros análisis y cruces de información donde pueda predecir el grado de afectación para tal eventualidad.

Cabe destacar la estrecha relación existente entre la gestión del riesgo y la planificación del territorio, utilizando una de las nuevas herramientas para el análisis y prospectiva del espacio, conocida en el ámbito de las instituciones públicas y privadas, como Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante el cual es posible modelar los espacios vulnerables de suelos urbanos, rurales y protección, en los municipios, y de esta manera en la medida de su aplicación, prevenir, evitar y mitigar esos potenciales fenómenos naturales que tanto perjudican el desarrollo social y económico de las poblaciones, y pone en peligro la integridad no sólo de las personas, sino de las infraestructuras existentes.

Esta zonificación por susceptibilidad a inundación en un espacio delimitado de la ciudad de San Juan de Pasto, puntualmente definido en el eje hídrico de la Quebrada Chapal, permitirá en primer lugar, visualizar la situación actual del riesgo por inundación al cual está sometida periódicamente la población asentada en el entorno, y en segundo lugar, hará posible obtener una ordenación de los datos, a través de un adecuado proceso de sistematización de la información, y establecer finalmente los respectivos cruces que generen unos resultados, los cuales contribuirán a analizar el estado de vulnerabilidad de la población y propiciar unas recomendaciones que permitan mejorar el bienestar y seguridad de la ciudadanía del sector en estudio.

Desde la Geografía, a través del presente estudio aporta, por manifestarse como ciencia esencial del territorio con visión del medio físico y social con características físicas y humanas de nuestro mundo, desde el entorno local inmediato (el espacio de los lugares) al mundo general .Todo ello dependiendo de su dimensión regional o nacional. La Geografía suministra los elementos culturales indispensables para obtener una visión comprensiva de la Tierra, de sus realidades, de sus problemas y de los riesgos que corren quienes la habitan. Pero, además de esta comprensión general, la Geografía dota de una sólida base teórica y metodológica, técnica e instrumental, a los profesionales encargados de analizar los procesos y recomendar soluciones que ayuden a mitigar o resolver los diversos desafíos del entorno espacial, pues es en el territorio concreto donde se manifiestan y expresan los hechos y fenómenos políticos, económicos, sociales y ambientales que, desde la complejidad de las relaciones humanas y espaciales, configuran el mundo actual.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL:**

Establecer una zonificación por susceptibilidad a fenómenos de inundación en el área de influencia Urbana de la Quebrada Chapal en san Juan de Pasto, Nariño.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

3. Analizar la información documental de las diferentes variables (capas) que se utilizarán en la definición de criterios de ponderación.
4. Procesar la información en el software ArcGIS 10.2 (Versión Académica), por medio de un modelo espacial cartográfico.
5. Generar la cartografía utilizando los resultados arrojados con la aplicación del modelo de zonificación por susceptibilidad a inundaciones de la Quebrada Chapal, a través de los diferentes mapas obtenidos.

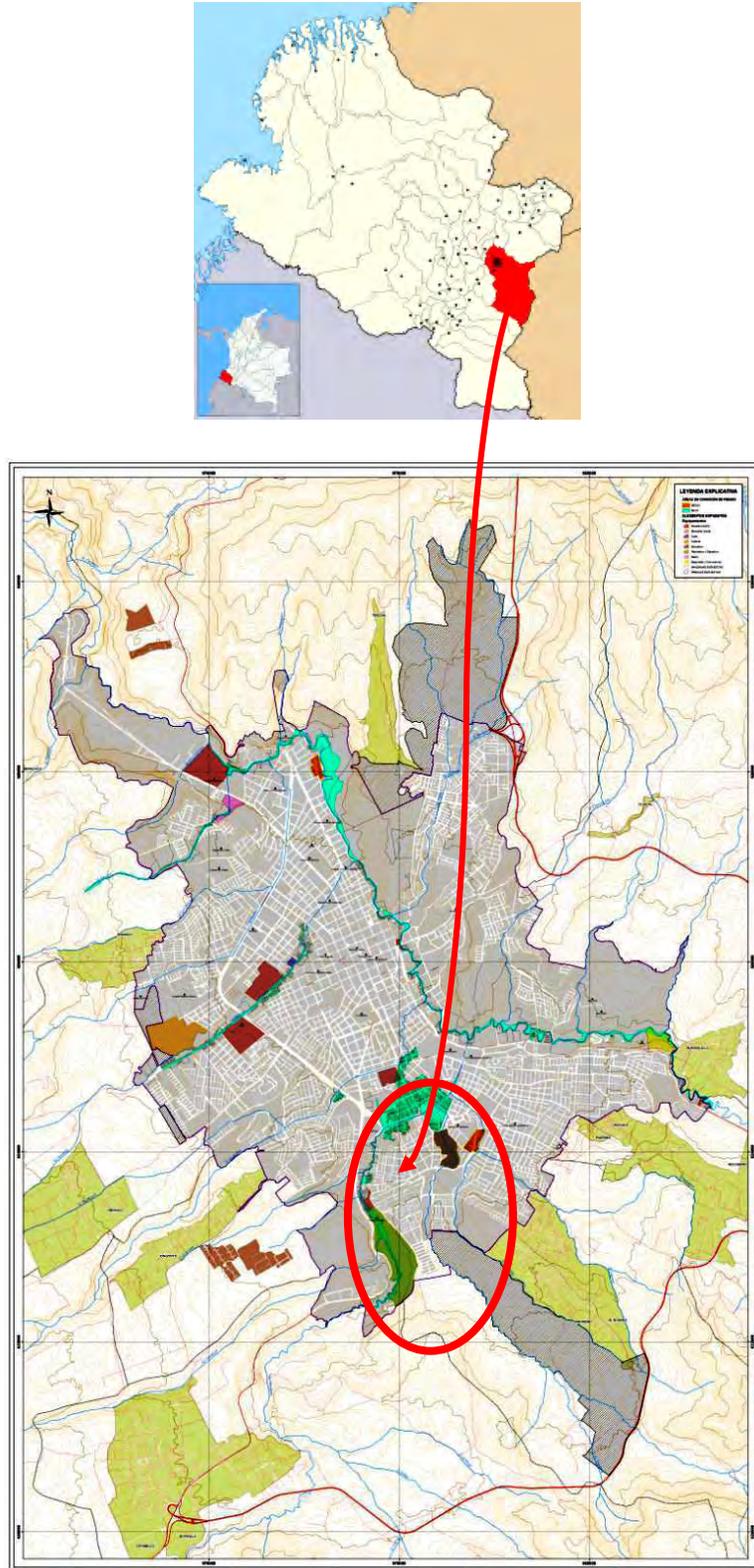
## **5. LOCALIZACION Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

El municipio de Pasto está situado en el Sur Occidente de Colombia, en medio de la Cordillera de los Andes en el macizo montañoso denominado nudo de los Pastos y la Ciudad está situada en el denominado Valle de Atriz, al pie del volcán Galeras y está muy cercana a la línea del Ecuador. Pasto se encuentra a 795 kilómetros al Sur Occidente de la Capital de la República. Limita al Norte con los municipios de La Florida, Nariño, Chachagüí y Buesaco, por el Sur con el Departamento de Putumayo y el municipio de Funes, por el Oriente con el municipio de Buesaco y el Departamento de Putumayo y por el Occidente con los municipios de Tangua, Consacá y La Florida.

La zona urbana del Municipio de Pasto se encuentra localizada en el altiplano, conocido como el Valle de Atriz, el cual se halla irrigado por un sistema hidrográfico cuyo eje principal es el Río Pasto, al cual tributan numerosas ríos y quebradas entre las cuales se destacan los siguientes: Quebrada San Miguel, Quebrada Rosales, Quebrada Blanca, Quebrada Cujacal, Quebrada El Quinche, Quebrada Charguayaco-Méjico, Quebrada El Salto-El Chilco, Quebrada Mijtayo (EMPOPASTO, 1999).

Igualmente, a este sistema hídrico urbano, pertenece la corriente de la Quebrada Chapal, que tiene su nacimiento en las estribaciones del Volcán Galeras, y atraviesa el casco urbano en sentido sur a Suroriente, observándose que gran parte de su recorrido está canalizado, específicamente entre el Estadio Departamental y su desembocadura en el Río Pasto; cabe destacar que de la Quebrada Chapal, pertenece territorialmente a la Microcuenca del Río Miraflores, con un área de 71,12km<sup>2</sup>, corriente que recibe como afluente en el sector rural las aguas de las quebradas de Turupampa, Aserradora, Santa Isabel, Catambuco, Loreana, Botana, Guachucal, Cubijan, aportando un caudal de 1.110,9 lt./seg, y una longitud del cauce principal de 11,99km. (Agenda Ambiental, Municipio de Pasto, 2003).

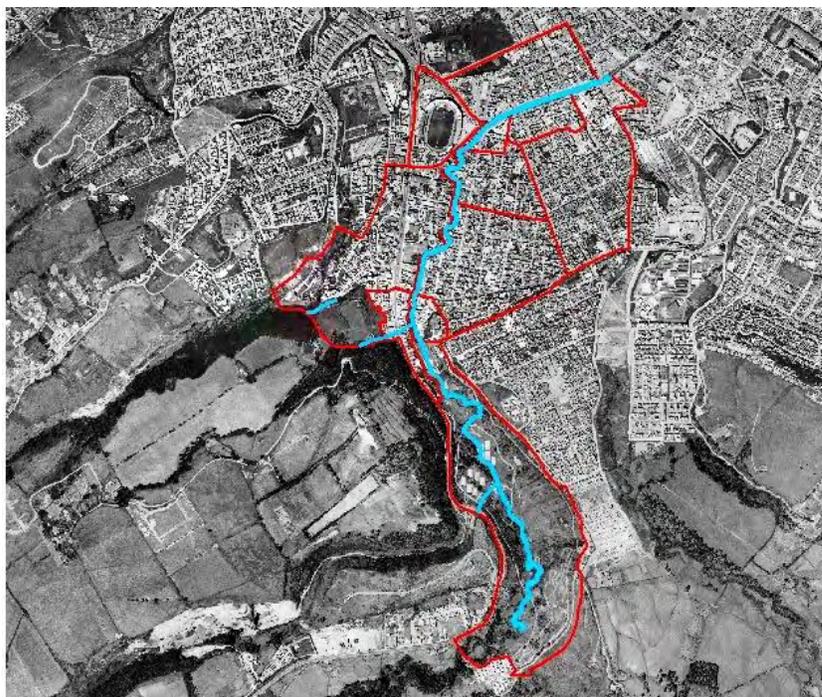
**Imagen 1. Localización del Área de Estudio.**



Fuente: POT, Pasto: Territorio con sentido, 2014-2027.

En este contexto geográfico e hidrográfico se desarrollará la investigación, y el área seleccionada dentro del suelo urbano de Pasto es la comprendida por el recorrido que hace la Quebrada Chapal entre el Parque de Chapalito, El Estadio Libertad y la Avenida IDEMA, involucrando en su área de influencia un gran número de barrios como Chapalito, Chapal, Las Lunas, Las Lunas II, Villa del Rio, La Vega, El Progreso, El Pilar y El Remanso, los cuales se encuentran distribuidos en las comunas 2, 5 y 6, que frecuentemente se ven amenazados por inundaciones en épocas de invierno, dadas las condiciones topográficas planas y de infraestructura de alcantarillado (manejo de aguas servidas y aguas lluvias).

### **Imagen 2. Delimitación del Área de Estudio.**



Fuente: Ortofoto. IGAC, 1987

El área de estudio se caracteriza por contener diversos Usos Actuales del Suelo, entre los cuales los que más se destacan son: en primer lugar, el Uso Residencial (9 Barrios), el Uso Mixto (Comercial y Residencial), el Uso Comercial (Calle 12, Carrera 4), el Uso Institucional (Colegios, Centro de Salud) el Uso Recreativo (Parque Chapalito,

Estadio Libertad) y el Uso de Protección (Ronda de la Quebrada Chapal sector parque Chapalito).

## **6. MARCO CONCEPTUAL**

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como la Cumbre de la Tierra y celebrada en Río de Janeiro en el año de 1992, tuvo como resultado importante la conformación de la Agenda 21, en la cual se establecen los lineamientos de sostenibilidad ambiental y preservación de la humanidad, y entre sus puntos más destacados se encuentra la reducción de desastres y los impactos negativos que éstos tienen sobre la población en todos los lugares de la tierra, determinando que la participación social en estos procesos, es fundamental para fomentar la gestión del riesgo y la disminución de los desastres.

En el contexto nacional igualmente existen instrumentos normativos sobre el tema del desarrollo sostenible, y entre los más recientes está en el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 en el cual se establece la incorporación de medidas que tiendan a disminuir la vulnerabilidad frente al riesgo de desastres en los sectores y en la población, de tal forma que este componente forme parte de los planes de desarrollo y los planes de ordenamiento territorial, y por supuesto e los Planes Municipales para la Gestión del Riesgo (PMGR), como los instrumentos normativos más cercanos a las poblaciones urbanas y rurales de los entes territoriales colombianos.

Entre las amenazas y desastres naturales a las cuales está sometido el territorio colombiano y específicamente la zona andina, están las inundaciones, como consecuencia de la localización geográfica en la zona tórrida del planeta, y por las condiciones meteorológicas y climatológicas de la región, caracterizadas por períodos acentuados de invierno y de verano, ocasionados en gran parte por el cambio climático y los fenómenos del Niño y de la Niña, generando estaciones de lluvias y avenidas torrenciales, que aumentan el caudal de los ríos y quebradas que bajan de las altas montañas de terrenos

pendientes y propician inundaciones sobre terrenos planos, generalmente con asentamientos poblacionales ubicados al borde dichas corrientes hídricas.

Las inundaciones son amenazas que se presentan con mucha frecuencia en la región andina-nariñense, y son la consecuencia de múltiples fenómenos meteorológicos, a los cuales se integran otros aspectos de tipo preventivo, es decir, aunque los municipios hayan elaborado sus Planes de Prevención de Amenazas de Desastres, en muchas ocasiones la presencia intempestiva de las inundaciones, no da tiempo a establecer los protocolos que disminuyan los efectos perjudiciales que éstos fenómenos naturales causan a los pobladores de las áreas en riesgo.

En razón de lo anterior, las inundaciones son frecuentes en esta región del departamento de Nariño y específicamente en el Valle de Atríz, en el cual se localiza la ciudad de San Juan de Pasto, y la población asentada en el área de influencia directa e indirecta del curso hídrico de la Quebrada Chapal, se ve afectada periódicamente por este fenómeno y especialmente los barrios ubicados al borde del eje del cauce del río, reciben el caudal que desciende de la zona alta inundando las vías, viviendas, locales comerciales y demás establecimientos del entorno.

**Definiciones: amenaza natural, vulnerabilidad, riesgo, desastre, prevención, mitigación.**

Finalmente, es conveniente revisar algunas de las definiciones más importantes que son utilizadas en éstos procesos de planificación ambiental y ordenamiento territorial, relacionados con la prevención y manejo de los desastres naturales, por parte de los entes municipales, departamentales y nacionales.

*Amenaza natural:* definida como la “probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso (en esta caso de origen natural), durante cierto período de tiempo, en un sitio determinado”. Tales eventos pueden ser deslizamientos, inundaciones, erupciones volcánicas, sismos, maremotos.

*Vulnerabilidad:* entendida como la resistencia de un medio físico (obra o edificación en particular) a la acción de la amenaza (ejemplo disminuir la vulnerabilidad a la amenaza por inundaciones mediante la construcción de jarillones o gaviones).

*Riesgo:* definido como el producto o resultado de los dos anteriores, el cual implica calcular las consecuencias de ésta combinación. El análisis de riesgo de una población implica determinar cada una las amenazas a las cuales está sometido cada uno de sus componentes así como calcular las consecuencias que tendrá la combinación de la amenaza y de la vulnerabilidad.

*Desastre:* Se entiende por desastre el daño grave o la alteración grave de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello atención especial de los organismos del Estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

*Prevención:* Es el conjunto de medidas y acciones dispuestas con anticipación con el fin de evitar la ocurrencia de un impacto ambiental desfavorable o de reducir sus consecuencias sobre la población, los bienes y servicios, y el medio ambiente.

*Mitigación:* Es la definición de medidas de intervención dirigidas a reducir o atenuar el riesgo. La mitigación es el resultado de la decisión política respecto de un nivel de riesgo aceptable, obtenido de un análisis extensivo del mismo y bajo el criterio de dicho riesgo es imposible de reducir totalmente.

### **Sistemas de Información de Gestión del Riesgo de Desastres.**

Es importante destacar que el ámbito nacional se creó el Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgos de Desastres, del cual dependen los Sistemas de Información de los ámbitos Departamentales y Municipales, sistemas que se constituyen como instrumentos de apoyo, para que las entidades públicas territoriales desarrollen, procesen, almacenen y comuniquen, todo lo relacionado con los riesgos a los cuales están expuestas las comunidades urbanas y rurales en sus respectivas jurisdicciones, estableciendo una red que permita estar al tanto de las amenazas, vulnerabilidades y riesgos

de índole natural y antrópica, en todo el todo el territorio nacional. Este programa es soporte del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD).

## **7. MARCO NORMATIVO**

### **7.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991.**

La Constitución Política de Colombia hace referencia en el Capítulo de los Derechos Colectivos y del Ambiente con el siguiente texto: “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”.

Igualmente en el artículo reza: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

Posteriormente, estas propuestas del Gobierno Central, se vieron traducidas en numerosas normas reglamentarias, que después de veinticuatro años de su promulgación, aún no han sido desarrolladas y aplicadas en forma efectiva, por cuanto se continúan localizando asentamientos poblacionales en los bordes de los ríos y quebradas, a pesar de que existe una norma sobre el uso y ocupación de las rondas hidrográficas, como suelos de protección, y que cada municipio colombiano deberá delimitar claramente en los planes de ordenamiento territorial, tanto de las áreas urbanas como de las áreas rurales.

### **7.2 LEY 99 DE 1993. LEY GENERAL DE MEDIO AMBIENTE.**

En la Ley General de Medio Ambiente entre los fundamentos de la Política Ambiental Colombiana, en el artículo de los Principios Generales Ambientales se hace relación a “La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar y mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento”, fundamento que a través de los veintidós años de expedida la ley y los

decretos reglamentarios, no ha tenido un total cumplimiento, observándose muchos eventos que han ocasionado grandes desastres en diferentes regiones del país.

Es importante destacar, que en esta Ley General del Medio Ambiente, se les otorga funciones específicas de carácter ambiental territorial, a las Corporaciones Autónomas Regionales, que en el caso del Departamento de Nariño y el Municipio de Pasto, corresponde a CORPONARIÑO establecer las directrices ambientales regionales y hacer seguimiento y acompañamiento a las entidades municipales, en todo lo relacionado con los asuntos ambientales, especialmente en los aspectos que tienen que ver con la protección y conservación de los recursos naturales renovables y no renovables, e igualmente, con los asuntos de la gestión riego de desastres en sus respectivas jurisdicciones.

### **7.3 LEY 388 DEL 1997. LEY DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL.**

En la Ley de Ordenamiento Territorial en el Contenido del Componente General de los Planes de Ordenamiento Territorial que se formulen en los municipios colombianos, se hace énfasis en “la determinación y ubicación en planos de las zonas que presenten alto riesgo para la localización de asentamientos humanos, por amenazas o riesgos naturales o por condiciones de insalubridad”, determinación que muchas veces no se cumple a cabalidad, dado que muchos asentamientos humanos en el país, se encuentran en áreas de amenaza poniendo en riesgos a sus habitantes.

En el Componente Urbano de la Ley de Ordenamiento Territorial, igualmente se hace referencia a “la delimitación, en el suelo urbano y de expansión urbana, de las áreas de conservación y protección de los recursos naturales, paisajísticos y de conjuntos urbanos, históricos y culturales; así como de las áreas expuestas a amenazas y riesgos naturales”, determinación que en muchos casos no se cumple, por cuanto se observan en la ciudad asentamientos informales y nuevas urbanizaciones en lugares no aptos para este tipo de uso, como terrenos de alta pendiente, ocupación de borde de ríos y quebradas, situaciones que aumentan el riesgo de desastres y la vulnerabilidad de los habitantes.

#### **7.4 LEY 1523 DE 2012.UNIDAD DE GESTIÓN DEL RIESGOS Y DESASTRES.**

Según la Ley 1523 de 2012 la siguiente es la definición relacionada con la gestión del riesgo: “La gestión de riesgo 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 desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible”.

Igualmente, en esta norma nacional se precisan los principios que rigen la gestión del riesgo y desastres, y son los siguientes: igualdad, protección, solidaridad social, auto conservación, participación, diversidad cultural, interés público y social, precaución, sostenibilidad ambiental, gradualidad, sistémico, coordinación, concurrencia, subsidiaridad y oportuna información, componentes que una vez integrados en los procesos de gestión del riesgo y desastres, cumplen cada uno un importante papel.

De otra parte, en las directrices de gestión del riesgo se establecen las definiciones relacionadas con la temática general, y entre esas se encuentran las siguientes: adaptación, alerta, amenaza, análisis y evaluación del riesgo, calamidad pública, cambio climático, conocimiento del riesgo, desastre, emergencia, elementos, expuestos, gestión del riesgo, intervención, intervención correctiva, intervención prospectiva, manejo de desastres, mitigación del riesgo, preparación, prevención del riesgo, protección financiera, recuperación, reducción del riesgo, reglamentación prescriptiva, reglamentación restrictiva, respuesta, riesgo de desastres, seguridad territorial y vulnerabilidad.

Para el caso que ocupa en esta investigación, se tendrá en cuenta la definición de *Prevención del riesgo*: Como medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible.

## **7.5 DECRETO 1729 DE 2002. CUENCAS HIDROGRÁFICAS. PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO CUENCAS HIDROGRÁFICAS (POMCH).**

Este Decreto en uno de sus artículos hace referencia a los principios de la ordenación de una cuenca hidrográfica: “Considerar las condiciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgos ambientales, que puedan afectar el ordenamiento de la cuenca”, por lo cual se puede deducir la importancia que tiene para la planeación ambiental y el ordenamiento territorial el componente de la gestión del riesgo, en los sistemas hidrográficos de los municipios colombianos. Igualmente, en esta norma se hace énfasis que en el diagnóstico que se haga de las cuencas hidrográficas, se deben identificar claramente los riesgos, amenazas y vulnerabilidad.

## **7.6 ACUERDO NO.004 DE 2015 (15 DE ABRIL). PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) MUNICIPIO DE PASTO 2014-2027.**

Según Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Pasto formulado para el período 2014-2027, se especifica que las Áreas de Protección “son aquellas que por su función, su fragilidad o sus características especiales no deben incluirse en sistemas producción económica”, por lo tanto las rondas de ríos y quebradas localizadas en el suelo urbano y rural, deben ser clasificadas y protegidas como suelos de protección, formando parte de las reservas ambientales y paisajísticas del territorio municipal. (Acuerdo No.004 de 2015, Consejo Municipal de Pasto).

De igual manera, en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), se especifica que el Municipio de Pasto se encuentra influenciado por la amenaza de fenómenos de inundación, donde las áreas más propensas se encuentran el área urbana, especialmente en las zonas de influencia de los ríos Pasto, Blanco, Mijitayo, Chapal, y las quebradas Membrillo Guayco, Guachucal, Cuatarrán, Gallinacera, Los Chancos y Los Chilcos, identificando en amenaza alta por inundación 1.783 predios sobre una área de 371 Has.

## 8. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).

Según Carlos Brenes:

*“Un Sistema de Información Geográfica (SIG) se define como en conjunto de métodos, herramientas y datos, que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente, para capturar, almacenar analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato”.* (Brenes, 2010, p.1).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) cuya sigla en inglés es GIS = Geographic Information System, permite la integración de diversa base de datos georreferenciados, con información gráfica y visual (cartografía e imágenes fotográficas); e información obtenida mediante teledetección, que a su vez se pueden trabajar con cualquier tipo de datos tales como los urbanos, demográficos, ambientales, catastrales, etc.

Es importante aclarar que las diferentes capas de información que se introducen en un Sistema de Información Geográfica (SIG), son de distinta modalidad, es decir, *puntos*, a los cuales se asocian las tablas de datos seleccionadas para el análisis (por ejemplo: estaciones meteorológicas); *líneas*, a los que se asocian los denominados atributos (por ejemplo: red hidrográfica, carreteras, etc.); y *zonas*, las cuales son susceptibles de ser caracterizadas por distintos atributos (por ejemplo: usos del suelo, secciones censales, áreas de inundación, etc.).

Los elementos básicos que finalmente dan forma al contenido de un Sistema de Información Geográfica (SIG), son los siguientes:

- Base de datos gráfica (BGG). Datos geo-referenciados.
- Base de datos Alfanumérica (BDA). Datos geo-referenciados.

- Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD). Vinculación de las bases de datos gráfica y alfanumérica.

**Tabla 1. Sistema Operativo de un Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Nivel de Gestión	Operaciones	Funciones
Entrada de Información	Entrada de Datos. Capacidad de Edición. Representación interactiva.	Entrada de Información
I. Análisis descriptivo de los datos y formulación de patrones.	Edición de Atributos. Mapa de puntos Mapa de líneas. Mapa de zonas o polígonos.	Gestión de la Información (SGBD). Mantenimiento, recuperación y análisis de la información temática.
II. Generación de nuevas estructuras e información y formulación de patrones.	Recuperación/Clasificación Superposición. Vecindad. Conectividad.	Análisis integrados de datos temáticos y espaciales.
III. Simulación y Modelación.		Modelo espacial y cartográfico.
IV. Salidas gráficas.	Mapas. Gráficos. Salida alfanuméricas.	

Fuente: SIG Una herramienta de análisis de los Estudios de Impacto Ambiental.

La información de Base de Datos es fundamental en los procesos de planificación ambiental y ordenamiento territorial, por lo tanto el conocimiento detallado de la caracterización del medio natural y de los aspectos socioeconómicos, son la prioridad en la teledetección de ésta diversidad de datos.

**Tabla 2. Información obtenida por teledetección.**

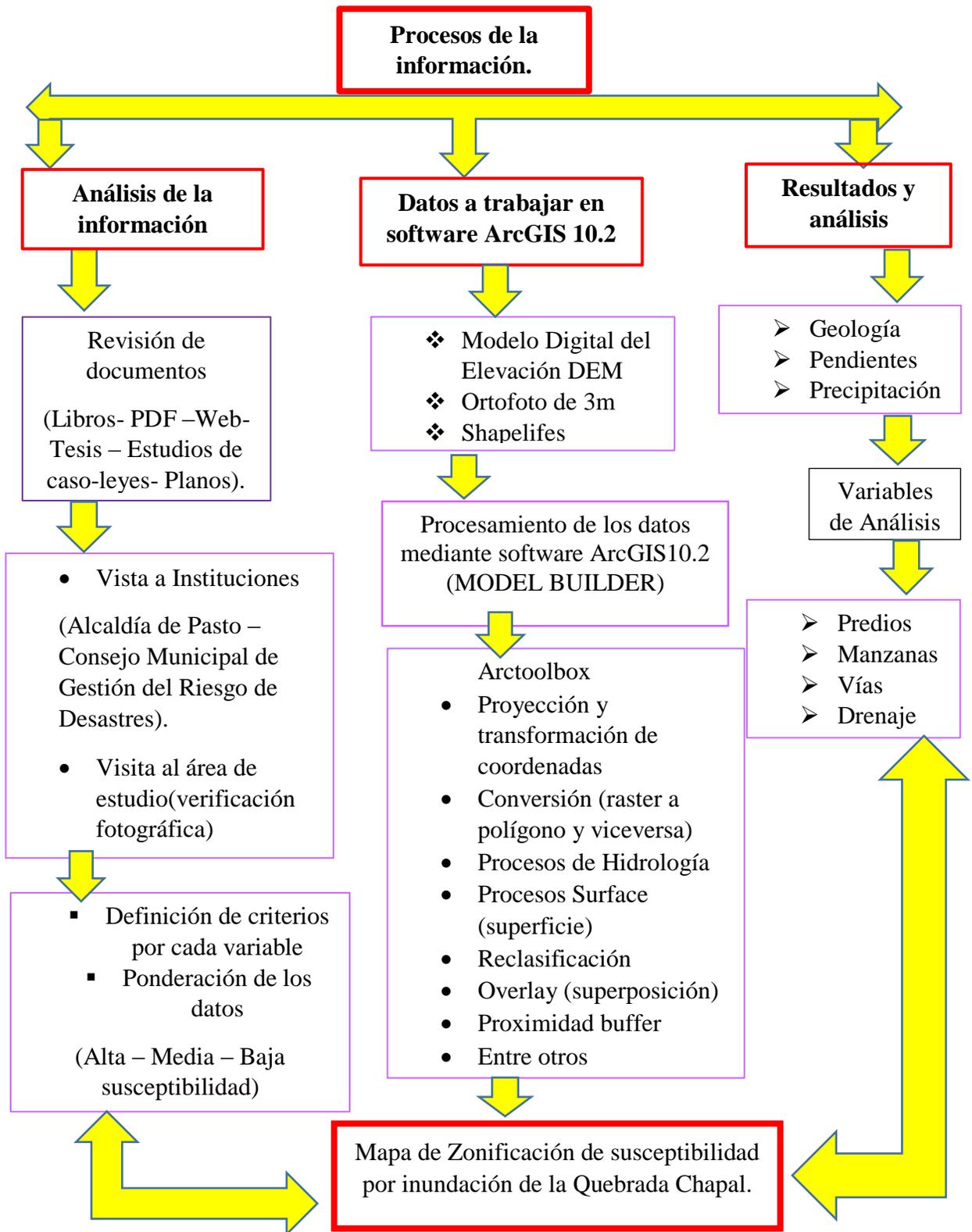
<b>Información del medio físico natural</b>	<b>Información socioeconómica</b>	<b>Información teledetectada</b>	<b>Información cartográfica básica</b>
Geología. Usos de suelos. Vegetación. Precipitación. Drenajes.	Población. Zonas socio-económicas. Actividades productivas. Emisiones contaminantes. Comunas. Barrios.	Usos de suelo. Infraestructuras. Contaminación.	Topográfica. Red hidrográfica. Información Catastral. Vías. Equipamientos. Manzanas.

Fuente: SIG Una herramienta de análisis de los Estudios de Impacto Ambiental.

### **Sistemas de Información Geográfica-Ordenamiento Territorial (SIG-OT).**

El SIG-OT es una herramienta de interacción organizada de hardware, software, y datos geográficos diseñada para capturar, manipular, almacenar, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

## 9. DIAGRAMA METODOLÓGICO



## **9.1 LINEA DE INVESTIGACIÓN**

Sistemas de Información Geográfica (S.I.G), Sensores Remotos y Cartografía.

## **9.2 PARADIGMA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se realiza bajo el paradigma cuanti-cualitativo, porque se manejan datos numéricos como datos descriptivos y se desarrolla bajo un enfoque inductivo de la realidad del fenómeno que se ha identificado en el área de estudio.

## **9.3 TIPO DE ESTUDIO**

La metodología utilizada en esta investigación se basa en un análisis multicriterio por cuanto se le asignará una ponderación específica a cada variable teniendo en cuenta sus características propias esto hace que se trate de un ejercicio empírico y analítico, cuyo objetivo principal es predeterminar hechos o fenómenos naturales, a través de instrumentos técnicos aplicados, mediante las nuevas herramientas de apoyo para la planeación y el ordenamiento territorial, como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), del cual es resultante una cartografía que visualice el riesgo y la amenaza de desastre por inundación de determinada área de la zona seleccionada para este estudio.

## **9.4 PROCEDIMIENTO Y MÉTODO**

Las siguientes son las fases que se desarrollarán en el proceso de la presente investigación:

**FASE 1: ANÁLISIS LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL DE LAS DIFERENTES VARIABLES (CAPAS) QUE SE UTILIZARÁN EN LA DEFINICIÓN DE CRITERIOS DE PONDERACIÓN.**

Esta fase consiste en el *levantamiento de los datos* necesarios para el desarrollo de la investigación, básicamente relacionados con los estudios realizados en el área de estudio, por las entidades de carácter municipal, regional y nacional, tales como el Municipio de Pasto (Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo), Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Para este trabajo se tuvo en cuenta información de tipo secundaria, basada en una serie de documentos que ayudaron afianzar el proceso de este trabajo. Los documentos adquiridos y analizados nos sirvieron como ejemplos para determinar de forma jerárquica, los pasos y fases que se debería seguir, esto enmarca la importancia de cada autor al escoger los tipos de variables que se quisiera estudiar.

*PASO 1:* Para la elaboración de este proyecto se *consultaron* las siguientes referencias bibliográficas relacionadas con nuestra temática de estudio:

- ✓ *“Análisis de peligro de deslizamientos. estudio de caso: sur de la ciudad de Loja, provincia de Loja- Ecuador” (2011). Fermín Alexander González Sisalima.*
- ✓ *“Aplicación de sistemas de información geográfica para el modelamiento de zonas en riesgo de inundación. Caso estudio Rio Lurín”.*
- ✓ *Escenarios de peligros naturales en el Área Protegida del Parque Nacional Viñales.2009. Autora; Darlenys Govea Blanco.*
- ✓ *Evaluación de Riesgos por Inundaciones en los Municipios de Carolina y Loiza, Puerto Rico. 2008. Autor Seguinot Barbosa, J. Batista J.l. Sanchez Celada,M.*

- ✓ *Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Microcuenca La Pila, Municipio de Pasto – Departamento de Nariño. Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO).*

En esta fase igualmente se *recolecta* el material para el manejo cartográfico y estadístico, necesario para el desarrollo de la investigación; entre los cuales se destacan: DEM (modelo digital de elevación), Ortofoto de 3 metros de resolución, datos de infraestructura, registro de inundaciones, registro de precipitación, datos geológicos del área de estudio, datos de las pendientes, datos del uso del suelo, curvas de nivel y altura.

*PASO 2:* Para *revisar o examinar* los datos ya recolectados; en primer lugar se tenía en cuenta el grado de importancia de los datos para ser utilizados en nuestro respectivo proceso; se analizaron registros de inundaciones según el área a estudiar, periodos de precipitación en un rango determinado de tiempo, se verifico las proyecciones de las coordenadas de estudios todo en cuanto a imágenes, fotografías y datos con extensiones (shp, geodatabase, mxd, kml) del programa a ejecutar en este caso Arc-GIs 10.2 (Versión Académica).

*PASO 3:* En esta fase se identificaron las variables a relacionar, para ello se hizo necesario consultar en qué consistía cada variable, esto para determinar el grado de importancia de cada una de ellas dentro del desarrollo para establecer la zonificación por susceptibilidad de inundaciones en las áreas de influencia de la Quebrada Chapal en el sector urbano de San Juan de Pasto.

*PASO 4:* Consiste en el establecimiento de un modelo que soporte los criterios de ponderación según los datos referenciados de cada variable, con el fin de obtener una caracterización del área de estudio, incluyendo la interoperabilidad de la información recolectada, la cantidad de los datos obtenidos y la calidad de cada uno de los datos, componentes que en su conjunto e integración, darán como resultante una visión múltiple del área seleccionada para el ejercicio.

Para esta fase se creó un modelo de tabla en la cual ordena su información según el criterio de los evaluadores de este proyecto.

**Tabla 3. Definición de ponderación y criterios de análisis.**

<b>Variables</b>	<b>Porcentaje de importancia</b>	<b>Criterio de análisis</b>
Pendientes	50	3 (alta)
Geología	35	2 (media)
Precipitación	15	1 (baja)

Fuente: Esta investigación.

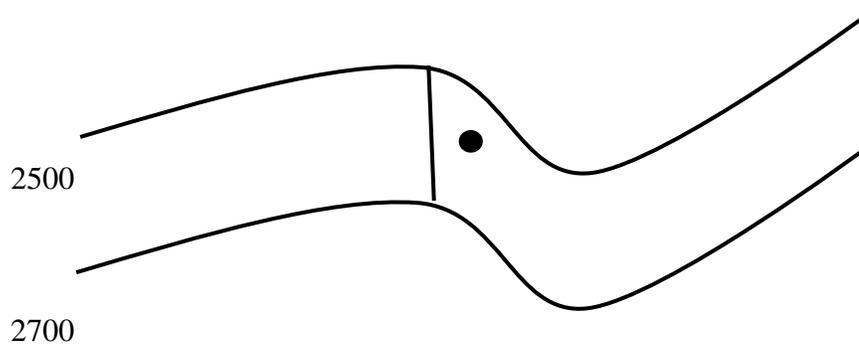
En esta tabla se observa, que para este estudio; el mayor grado de importancia lo representa la variable de pendientes, hecho que indica que su aporte para el estudio de la zonificación por susceptibilidad de inundaciones; conlleva al análisis del desnivel existente de una ladera, dato que determina la velocidad de escurrimiento superficial del terreno (probabilidad de inundaciones por su desnivel), esto puede ser observado mediante las cotas y su variación en el espacio. La Geología es la segunda variable de estudio en este trabajo; su importancia se origina a causa de su litología de materiales rocosos del suelo; dado a que su composición determina terrenos con índice de saturación de agua; propensos a ser terrenos con alto grado de inundaciones. La última variable se la representa con un bajo grado de importancia, debido a que su aporte se da, no como causante principal de dicho fenómeno, sino no como consecuencia del análisis de ocurrencias de eventos altamente responsables ante este riesgo.

*PASO 5:* También como es de conocer es indispensable *establecer la definición y la estructura de cada variable* (Pendientes- Geología- precipitación) para mayor entendimiento y mejor clasificación de criterios. Para ello se determinará la información general desde lo básico hasta lo puntual de cada una de ellas, de la siguiente manera:

## 1.1 VARIABLE PENDIENTES

**Definición:** “se entiende por pendientes como la inclinación y un declive del terreno, respecto a la horizontal, de una vertiente”.

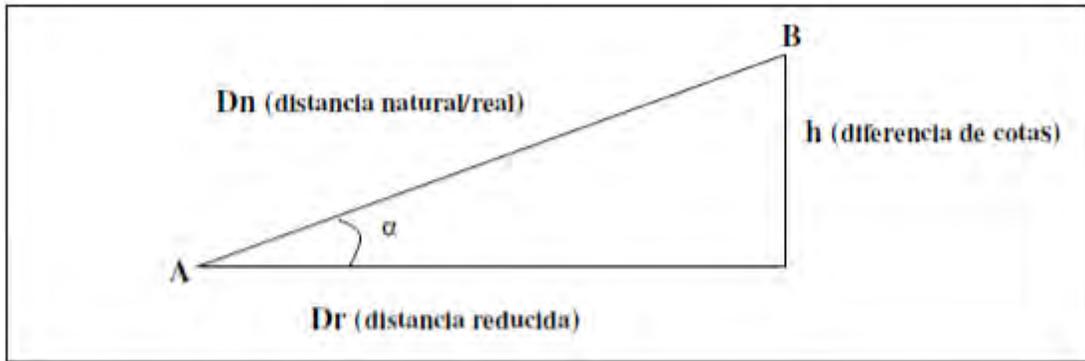
Su aplicación al terreno se basa en el control del desnivel existente en una ladera, mediante las cotas, y su variación en el espacio. Para calcular la pendiente en grados o en porcentajes se debe tener como primordial las curvas de nivel que representan las cotas del terreno, para determinar la pendiente de forma manual de X dato en el plano se debe tener dos cotas para sus respectivas formulas:



Primero se medirá la distancia del punto a una cota de nivel; para ello se determinara la fórmula de la distancia:

- Distancia en Mapa = 7mm
- Escala del Mapa = 1:50000
- Formula = Distancia en el Mapa \* Escala del Mapa =  $0,007 * 50000 = 350\text{m}$
- Respuesta = Distancia del Terreno en el Mapa = 350m

Al tener el dato de la distancia del punto se aplicara la fórmula para generar la pendiente en porcentajes:



$$\text{Pendiente (\%)} = \frac{\text{Diferencia de cotas (m)}}{\text{Distancia reducida (m)}} \cdot 100$$

En nuestro ejemplo sacaremos la pendiente de ese punto de la siguiente manera:

$$\text{Pendiente \%} = \frac{2700 - 2500\text{m}}{350\text{m}} * 100 = \frac{200}{350} = 0,571 * 100 = 57\%$$

Ejemplo anterior que nos indica el procedimiento de cómo generar las pendientes de forma manual; se quiso explicar de esta manera para tener en cuenta que existen software que generan las pendientes automáticamente teniendo como materiales primordiales de cruce de procesamientos las curvas de nivel, es el caso de este trabajo donde entraremos a explicar cómo fueron tales procesos para su respectivo desarrollo, clasificación y su importancia de análisis de los rangos de las pendientes.

Para el presente trabajo se tomó como referencia la clasificación de pendientes según el proyecto “Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Microcuenca La Pila Municipio de Pasto – Departamento de Nariño”, desarrollado por la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). En la siguiente tabla se muestra los rangos los cuales serán estudiados según el área de estudiar:

**Tabla 4.**  
pendientes.

**Rango de**

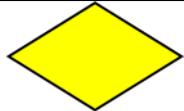
RANGOS	PENDIENTES
0-2%	Plano
2-6%	Suave
6-13%	Inclinado
13-20%	Muy Inclinado
20-55%	Escarpado
>-55%	Muy Escarpado

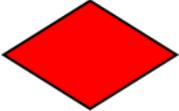
FUENTE: Corponariño

Estos datos fueron recolectados y examinados gracias a la evaluación previa que se le realizó a los documentos de referencia que guiaron este estudio, en ellos encontramos estas variabilidades de datos que al clasificarlos según los criterios de análisis, viabilizaron el análisis de esta variable al tema de estudio del trabajo.

Para definir los criterios de ponderación por variable, se ve la necesidad de tomar una serie de elementos, que permitirán la identificación del grado de aporte de cada variable y el análisis respectivo de sus vínculos frente a dicho fenómeno, esto mediante la construcción de tablas de clasificación, donde su función primordial es obtener la información trascendental, que ayude a enlazar los datos por variable, determinar las áreas de afectación y poder representar en el mapa.

**Tabla.5 Clasificación de la Variable pendientes.**

CLASIFICACION	RANGOS (%)	VARIABLE	CRITERIOS	COLOR ASIGNADO
1	➤ 55%	Muy escarpado	Baja	
	20% - 55%	Escarpado		

2	20% - 13%	Muy inclinado	Media	
	13% - 6%	Inclinado		
3	6% - 2%	Suave	Alta	
	2%- 0%	Plano		

Fuente: Esta investigación.

Para la clasificación de las pendientes según los criterios de análisis; se tuvo en cuenta sus características de los rangos por variable de pendiente, que de 0-6% debería ser alta susceptibilidad; en cuanto a que sus relieves se encuentran representados entre relieves planos, suaves y con un bajo grado de inclinación donde sería más probable la acumulación del agua a causa de su pendiente y litología del suelo. La segunda clasificación va representada por los rangos entre 6-20% con una media susceptibilidad a inundaciones a causa de sus relieves inclinados y muy inclinados, donde el agua pluvial puede presentarse en proceso de escurrimiento y provocar una mediana saturación de agua en la parte angular de la pendiente. La primera en clasificación de la tabla se ve reflejada en los rangos de >-20% comprendidas las categorías de escarpado y muy escarpado con un criterio de baja susceptibilidad.

## 1.2 VARIABLE DE GEOLOGIA

La variable geología pretende evaluar el comportamiento del material litológico frente a procesos de meteorización y esfuerzos mecánicos. El mapa geológico a escala 1:100 en general contiene la información litológica a nivel de formación e información superficial convencional, que permiten la caracterización lito-estratigráfica de las unidades cartografiadas a la escala del estudio.

La información sobre las unidades geológicas superficiales presentes en nuestra área de estudio fue adquirida en formato shapefile por parte de la Subsecretaría de Ordenamiento Territorial perteneciente a la Secretaría de Planeación de la Alcaldía de

Pasto; esta información espacial adquirida es posible cargar en ArcGIS ArcView y otros productos comerciales de ESRI.

Dentro del factor geológico a tener en cuenta para analizar la susceptibilidad por inundaciones en un territorio determinado se encuentra la litología y dentro de ella específicamente el grado de permeabilidad de las rocas, es decir, la velocidad con que el agua se infiltra en el suelo, lo que condiciona la permanencia de esa lámina de agua en la superficie.

*PASO 1:* Para ello se debe analizar primeramente qué rocas constituyen la zona de estudio. Posteriormente se analizará el grado de permeabilidad de las mismas de acuerdo con la clasificación propuesta por Ricardo Seco (1996), la cual agrupa los distintos tipos de rocas según la permeabilidad en tres grupos o categorías que se manifiestan seguidamente.

*Rocas permeables:* Arenas, guijarros de las playas, bancos de tormentas, arenas aluviales, areniscas y calcarenitas fisuradas, brechas, conglomerados, conglobrechas, olitostromas, mármoles, complejos caóticos, areniscas vulcanomícticas, concreciones calcáreas e intercalaciones flyshoides.

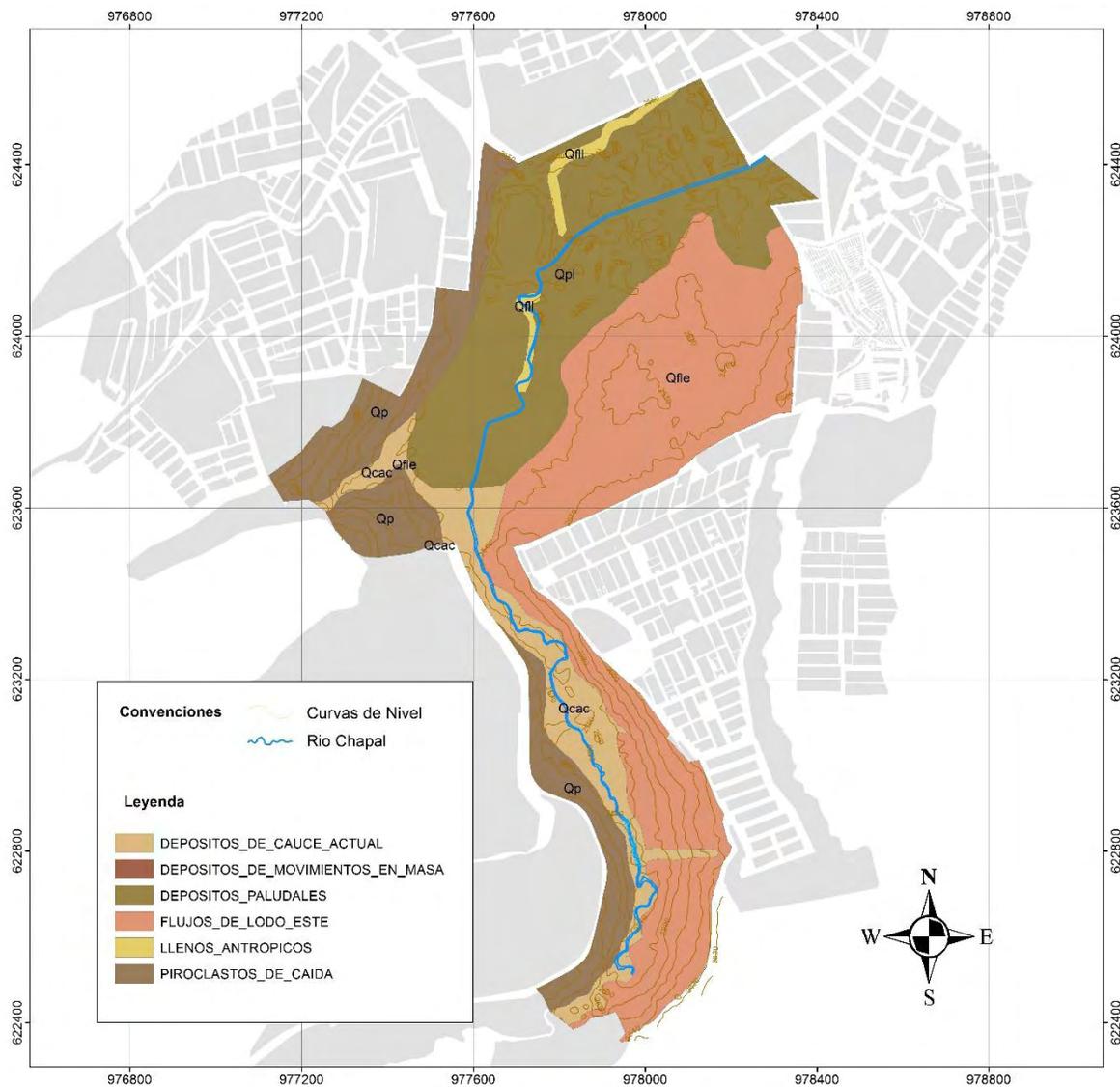
*Rocas medianamente permeables:* Arenas gravas, eoleanitas, arenas abigarradas, grauvacas, tobas, tufitas, andesitas, aleurolitas, margas, argilitas, esquistos y tobas metamorfizadas, calizas, meta-areniscas, metavulcanitas, serpentinitas, piroxenitas, peridotitas y dunitas serpentinizadas, rocas ultrabásicas metamorfizadas.

*Rocas impermeables:* Depósitos carbonatados, terrígenos y turbosos de pantanos, diques de basalto, granodiorita, dioritas, dioritas porfíricas, dioritas cuarcífero-monsoinitas, plagiogranitos, granodeoritas-dioritas cuarcíferas, cuarzo-dioritas porfíricas, granitos biotito-moscovítico, complejo basalto-toleítico, limos y arcillas, gabros.

Teniendo en cuenta la clasificación antes expuesta se puede conocer cuáles son las rocas que facilitan la infiltración del terreno y por ende las inundaciones serán menos probables sobre estas superficies. Por otra parte se conoce cuáles son las impermeables y por lo tanto su infiltración será lenta o nula y por consiguiente se producirá una acumulación de agua. Mientras que para aquellas que son medianamente impermeables es

necesario tener en cuenta otros factores para su análisis como su pendiente, precipitaciones etc.

Figura 1. Variable Geología.



Fuente: Esta investigación.

Las unidades existentes en nuestra área de estudio fueron clasificadas de acuerdo a su composición:

*Flujos de Lodo Este (Qfle)*: Se encuentran en la zona Este de la Quebrada Chapal está compuesto principalmente por materiales finos tales como limos, arcillas, arenas y gravas,

se localizan en zonas de pendiente suaves, sobre estos materiales se ubican los barrios El pilar y El progreso.

*Piroclasto de caída (Qp)*: Materiales provenientes de erupciones del Volcán Galeras se encuentran en mayor medida al Oeste de nuestra área de estudio sobre pendientes y laderas muy fuertes, está compuesto por basaltos, lapilli, cenizas, bombas y bloques.

*Rellenos antrópicos (Qfl)*: Son zonas urbanizadas sobre material de relleno de diferentes fuentes provenientes de desechos industriales y viviendas formando un área de relleno artificial compuesto por escombros, basuras, arenas etc. Sobre este se encuentra construido el barrio de Villa del río y algunos tramos cerca al Estadio Libertad y la Avenida Chile.

*Depósitos de Movimiento en Masa (Qfle)*: Son zonas ubicadas en alta pendiente y susceptibles a deslizamientos están compuestos por material aluvial gravo arenoso.

*Depósitos paludales (Qpl)*: Se define como la acumulación de material depositado en un pantano o marjal; estos depósitos normalmente están formados por limos y arenas finas con abundante materia orgánica, están asociados a las llanuras inundables de los ríos (Pantanos, zonas inundables) y se hallan en zonas de bajas pendientes, se encuentran mayormente distribuidos en los barrios Las Lunas, Villa del Río y el Estadio Libertad.

*Depósitos de cauce actual (Qcac)*: Es la acumulación del material transportado y depositado por una corriente de agua, sedimentos bien sorteados compuestos por gravas, áreas, limos forman el fondo de valles cóncavos y con cursos de agua meandricos alta pedregosidad (vega del río, zonas planas, arena, limo arcillas) se encuentran depositados en los barrios aledaños al Quebrada Chapal.

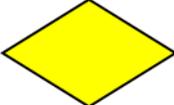
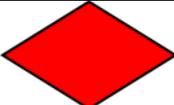
**Tabla 6. Área de los depósitos geológicos.**

suma_geologia		
OID	GEOLOGIAPA	Sum AREA
0	DEPOSITOS_DE CAUCE ACTUAL	209733,1016
1	DEPOSITOS_DE MOVIMIENTOS EN MASA	0,3438
2	DEPOSITOS PALUDALES	582699
3	FLUJOS DE LODO ESTE	2450130
4	LLENOS ANTROPICOS	65858,3418
5	PIROCLASTOS DE CAIDA	8754280

*PASO 2:* Teniendo en cuenta la composición de las distintas unidades geológicas superficiales y su respectiva permeabilidad o capacidad de retención a elementos como el agua, se procedió a clasificar su grado de susceptibilidad a inundaciones:

La asignación de los pesos relativos, para el análisis de susceptibilidad abarca una escala de uno (1) a tres (3), dependiendo del grado de susceptibilidad que represente cada tipo de litología.

**Tabla.7. Clasificación de la Variable Geología.**

CLASIFICACIÓN	VARIABLE	COMPOSICIÓN	CRITERIOS	COLOR ASIGNADO
1	Piroclasto de caída (Qp)	Basaltos, lapilli, cenizas, bombas y bloques	Baja	
	Rellenos antrópicos(Qfl)	Escombros, basuras, arenas.		
2	Flujos de Lodo Este (Qfle)	Materiales finos tales como limos, arcillas, arenas y gravas	Media	
	Depósitos de Movimiento en Masa (Qfle)	Material aluvial gravo arenoso		
3	Depósitos paludales (Qpl)	(Pantanos, zonas inundables)	Alta	
	Depósitos de cauce actual (Qcac)	(vega del río, zonas planas, arena, limo arcillas )		

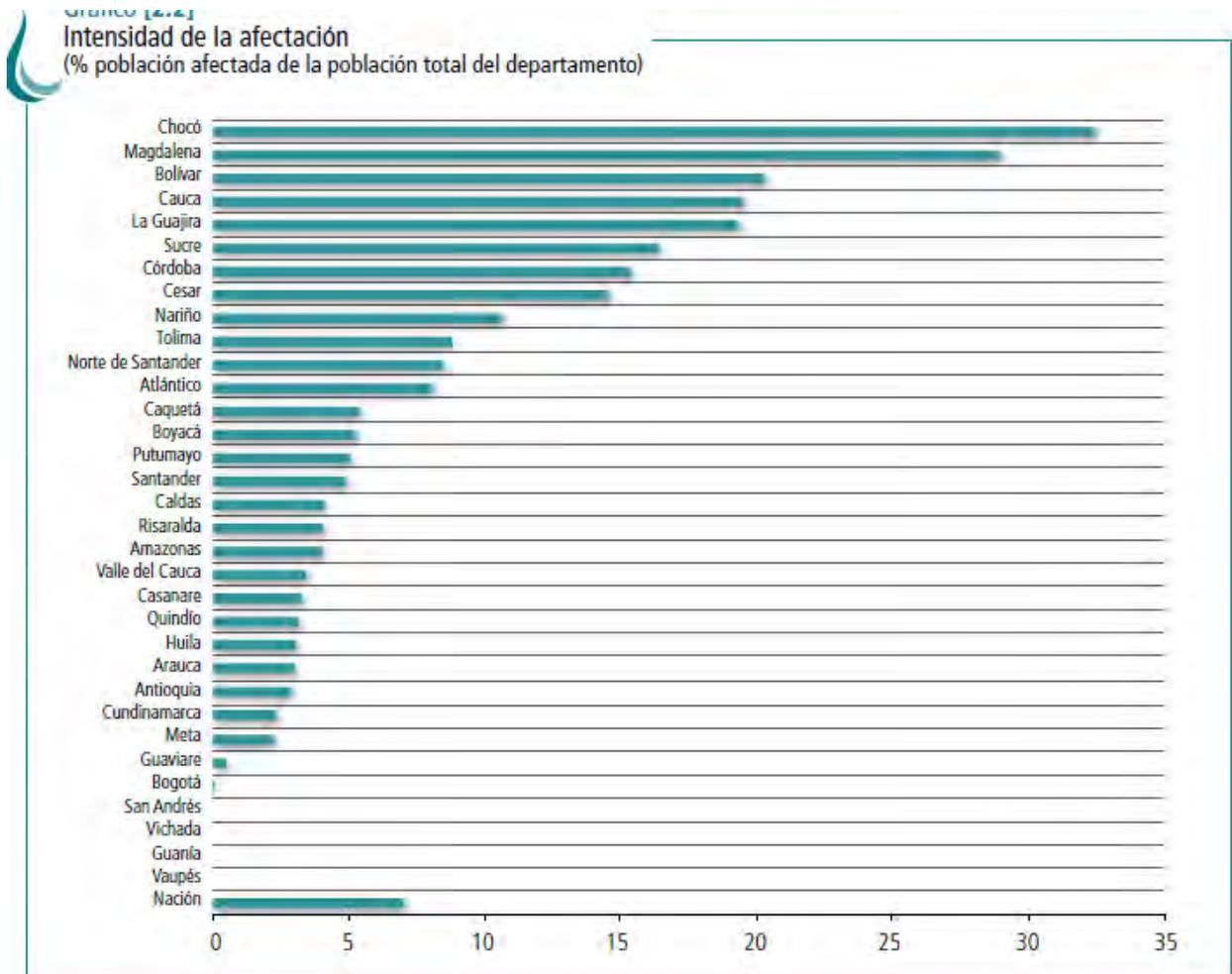
Fuente: Esta investigación.

### 1.3 VARIABLE DE PRECIPITACIÓN

Definición de precipitación: “Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico del agua”. ( <http://www.biblioteca.udep.edu.pe/>)

Para iniciar puntualizaremos la información de la ola invernal que se manifestó en los años 2010-2011 en Colombia; se establece que en Colombia se manifestó intensas lluvias que afectaron con inundaciones, avalanchas y remociones en masa a varias zonas del país. En particular, en la región Pacífica se presentó una mayor pluviosidad, con un total de lluvia dos veces por encima de lo normal frente a la misma época de años anteriores. Desde abril de 2010 ocurrieron niveles de precipitación generalizados muy por encima de los promedios históricos, en particular en julio, noviembre y diciembre de 2010, y marzo y mayo de 2011. Esta anomalía se reflejó también en el exceso de precipitación observada en las principales ciudades del país, en particular en los meses de noviembre y diciembre de 2010, y abril y mayo de 2011.

Imagen 3. Porcentaje de población afectada en la ola invernal 2011.



Fuente: BID Banco Internacional de Desarrollo CEPAL.

Continuando con la información de la ola invernal seguimos con los datos de los años 2010 y 2011 del departamento de Nariño, Si bien es cierto, por reportes oficiales del CREPAD y de la Dirección Nacional de Gestión del Riesgo, el 94% de los municipios informaron afectación a viviendas en diferentes magnitudes, es importante anotar que la mayoría de ellos estuvieron asociados a procesos de remoción en masa en los taludes de las vías de carácter municipal, departamental y nacional y otras con inundaciones generadas por la insuficiente capacidad hidráulica de los sistemas de alcantarillado de las cabeceras y centros poblados.

Se ve necesario indicar la priorización e identificación de los Municipios de Nariño con más familias afectadas por eventos de inundaciones y de procesos de remoción en masa (tipo deslizamiento), asociados al acentuado periodo de lluvias que acontece desde el año 2010 hasta el primer periodo del lluvias del presente año. Tabla N° 12; datos suministrados por la Dirección de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior y de Justicia (DGR, 2011).

Tabla 8. Consolidado de Atención de Emergencias por inundación para el departamento de

Tabla 2. Consolidado de Atención de Emergencias por inundación para el departamento de Nariño		
MUNICIPIO	EVENTO	FAMILIAS
MAGUI PAYAN	INUNDACION	2.641
BARBACOAS	INUNDACION	2.346
TUMACO	INUNDACION	2.045
ROBERTO PAYAN	INUNDACION	1.200
OLAYA HERRERA	INUNDACION	800
PASTO	INUNDACION	402
PROVIDENCIA	INUNDACION	371
ARBOLEDA	INUNDACION	78
FRANCISCO PIZARRO	INUNDACION	77
COLON	INUNDACION	76
EL CONTADERO	INUNDACION	72
MOSQUERA	INUNDACION	50

Nariño.

Fuente: Dirección de Gestión del riesgo - SIGPAD 2011

Según la información de la tabla anterior se puede deducir que El Municipio de Pasto se encuentra en un nivel medio de afectación por inundación dado a que según el periodo de estudio a nivel departamental y municipal así lo determinan. La causa principal que genera inundaciones en el municipio de Pasto según el documento de “Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y la Mitigación de sus Efectos - PAAEME, Temporada Invernal 2010 – 2011” son el producto de la invasión de cauces con construcciones autorizadas por los municipios y otras ilegales; así como por la falta de mantenimiento en las infraestructuras de saneamiento básico.



*PASO 1:* Para realizar el análisis de la información, es necesario primero recolectar examinar y determinar un período común de análisis de todas las estaciones del área de estudio. Con esta finalidad se realizó la Tabla 8, en la que se observa los datos de precipitación según las estaciones (Obonuco, Botana, El Encano, Santa Isabel, Rio Bobo, Chachagui, Wilquipamba); encontradas en el municipio de Pasto.

Tabla 9. Registros de precipitación de estaciones ubicadas en el Municipio de Pasto.

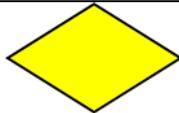
Codigo	Nombre	Latitud	Longitud	Cuenca	Municipio	Altura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
5204501	Obonuco	1,2	77,3	Pasto	Pasto	2871	149,9	174,4	132,0	147,1	177,7	90,5	43,7	70,0	102,8	155,0	308,0	188,8	1329,6
5205504	Botana	1,167	77,267	Botanilla	Pasto	2820	367,6	217,3	129,1	368,6	184,5	108,1	369,6	79,8	128,8	370,6	191,6	204,3	371,6
4701510	El Encano	1,15	77,183	Guamues	Pasto	2830	236,8	196,6	161,8	242,9	305,1	244,9	200,3	167,8	172,8	189,5	205,8	202,7	1630,5
5204507	Wilquipamb	1,2	77,183	Pasto	Pasto	3048	285,8	208,0	152,9	223,9	232,4	232,5	179,0	187,1	177,7	175,7	204,0	245,7	1728,9
4701023	Sta Isabel	0,98	77,17	Guamues	Pasto	2719	184,0	201,0	226,5	260,6	407,7	324,0	413,0	346,2	296,2	620,0	173,0	184,1	2673,9
5204003	Chachagui	1,35	77,27	Pasto	Chachagui	2046	312,3	263,1	380,6	270,4	339,5	160,8	99,0	171,0	180,9	230,9	309,1	214,9	1930,9
2505006	Rio bobo	1,12	77,3	Telles	Pasto	2693	246,0	282,0	172,0	198,0	271,0	188,0	106,4	100,0	120,0	206,3	215,0	208,0	1574,0

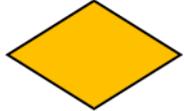
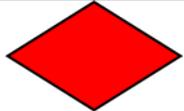
Fuente: Esta investigación e IDEAM

*PASO 2:* Se diseñó al igual que las anteriores variables la tabla de los elementos analizar; identificando así los criterios, su clasificación y medición de los datos de precipitación promedio anual de cada estación.

La clasificación por criterios para esta variable se la realizo por medio de las máximas de precipitación por mes y por años; representadas según las estaciones encontradas a la zona a estudiar; para su ponderación se necesitó disponer de elementos claves como los indica la siguiente tabla:

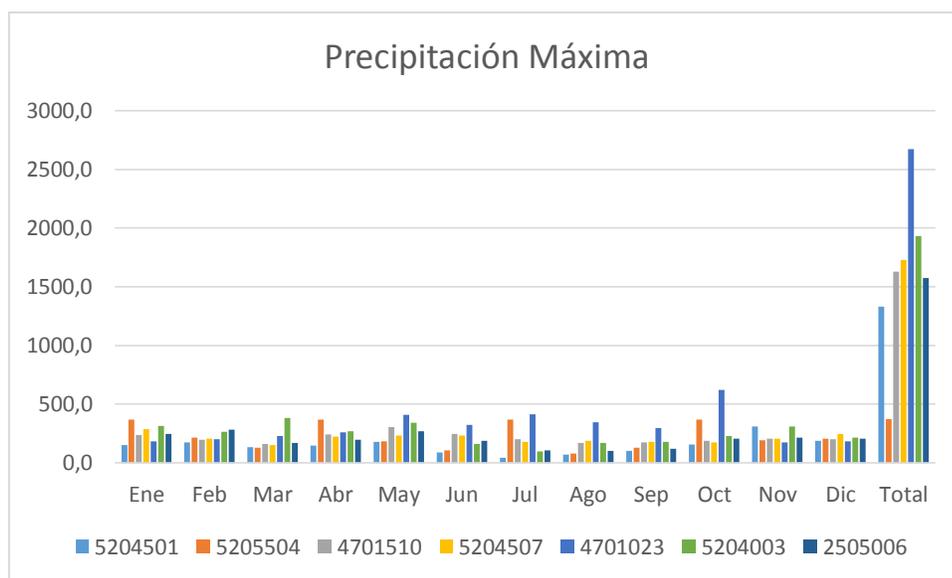
Tabla 10. Clasificación de la Variable precipitación.

CLASIFICACIÓN	MEDICIÓN	VARIABLE	CRITERIOS	COLOR ASIGNADO
1	860 – 870 mm	Baja precipitación	Baja	

2	880 – 890 mm	Media precipitación	Media	
3	900 – 910 mm	Alta precipitación	Alta	

Fuente: Esta investigación

Imagen 4. Presentación grafica de la precipitación máxima por meses y por estaciones:



Fuente: Esta Investigación.

En conclusión de la presente fase se puede decir que gracias a la información adquirida de cada variable, se pudo definir los criterios de análisis e identificar los elementos y propiedades que de las mismas, aportando y relacionando su información de forma coherente y verídica en el respectivo proceso del presente trabajo; su ponderación y clasificación por criterio establecidos en esta fase se destaca en ser datos primordiales, ya que son datos que se tendrán en cuenta a la hora de manejar el modelo espacial cartográfico como técnica de análisis y de relación de datos.

## **FASE 2:**

### **PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN EL SOFTWARE ARCGIS 10.2 (VERSIÓN ACADÉMICA), POR MEDIO DE UN MODELO ESPACIAL CARTOGRÁFICO**

Para iniciar con esta fase es necesario destacar la importancia de la información ya VALORADA Y ANALISADA EN LAS FASE anteriormente mencionada; dado a que son procesos de recolección, análisis y definición de criterios que fueron desarrollados a partir de las propiedades de las variables a estudiar y procesar en la presente fase. A continuación se dará a conocer en primer lugar la definición de Model Builder:

*Modelo Espacial Cartográfico o Model Builder:* Es la herramienta con la que cuenta ArcGis para la automatización de tareas de *Geoproceso*; es donde la herramienta de procesamiento de datos nos orienta en el manejo de la jerarquía de los datos y procesos a trabajar; de ello se arroja los resultados respectivos esperados por la intención del autor. Lo anterior hace referencia en cuanto a la intención de esta fase, donde se busca que por medio de esta herramienta se procese todo tipo de información ya adquirida y manejada para lograr conseguir el objetivo esperado de este trabajo.

En este trabajo y en principal en esta fase se debe tener en claro las variables y sus criterios, que se tendrán en cuenta a la hora de procesar; es el caso que tanto la información de Pendientes, Geología y Precipitación serán sujetas al manejo de las herramientas del modelo y en especial del proceso para la generación de datos direccionados a la zonificación por susceptibilidad a fenómenos de inundación.

También forman parte de esta fase, todos los elementos que integran la cartografía resultantes de base, como la selección de símbolos, las corrientes hídricas, las capas de uso del suelo, de infraestructura vial, los polígonos prediales, es decir, todos los modelos de meta-datos de cada una de las instituciones locales, regionales y nacionales, las cuales aportan la información sectorial, que una vez procesada arrojan una cartografía integral.

En ella se utilizaron diferentes herramientas y técnicas apropiadas para el manejo de la información entre el proceso se utilizaron gran variedad de técnicas de manejo de datos: creación de tablas, fórmulas matemáticas y herramientas del programa ArcGis 10.2,

(Artool Box) como el modelo espacial cartográfico; esencial para cruzar y ponderar datos de las variables empleadas en este trabajo.

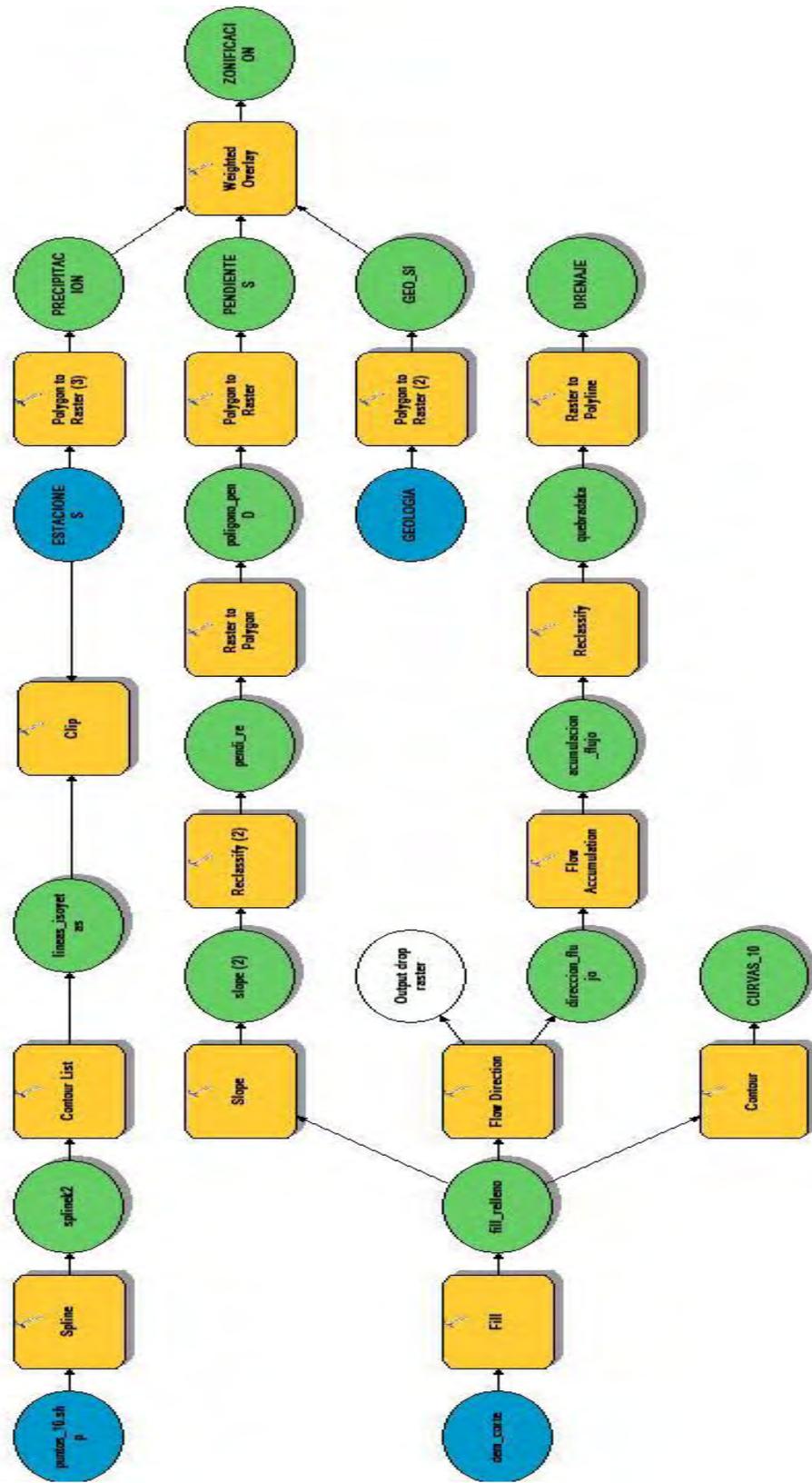
Los pasos para iniciar la aplicación de las herramientas para el proceso de la información, se los ilustrara mediante imágenes y se hará su respectiva descripción de procesos señalados para su determinado fin; antes de ello se debió tener la información por variable, ya clasificada y estudiada según su criterio:

*PASO 1:* En Arc-catalogo creamos una nueva carpeta que contenga el nombre de zonificación por susceptibilidad; dentro de ella creamos las carpetas necesarias para mantener la información que hemos recolectado, examinado y definido criterios entre ellas las variable y material de trabajo como: Ortofoto 3mts de resolución, DEM Modelo Digital de Elevación, Predios, Vías, Curvas, límite del área de estudio, Comunas.

*PASO 2:* Se proyectó el sistema de coordenadas a todos los datos obtenidos; a Magna Colombia Oeste. Por medio de la herramienta de Proyección y Transformación de la caja de herramientas del programa.

*PASO 3:* Vamos a ArcTool Box y creamos una nueva caja de Herramientas con el nombre de Zonificación por susceptibilidad con extensión tbx, en ella creamos el Model Builder; con el nombre según este trabajo: “Modelo de Inundación”, en él se añade las capas que se manejaran según el área de estudio: ejemplo: DEM y Ortofoto, límite del área y empezamos a realizar los procesos. En este caso se cortó el DEM y la ortofoto al límite del área a estudiar cono la herramienta de geo-procesamiento clip (Cortar).cada proceso se lo puede identificar en la gráfica de Model Builder (Figura N°2): los Óvalos de color azul representan las capas de manejo; los Rectángulos de color Amarrillo identifica los procesos que se han realizado y los óvalos de color Verdes representan los resultados de dichos procesos.

Figura 2.  
 MODELO ESPACIAL CARTOGRAFICO



Para la zonificación de la susceptibilidad de inundación se sintetiza los procedimientos realizados mediante el modelo espacial cartográfico: en primer lugar se descargó el DEM de Nariño con una resolución de 3 metros; desde el geoportal ASTER GDEM, con el cual se obtuvo las curvas de nivel y drenaje, a través de la herramienta Slope de Spatial Analisis del arctoolbox se generaron las pendientes que luego fueron reclasificadas según la ponderación de multicriterio, con la herramienta Hidrology se generaron los flujos de dirección y de acumulación los cuales ayudaron a la representación del sistema hídrico de zona a estudiar.

Para la ponderación de la información ya procesada, se utiliza en el presente trabajo, la herramienta de Spatial Analysis Tools (Herramientas de Análisis Espacial) donde encontramos la opción de Weighted Overlay (Imagen N° 8) (Superposición Ponderada) quien hace su función de ponderar las variables según su porcentaje de importancia de análisis y sus criterios de susceptibilidad acordados en las fases anteriores.

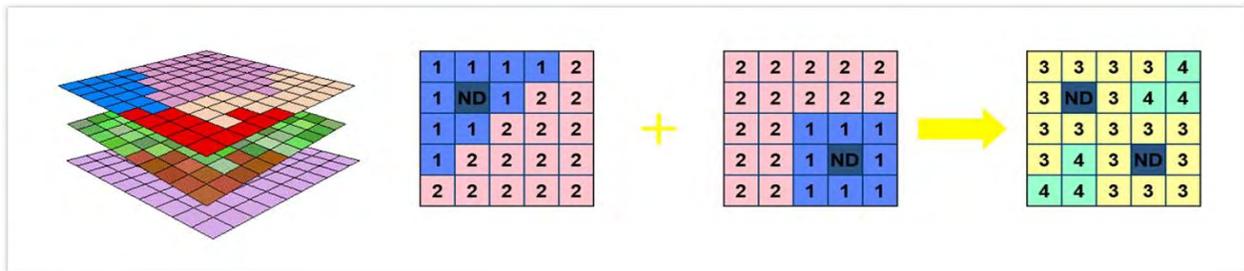


Imagen 5. Ponderación sistema Weighted Overlay.

Fuente: Portal.netcad.com.tr

**PASO 4.** También se utilizó las herramientas de conversión de raster a polígono y de polígono a raster procesos de conversión que ayudaron al manejo del cruce respectivo de la información para poder analizarla con el instrumento de ponderación de Weighted Overlay, este es un elemento que utiliza rasters de valores enteros, sobre los cuales se

realizan procesos de ponderación tanto para las categorías de valores como para el conjunto completo de datos contenidos en los rasters analizados.

## **EXPLICACIÓN DEL PROCESAMIENTO POR VARIABLE**

Dentro de la metodología propuesta para este trabajo se desarrollaron diferentes fases que llevaron con ello la ejecución de tareas indispensables para el geo procesamiento, modelamiento y análisis espacial de los datos. A continuación se describen de forma gráfica los pasos y herramientas para poder obtener los mapas de cada variable y el mapa final de zonificación.

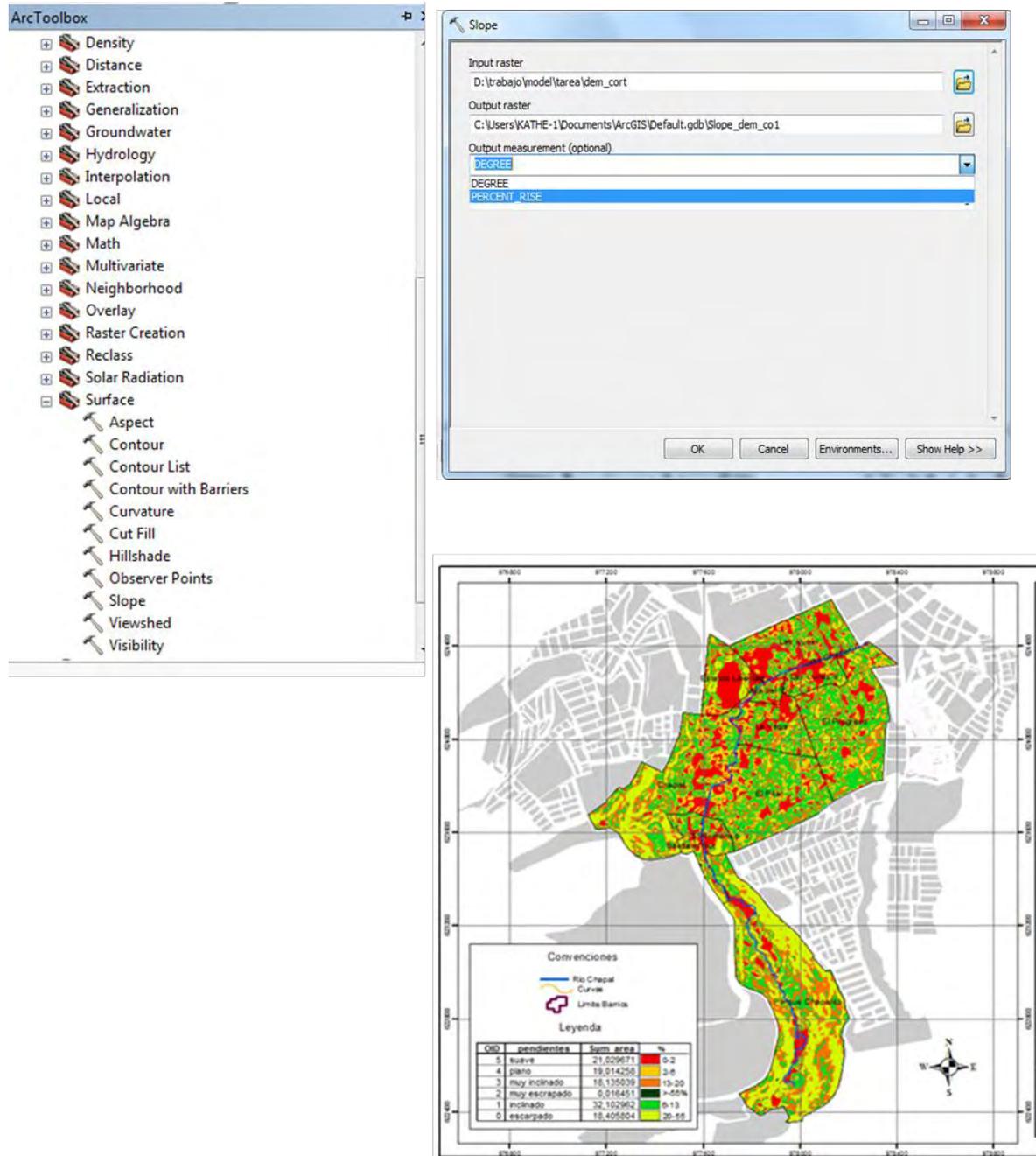
### **2.1 VARIABLE DE PENDIENTES**

En ella se vio necesario obtener un DEM Modelo Digital de Elevación a partir de la descarga del servidor ASTERDEM; se le proyectó su sistema de coordenadas en el software Arc GIS10.2 versión académica; A través de la caja de herramientas del Arctoolbox – Data Management Tools(Herramienta de Datos Administrativos)se escogió a opción: Projection and transformation (proyección y transformación)- luego damos doble clic en Projec Raster (proyección de imagen)y seguimos suministrando los datos en cuadro.

Dentro de la misma aplicación se utilizó la herramienta de Spatial Analys Tool(análisis de Herramientas Espaciales) en ella al igual que la herramienta de 3D Análisis; buscamos la opción de Surface(Superficie) y escogemos Slope (Pendiente) dando clic sobre este nos abre un cuadro el cual se indica en la Imagen N° 6 su respectivo proceso.

Procedimientos anteriormente mencionados que llevaron a cabo el resultado del mapa de pendiente; es importante destacar que se realizó la clasificación de los rangos en base a un proyecto realizado por Coorponariño Titulado “*Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la Microcuenca la Pila Municipio de Pasto - Departamento de Nariño*”; En él se utilizó la clasificación de las pendientes con seis rangos: suave – plano – inclinado – muy inclinado – escarpado – muy escarpado.

Imagen 6. Procesamiento de la variable de pendientes.



Fuente: Este estudio

Para la clasificación de las pendientes de nuestra área de estudio se vio necesario la reclasificación. Por medio del ArcTool box - 3D Análisis, en ella escogemos Raster Reclas

y abrimos el de Reclassify en ella añadimos datos de los rangos en porcentajes y categoría de los rangos; la siguiente tabla indica los rangos con mayor a menor presencia en área/ha de la zona de estudio.

Tabla 11. Ponderación de pendientes.

RANGOS	PENDIENTES	AREA
0-2%	Plano	19,01
2-6%	Suave	21,02
6-13%	Inclinado	32,10
13-20%	Muy Inclinado	18,13
20-55%	Escarpado	18,40
>-55%	Muy Escarpado	0,01

Fuente: Esta investigación.

Según el análisis de la tabla anterior y de la figura N° 3 indica que el tipo de pendiente más representativo en el área de estudio; es el que se encuentra entre el rango de **6-13%**, con relieve inclinado y con un área de 32,10ha, localizado en todo el territorio del área de estudio; seguidamente se tiene una pendiente de **2-6%**, con relieve suave y un área de 21,02ha, --; la pendiente de categoría plano se representa con los rangos de **0-2%** con un área correspondiente a 19,01ha, localizado entre los barrios Las Lunas, Las Lunas II, Estadio libertad, La Vega y una pequeña parte entre el Chapal y El Pilar; la pendiente escarpada está representada con un rango de **20-55%** y con un área de 18,40ha, Localizada en la parte Sur-occidental del Barrio Chapal y gran parte de Salida al Sur –Parque Chapalito; luego se encuentran las pendientes de categorías muy inclinada de rango **13-20%**, correspondiente el área de 18,13 ha, localizada en algunos lugares de los Barrios El Progreso, El Pilar, el Chapal y Parque Chapalito; y muy escarpada con rango **>55%** correspondiente a un área 0,01ha, la cual es la menos representativa en nuestra área de estudio.

La importancia de analizar esta variable en el presente trabajo de zonificación por susceptibilidad de inundaciones es porque dependiendo de las características de inclinación que posea la superficie terrestre, será la velocidad que tome el escurrimiento superficial. Si en el área a estudiar se encuentra una pendiente muy inclinada se obtendrá entonces que el flujo de agua correrá más rápidamente, será más difícil que parte de la lámina de agua pueda infiltrar hacia el interior y por tanto, mayor cantidad de agua llegará a la base de la pendiente pudiendo ocasionar inundaciones. Si por el contrario, se encuentra en una superficie donde la inclinación es poca, el flujo de agua que se desplazará sobre la misma lo hará de forma más lenta, posibilitando a su vez que parte de esta pueda infiltrarse, llegando menos cantidad de agua al pie de la elevación y evitando la acumulación de las aguas en zonas bajas y poco permeables. También se debe tener en cuenta la altura sobre el nivel del mar, pues en dependencia de la misma el territorio será más o menos susceptible ante una inundación pluvial. Un territorio bajo se encontrara más expuesto a las inundaciones no solo pluviales sino también fluviales, mientras que un territorio con una determinada altura se encuentra menos expuesto a este tipo de riesgo.

## **MAPA DE PENDIENTES SEGÚN LOS CRITERIOS DE SUSCEPTIBILIDAD**

Para la reclasificación de las pendientes según los criterios establecidos en la fase 2 del trabajo; estos son los lineamientos que ayudan a establecer las características y sus respectivas ponderaciones; estos procesos se desarrollan bajo el manejo de las herramientas de los sistemas de información geográfica en el caso de este estudio aplicación del software ArcGIS 10.2 donde nos ayuda con su herramienta de reclassify en 3D Análisis, clasificar las pendientes según criterio ya establecidos por su ponderación e importancia.

CRITERIO DE SUSCEPTIBILIDAD	
	ALTA SUSCEPTIBILIDAD
	MEDIA SUSCEPTIBILIDAD
	BAJA SUSCEPTIBILIDAD

Para la reclasificación según los criterios de análisis; se tuvo en cuenta sus características de los rangos por pendientes, que de 0-6% debería ser alta susceptibilidad; en cuanto a que sus relieves se encuentran representados entre relieves planos, suaves y con un bajo grado de inclinación donde sería más probable la acumulación del agua a causa de

su pendiente y litología del suelo. La segunda clasificación va representada por los rangos entre 6-20% con una media susceptibilidad a inundaciones a causa de sus relieves inclinados y muy inclinados, donde el agua pluvial puede presentarse en proceso de escurrimiento y provocar una mediana saturación de agua en la parte angular de la pendiente. La tercera y última se ve reflejada en los rangos de  $>20\%$  comprendidas las categorías de escarpado y muy escarpado con un criterio de baja susceptibilidad.

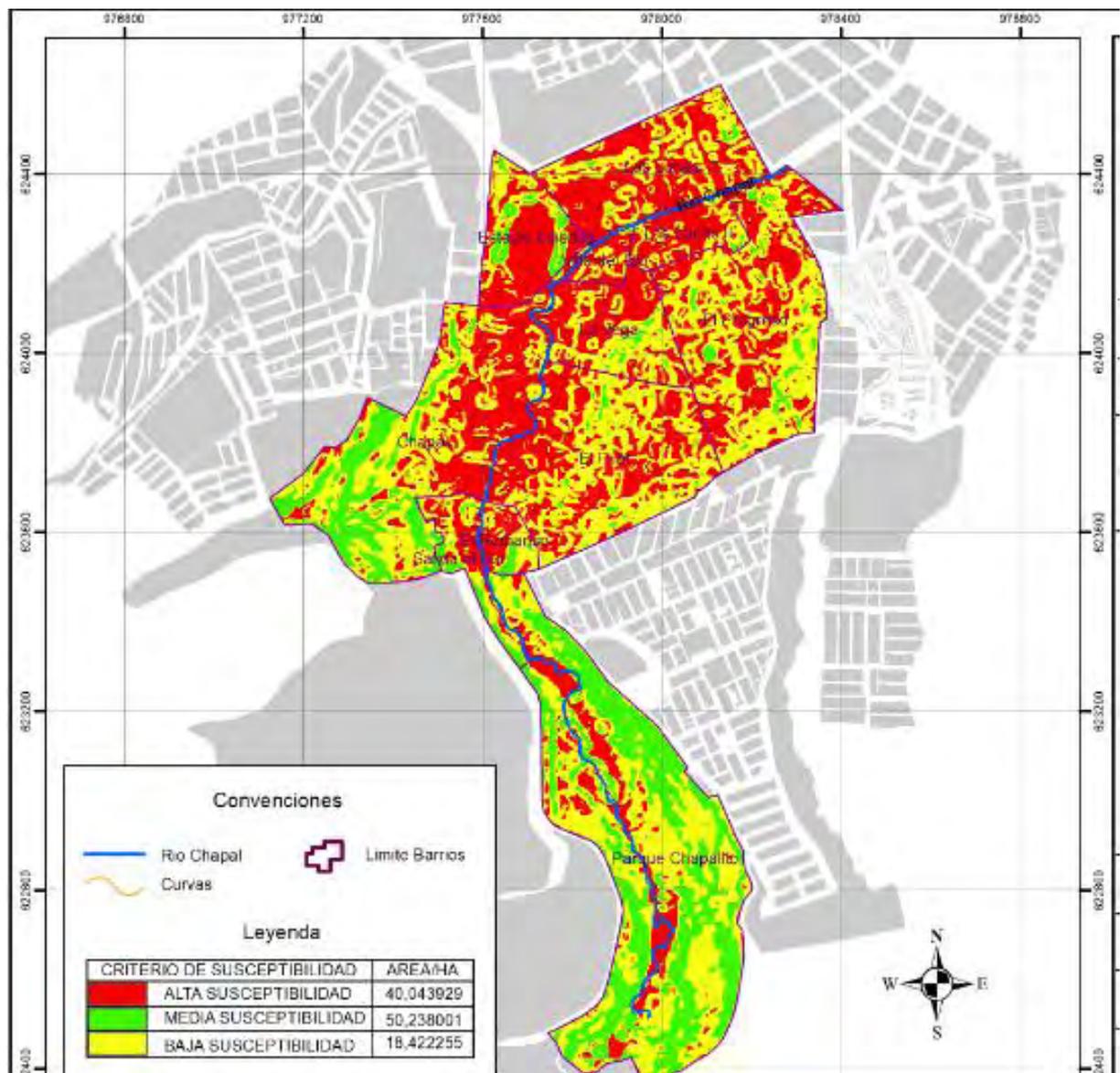


Figura 3. Criterio de susceptibilidad por pendientes.

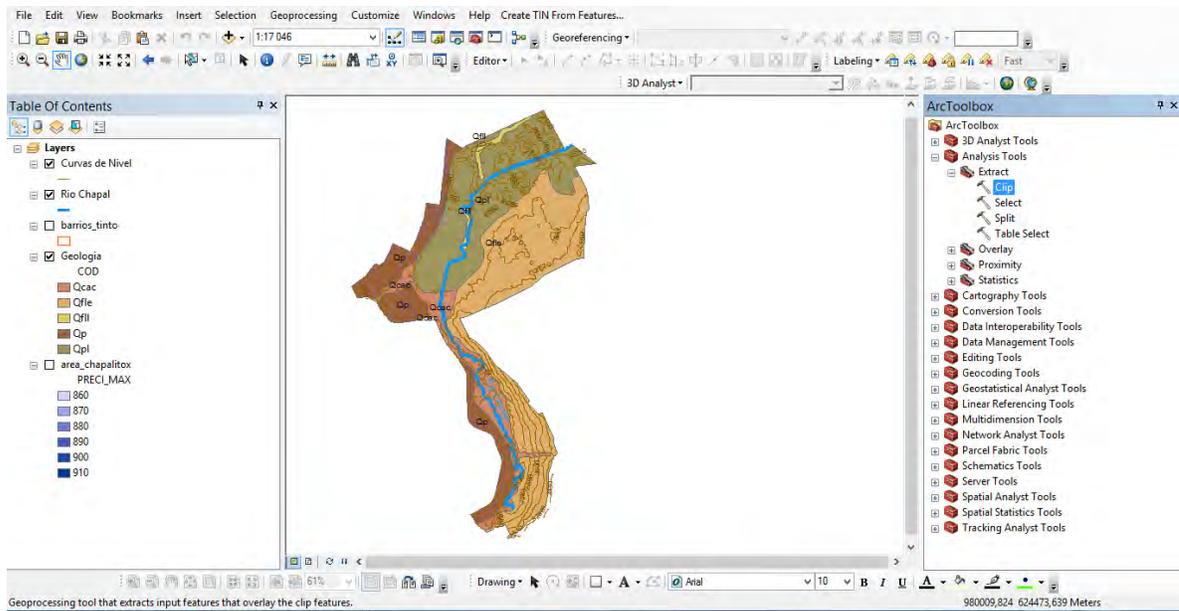
Fuente: Esta investigación.

Como podemos observar en la imagen anterior; nos indica la clasificación de las pendientes y su área correspondiente según el criterio de análisis anteriormente explicado; en él se analiza y verifica que las zonas con mayor grado de susceptibilidad se encuentran en los barrios las lunas, las lunas II, Estadio libertad, Villa del Rio, El Remanso, Parte del Pilar, y el Chapal, con un área de 40,04ha. Para la clasificación de las zonas que se representan con media susceptibilidad a inundaciones encontramos a los barrios: Parte de Chapal, Salida al Sur y Parque Chapalito, con un área de 50,23ha. Para la zona con baja susceptibilidad encontramos los barrios: el Progreso, Parte del Pilar, La Vega, parte del Chapal occidental, Parque Chapalito, con un área de 18,42ha.

## **2.2 VARIABLE DE GEOLOGIA**

La información geológica con la que se trabajo fue obtenida en formato shapefile a escala 1:1000 y contiene datos generales sobre las unidades geológicas superficiales del Municipio de Pasto, el primer proceso que se realizó fue identificar el área de estudio y la información referente a la misma, posteriormente en la caja de herramientas (ArcTool box - Analysis Tools - Extract) utilizamos la herramienta *clip* para recortar nuestra área de estudio y se lo exporta como un nuevo shapefile delimitando y salvando información únicamente referente a nuestra zona de estudio.

Imagen 7. Procesamiento de la variable de geología.



Fuente: Esta Investigación.

Seguidamente después de analizar la distribución espacial de las unidades geológicas presentes en nuestra área de estudio y de conocer su composición procedemos a ponderar estos datos según su susceptibilidad a desbordamientos de agua.

Esta clasificación se basa fundamentalmente en aquellas formaciones que según sus rocas son permeables o impermeables ya que determinará la existencia de zonas proclives a la ocurrencia de inundaciones.

En el caso de esta variable se debe tener en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los suelos y específicamente la permeabilidad de los mismos, que van a determinar la cantidad de agua que es capaz de retener. Esta propiedad de los suelos es de gran importancia cuando ocurre una inundación muy fuerte y que ocupa superficies extensas.

Cuando esto sucede los suelos juegan un papel importante en la duración de las inundaciones, pues si estas se producen en zonas donde los suelos que se encuentran son permeables por tener mucho contenido de arena, el tiempo de duración de dicho fenómeno será corto, pues los mismos tiene la capacidad de absorber gran cantidad de agua. Por su parte si esto sucediera en un territorio donde los suelos que se encuentran son

impermeables, el agua quedará más tiempo en la superficie, como consecuencia de la poca capacidad de retención de estos.

La ponderación de las unidades geológicas se la realizó mediante el manejo de la tabla de atributos de la entidad “Geología” añadiendo a esta los campos necesarios para el análisis de esta información: determinando así el área, clasificación y criterios de análisis.

Así se asignó el peso de uno (1) a las litologías con menor propensión a la susceptibilidad de inundación. Cabe mencionar que en esta asignación de pesos se parte del valor del más estable (1) hasta el menos estable, al que se le asigna el peso de tres (3) correspondiendo a la litología con mayor grado de susceptibilidad a las inundaciones.

Tabla 12. Ponderación de unidades geológicas.

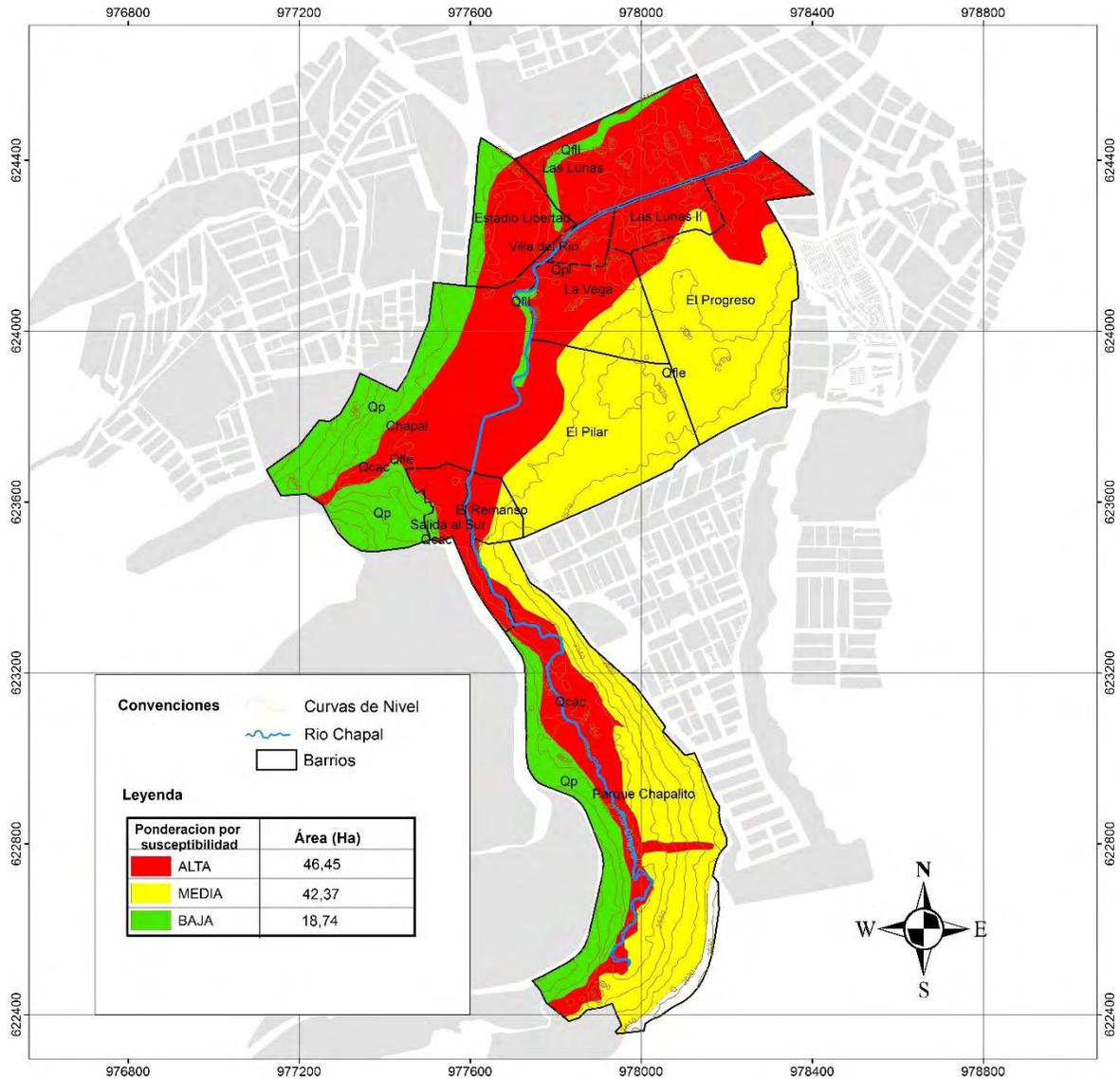
<b>UNIDAD GEOLÓGICA</b>	<b>CRITERIO DE SUSCEPTIBILIDAD</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>ÁREA (ha)</b>
Piroclastos de caída – rellenos antrópicos	BAJA	1	18,74
Flujos de lodo este – depósitos de movimientos en masa	MEDIA	2	42,37
Depósitos paludales – depósitos de cauce actual	ALTA	3	46,45

Fuente: Esta investigación.

El resultado de esta clasificación se la ve representada en el siguiente mapa que identifica las zonas más susceptibles a inundación en color rojo, las zonas con una susceptibilidad media en color amarillo y las zonas con menor riesgo de inundación en color verde.

#### **MAPA DE GEOLOGIA SEGÚN LOS CRITERIOS DE SUSCEPTIBILIDAD**

Figura 4. Criterio de susceptibilidad de variable geología.



Fuente: Esta investigación.

*Susceptibilidad baja:* En la zona Sur y Oeste de nuestra área de estudio la susceptibilidad es baja debido en parte a las fuertes pendientes ya que debido a la inclinación la velocidad que tome el escurrimiento superficial evitan que se produzca un estancamiento o retención de agua, también debido a su composición geológica compuesta por materiales permeables.

En barrios como de Villa del rio y El estadio son zonas urbanizadas sobre material de relleno de diferentes fuentes provenientes de desechos industriales y viviendas formando un área de relleno artificial compuestos por arenas.

En las áreas colindantes a la Quebrada Chapal han construido muros que se han construido con relleno para evitar intrusiones del río a las viviendas el área de ponderación baja es de 18,74 hectáreas.

*Susceptibilidad media:* Las zonas con ponderación media se encuentran sobre los barrios El Pilar, El progreso y la zona Este de nuestra área de estudio, estas unidades geológicas reciben esta ponderación debido a su composición geológica y a que estos barrios se encuentran sobre terrazas aluviales además se encuentran relativamente más alejados del cauce de la Quebrada. Con una extensión total de 42,37 hectáreas.

*Susceptibilidad alta:* Las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones son las llanuras cercanas a los cauces, planos de inundación y depresiones estas zonas están ocupadas por los barrios Las lunas, Las lunas II, El progreso, Villa del río, la vega, El remanso, tanto por su ubicación cercana a la quebrada además por encontrarse en zonas con pendientes bajas, orientación de las pendientes hacia estas zonas y la impermeabilidad del terreno facilitan la acumulación de las aguas, las áreas con susceptibilidad alta ocupan 46,45 hectáreas.

### **2.3 VARIABLE DE PRECIPITACIÓN**

Para el manejo de esta variable fue necesario obtener los datos promedios de precipitación máxima de las distintas estaciones del municipio de Pasto en un rango de 20 años (1990 – 2010); gracias a esta información fue posible la creación de un mapa de isoyetas con los datos representados en la figura 5 Nuestra área de estudio tiene una variación de precipitación que varía de los 860mm hasta los 910mm, en la Tabla N° 13 se indica los datos de precipitación por mes en las diferentes estaciones que cubren el área del municipio de Pasto.

Para ello se vio necesario crear una nueva carpeta de puntos donde se encontrarán las estaciones de estudio, se utilizó una herramienta del ArcToolBox denominada: “*spline*” con ella se elaboró las isoyetas que determinan espacialmente los rangos de precipitación, con estos se observa las áreas con mayor y menor precipitación según escala de colores según establezca el usuario, seguidamente se utiliza la herramienta de Surface, *Contour*

List, con ello se ilustra los datos de máxima precipitación según los promedios anuales de cada estación, el resultado de todo el cruce de información se añadió dos campos en la tabla de atributos del shapefile resultante estableciendo así su clasificación y su criterio de análisis.

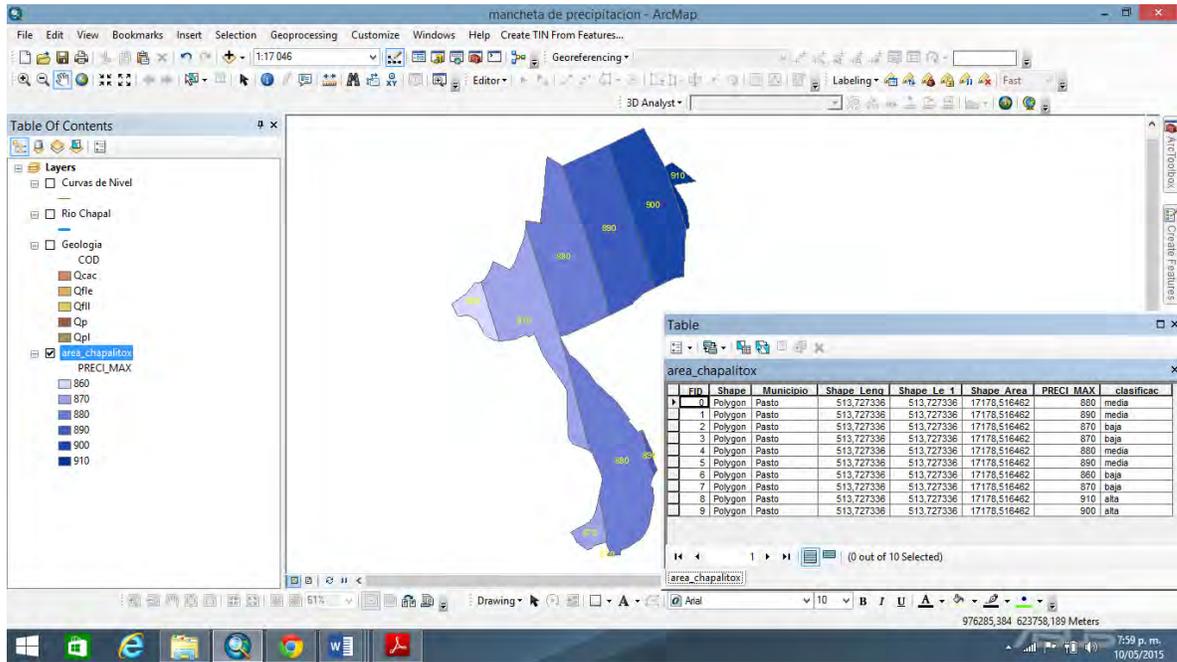


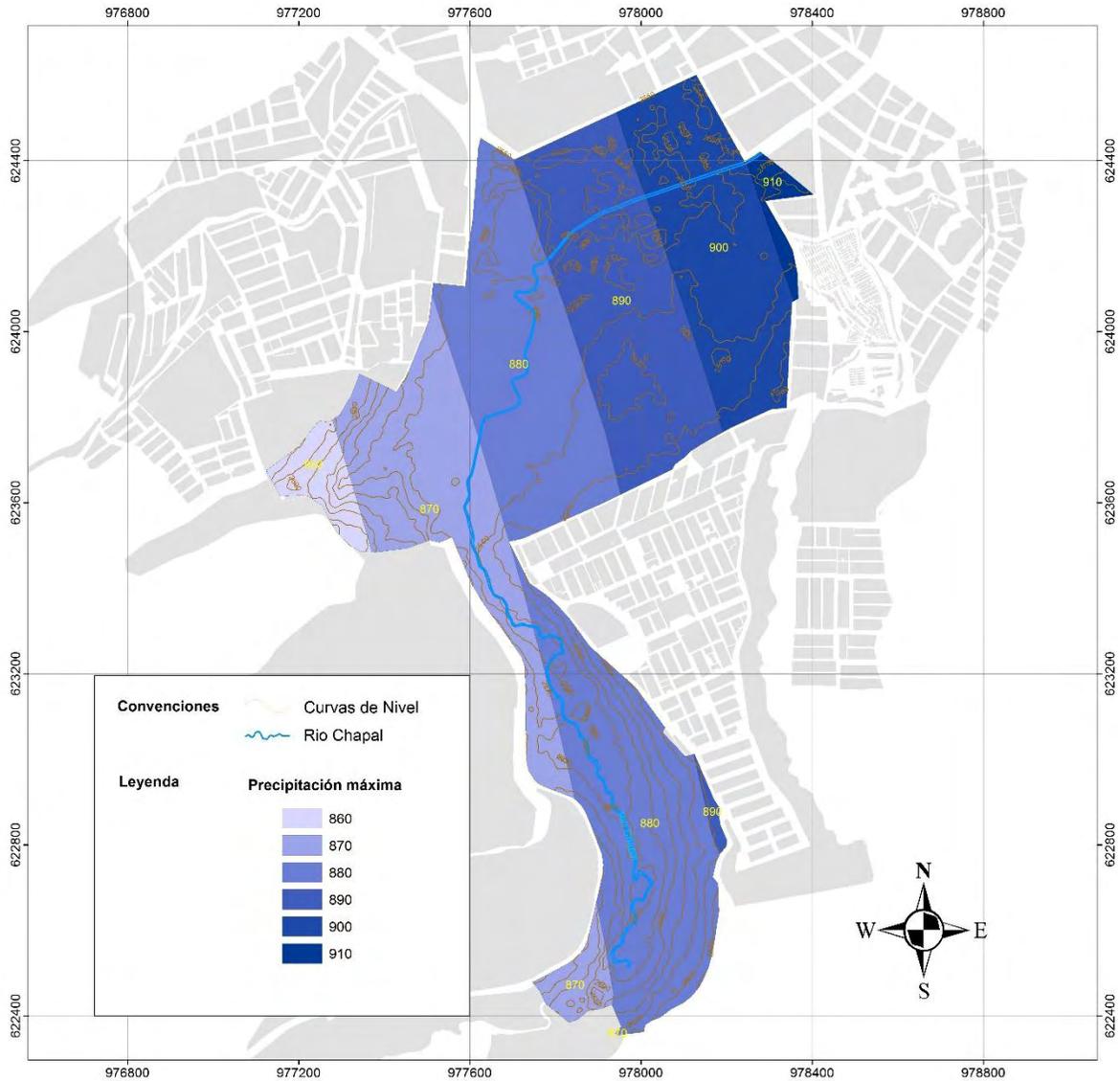
Figura 5. Proceso de mapa de isoyetas.

Fuente: Esta investigación.

## PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION DE LA VARIABLE

En esta variable se tuvo en cuenta los datos de las seis estaciones meteorológicas con las que cuenta el Municipio de Pasto; con ellas se analizaron los datos máximos de precipitación anual, que manejadas dentro del programa se las georreferenció para realizar su respectivo proceso de análisis de isoyetas en el área a estudiar.

Figura 6. Mapa de isoyetas.

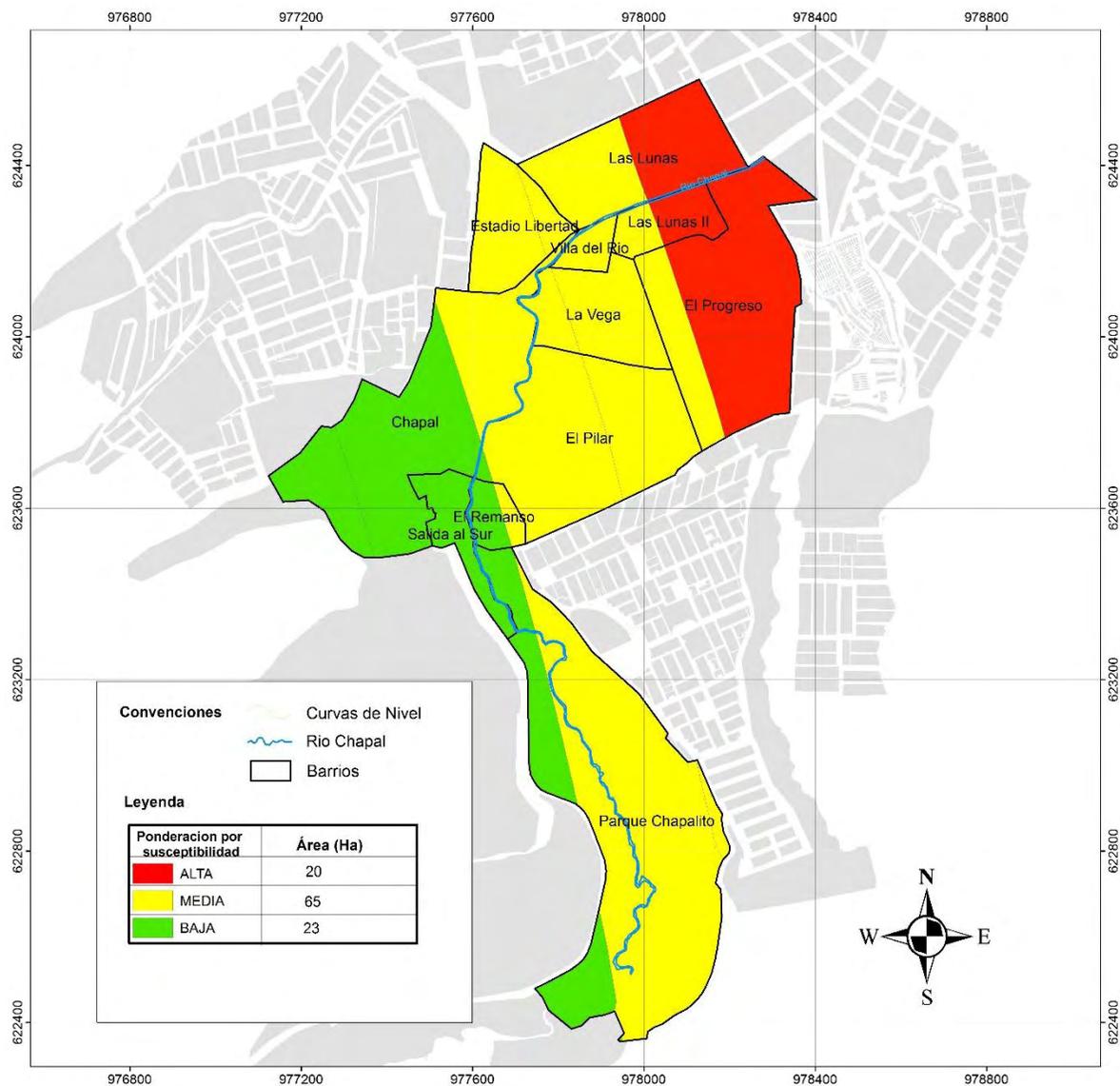


Fuente: Esta investigación.

La variable con alta influencia de susceptibilidad fue reconocida en las máximas entre 900- 910mm, con una clasificación de 3 y de un criterio de alta susceptibilidad, debido a que sus isoyetas corresponden a un alto número y presencia de humedad; Para la medición de las máximas entre 880 – 890mm, se designó según sus elementos que su clasificación se encuentra en un segundo (2) nivel, con criterio de media susceptibilidad, debido a su representación de lugares mediamente afectados por su medición y por último las máximas de 860-870mm, se encuentra con el número 1 en clasificación y baja susceptibilidad en criterios de análisis por precipitación en el área de estudio.

Clasificación anterior que se concluyó debido al análisis de los datos de la precipitación máxima para cada año según el periodo de estudio de 20 años (1990-2010).

Figura 7. Mapa de ponderación de precipitación



Fuente: Esta investigación

Como se puede apreciar en la figura 7 se observa los criterios de ponderación para esta variable, identificando los barrios afectados en tres rangos alta, media y baja susceptibilidad. Como es el caso de los barrios Las Lunas, Las Lunas II, El Progreso se

encuentran en zonas con mayores promedios de datos máximos de precipitación ocupando un área de 20 hectáreas. Las áreas con media susceptibilidad de precipitación se las encuentra en los barrios La Vega, El Pilar, Villa del Rio, Estadio Libertad y parque Chapalito representado con un área de 65 hectáreas y por último la identificación de las zonas con baja susceptibilidad encontramos los barrios Chapal. El Remanso, Salida al Sur con un área de 23 Hectáreas.

### FASE 3:

**Generación de cartografía usando los resultados arrojados con la aplicación del modelo de zonificación por susceptibilidad a inundaciones de la Quebrada Chapal, a través de los diferentes mapas obtenidos.**

Para obtener como resultado el mapa de zonificación por susceptibilidad de fenómenos de inundación se maneja una serie de pasos que a lo largo del trabajo se fueron realizando. En resumen por fase; se indica que en la fase uno se nombraron las variables y documentos que se habían consultado para su referencia de este trabajo; En la fase 1 se definieron criterios de clasificación y ponderación situación que conlleva a que se genere una jerarquía de los datos; esto se vio desarrollado en la fase 2, donde se procesó la información por medio del modelo espacial cartográfico impulsado por información clave del área, procesos necesarios y puntuales para determinar resultados acordes con lo que se pretendía conseguir; y por último dentro del modelo se maneja la herramienta que anteriormente en el documento se explicó “Weighted Overlay” herramienta que superpone las variables según su ponderación en porcentajes y criterios de susceptibilidad.

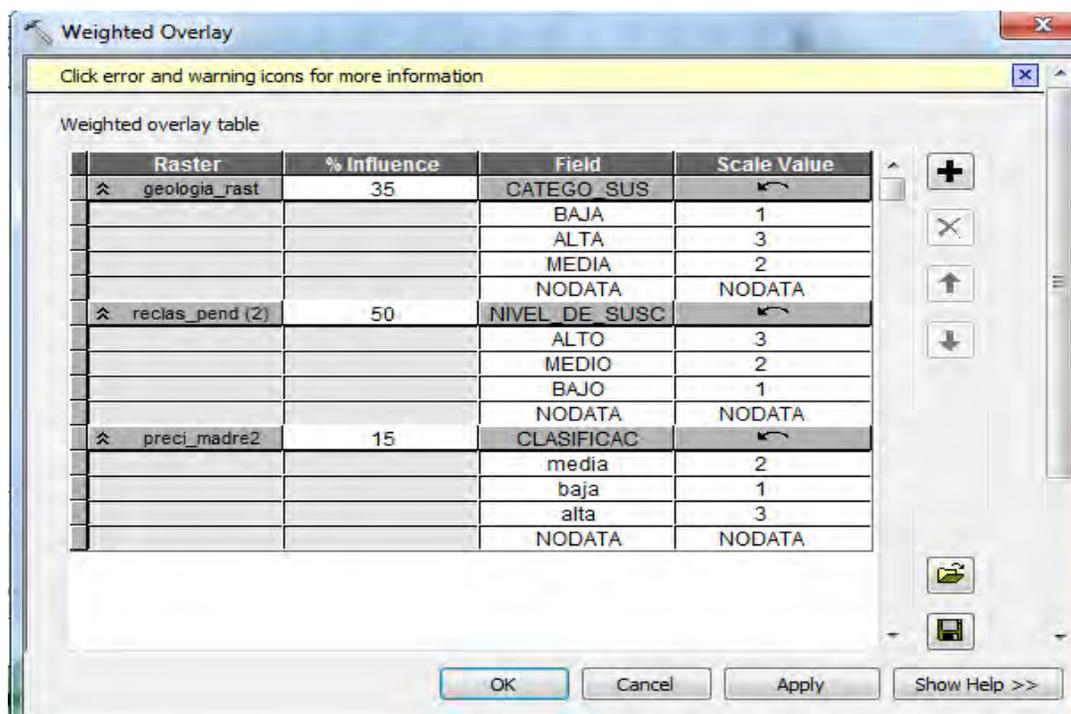


Image n 8. Ponderación de variables en el Weighted Overlay.





Universidad de Nariño  
Departamento de Geografía  
Diplomado en SIG

Proyecto: Zonificación por susceptibilidad a fenómenos de inundación en el área de influencia del Río Chapal

Título del Mapa: Zonificación por susceptibilidad a inundación de predios Río Chapal

Autor: Katherin Benitez - Daniel Gómez

Fuente de información: Estudio de Caso



Escala de Trabajo: 1:5000

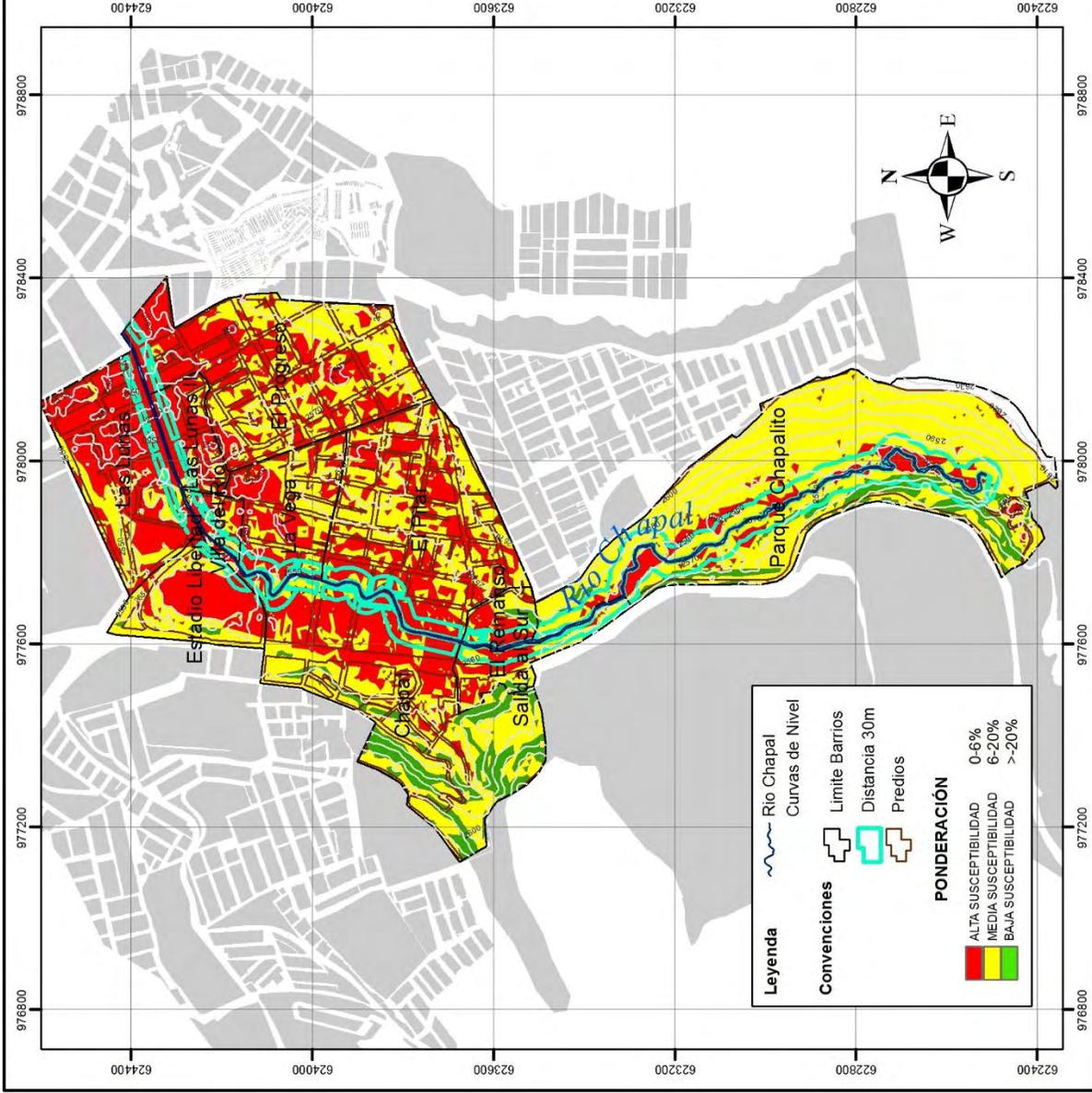
Escala de Impresión: 1:13.000



Referencia Espacial: MAGNA Colombia Oeste

Fecha: Mayo de 2015

No. Mapa: 1 de 8



Con la aplicación de la herramienta anteriormente mencionada en la Imágen N° 8 se observa que se hace efectivo la relacion de las variables con los criteriors y ponderacion que en la fase 2 se habia predicho; siendo este el proceso de la generacion del mapa de Zonificacion objetivo principal del documento presentado en el anterior mapa.

**PASO 1:** Para su análisis de resultados observemos en la anterior imagen del Mapa está representado en tres colores: El color rojo representa las áreas con ponderación de “Alta Susceptibilidad” con un área de 40,56 ha, en estas áreas el sistema las determinó como áreas más susceptibles debido a que se ubican sobre suelos limo arcilloso, en una zona de baja pendiente. Esto favorece el estancamiento de las aguas y además presenta una alta precipitación, A estos criterios se les dio una calificación de 3, lo cual el sistema lo interpreta como zonas con mayor susceptibilidad a inundación.

Las zonas amarillas se presentan con “susceptibilidad media” con un área de 60,02 ha, debido a que se encuentran en pendientes moderadas y más alejadas de la rivera del rio, estas zonas están clasificadas con el valor de 2; a las cuales el sistema las interpreta dentro de las zonas de “mediana susceptibilidad”.

Las zonas verdes que se encuentran a los márgenes de nuestra área de estudio, son zonas con pendientes fuertes, menor precipitación y suelos más resistentes, ya que son de origen volcánico. A estas se las pondero con el valor de 1, ya que representa el nivel más bajo de susceptibilidad con un área de 6,70 ha con posibilidades a inundaciones.

En la tabla siguiente se observa la ponderacion por variable para nuestra zonificacion por inundación realizada en a base de datos de nuestro mapa resultante.

Tabla 13. Ponderación de cada variable.

PONDERACION	PENDIENTES	GEOLOGIA	PRECIPITACION
BAJA SUSCEPTIBILIDAD	>-20%	PIROCLASTOS DE CAIDA- RELLENOS ANTROPICOS	860-870
MEDIA SUSCEPTIBILIDAD	6-20%	FLUJOS DE LODO ESTE - DEPOSITOS DE MOVIMIENTO EN *	880-890
ALTA SUSCEPTIBILIDAD	0-6%	DEPOSITOS PALUDALES - DEPOSITOS DE CAUCE ACTUAL	900 - 910

Fuente: Esta Investigación

En el mapa resultante también se puede observar y analizar la afectación por inundaciones frente a su ubicación de los barrios y predios cercanos a una área de influencia de 30 metros de lado y lado de la fuente hídrica. Los barrios encontrados en esta área de influencia son: Las Lunas, Las Lunas II, Chapal, Pilar, La Vega, el remanso y parque chapalito; áreas representadas con 12,66 ha de influencia de inundación a márgenes del río.

Para la identificación de las propiedades de cada variable, se expone en los anexos; los resultados de cada variable tanto de sus propiedades generales de Pendiente, Geología y Precipitación como de su ponderación y clasificación de susceptibilidad en Mapas a una escala de trabajo de 1:5000 detallada para mayor claridad de los procesos e información.

## 10. CONCLUSIONES

1. Se comprobó la utilidad y efectividad de la utilización de las técnicas de la evaluación multicriterio y la de las unidades integradoras del territorio en la zonificación por susceptibilidad a inundaciones, así como del SIG ArcGIS 10.2 (Versión Académica), como una herramienta para el procesamiento y análisis espacial de la información en el análisis de modelos cartográficos.
2. Se observa que no se cumple en ningún tramo de la Quebrada con la normatividad que especifica con el cumplimiento de establecer una franja de protección de ronda hídrica de 30 metros.
3. Se pudo determinar que para el desarrollo de este trabajo fue importante el cruce de estas tres variables, en cuanto a sus propiedades para el análisis de este tipo de fenómenos.
4. El mapa de zonificación por susceptibilidad en el área urbana de la Quebrada Chapal muestra que 40,56 hectáreas que representan el 37,5 % del área de estudio tienen una susceptibilidad alta a sufrir inundaciones, 60,62 hectáreas es decir el 56% tienen una susceptibilidad media a sufrir inundaciones y el por último 6,70 hectáreas que constituyen el 6.2 % de nuestra área analizada presentan una susceptibilidad baja a inundaciones.
5. Los barrios las lunas, lunas II, el remanso y el progreso son los que presentan mayor riesgo a inundaciones por encontrarse en zonas de baja pendiente y suelos con un alto grado de impermeabilidad.
6. La importancia de generar estos estudios de zonificación es por qué sirven como diagnóstico para la el análisis de las amenazas, la vulnerabilidad y el riesgo de que ocurra un desastre.

## **11. RECOMENDACIONES**

- Implementar las normas establecidas en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Pasto formulado para el período 2014-2027.
- Establecer un sistema de monitoreo y control de las intervenciones que se realicen en el borde de las corrientes hídricas de la Quebrada Chapal y sus afluentes.
- Fomentar los programas de Educación Ambiental en las Comunas y Barrios colindantes de la Quebrada Chapal y sus afluentes.
- Socializar las investigaciones de carácter técnico y académico en las comunidades urbanas localizadas en el entorno del Parque Chapalito, el Estadio Libertad y Avenida Chile.
- Gestionar participativamente procesos de ejecución de proyectos relacionados con el mejoramiento del medio ambiente en el borde y entorno de la Quebrada Chapal y sus afluentes.
- Impulsar nuevos proyectos de investigación relacionados con la conservación y protección del medio ambiente, la gestión del riesgo y la prevención de desastres en el Municipio.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### BIBLIOGRAFÍA

- ALCALDÍA DE PASTO. (2003). “Plan de ordenamiento territorial. Realidad Posible”. (POT). Municipio de Pasto.
- ALCALDÍA DE PASTO. (2015). “Plan de ordenamiento territorial. Territorio con Sentido. 2014-2027”. (POT). Municipio de Pasto.
- BRENES, Carlos. (2010). “Sistema de Información Geográfica”. Biblioteca Virtual.
- CHARDON, Anne-Catherine y GONZÁLEZ, Leonardo. (2002). “Indicadores para la Gestión del Riesgo”. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- RODRÍGUEZ, M<sup>a</sup> José. (2004). “Los sistemas de información geográfica: una herramienta de análisis en los Estudios de Impacto Ambiental (EAI)”.
- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA DE 1991.
- CORPONARIÑO, MUNICIPIO DE PASTO, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2004). “Agenda Ambiental Municipio de Pasto”. Dirección de Desarrollo Territorial. Municipio de Pasto.
- IGAC. “SIG. Sistema de Información Geográfica”. (2010). Análisis Geográficos. Bogotá: Imprenta Nacional.
- IGAC. CIAF. “Fundamentos de Sistema de Información Geográfica”. (2004). Comisión Colombiana del Espacio. Bogotá, D.C.
- LEY 99 DE 1993. Ley General de Medio Ambiente.
- LEY 388 DEL 1997. Ley de Ordenamiento Territorial.
- DECRETO 1729 DE 2002. Ordenación de Cuencas Hidrográficas.
- LEY 1523 DE 2012. Unidad de Gestión del Riesgo y Desastres.

- CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA. (1991). Bogotá: Imprenta Nacional.

## **CIBERGRAFÍA**

- [http://www.academia.edu/4377423/An%C3%A1lisis\\_espacial\\_mediante\\_herramientas\\_SIG\\_de\\_la\\_vulnerabilidad\\_ante\\_tsunamis\\_del\\_casco\\_urbano\\_de\\_Punta\\_Umbr%C3%ADa\\_Huelva\\_SO\\_de\\_Espa%C3%B1a\\_](http://www.academia.edu/4377423/An%C3%A1lisis_espacial_mediante_herramientas_SIG_de_la_vulnerabilidad_ante_tsunamis_del_casco_urbano_de_Punta_Umbr%C3%ADa_Huelva_SO_de_Espa%C3%B1a_)
- [http://www.academia.edu/8985999/Tecnolog%C3%ACa\\_SIG\\_como\\_herramienta\\_para\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_Riesgos\\_ocasionados\\_por\\_fen%C3%B3menos\\_naturales](http://www.academia.edu/8985999/Tecnolog%C3%ACa_SIG_como_herramienta_para_an%C3%A1lisis_de_Riesgos_ocasionados_por_fen%C3%B3menos_naturales)
- <https://onedrive.live.com/?cid=FD3B6BC965267D4F&id=FD3B6BC965267D4F%214091>
- [http://www.academia.edu/4377423/An%C3%A1lisis\\_espacial\\_mediante\\_herramientas\\_SIG\\_de\\_la\\_vulnerabilidad\\_ante\\_tsunamis\\_del\\_casco\\_urbano\\_de\\_Punta\\_Umbr%C3%ADa\\_Huelva\\_SO\\_de\\_Espa%C3%B1a\\_](http://www.academia.edu/4377423/An%C3%A1lisis_espacial_mediante_herramientas_SIG_de_la_vulnerabilidad_ante_tsunamis_del_casco_urbano_de_Punta_Umbr%C3%ADa_Huelva_SO_de_Espa%C3%B1a_)
- [http://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA\\_DICCIONARIO\\_B%C3%81SICO](http://www.academia.edu/1329261/GEOTECNIA_DICCIONARIO_B%C3%81SICO)
- [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s09.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm)
- <http://corponarino.gov.co/expedientes/intervencion/biodiversidad/tomo02caracteristicasbiofisicas.pdf>
- <https://onedrive.live.com/?cid=FD3B6BC965267D4F&id=FD3B6BC965267D4F%214091>
- <https://onedrive.live.com/view.aspx?cid=FD3B6BC965267D4F&resid=fd3b6bc965267d4f%214106&wacqt=sharedby&app=WordPdf>
- <http://es.scribd.com/doc/100311710/Metodologia-Para-La-Elaboracion-de-Mapa-de-Pendientes#scribd>

- <http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase7/flujos-angulito-giron.pdf>
- [ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO\\_training/FAO\\_training/general/x6706s/x6706s09.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s09.htm)
- <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/sistemasinfgeog.pdf>
- [https://books.google.com.co/books?id=s1kykWt9eQYC&pg=PA261&lpg=PA261&dq=depositos+paludales&source=bl&ots=oY\\_WoDphcT&sig=1Kzl44SScd6Z6E5yv2TToPrAVSw&hl=es419&sa=X&ei=iQIQVbryFMiXNrnEgXA&sqi=2&ved=0CC4Q6AEwAw#v=onepage&q=depositos%20paludales&f=false](https://books.google.com.co/books?id=s1kykWt9eQYC&pg=PA261&lpg=PA261&dq=depositos+paludales&source=bl&ots=oY_WoDphcT&sig=1Kzl44SScd6Z6E5yv2TToPrAVSw&hl=es419&sa=X&ei=iQIQVbryFMiXNrnEgXA&sqi=2&ved=0CC4Q6AEwAw#v=onepage&q=depositos%20paludales&f=false)

## ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO

### Sector Parque Chapalito



Fuente:  
Este estudio.

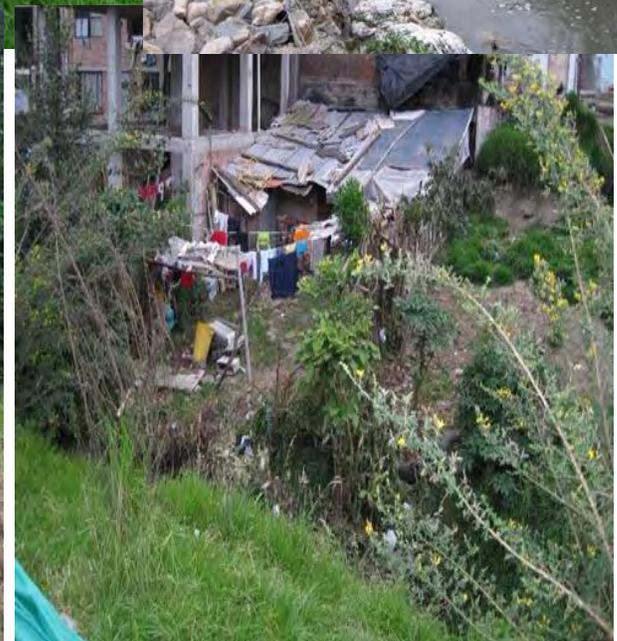


Sector

Parque Chapalito

Fuente: Este estudio.

Sector Parque Chapalito



**Fuente: Este estudio.**

**Sector El Remanso**



**Fuente: Este estudio.**

**Sector Barrio El Pilar**



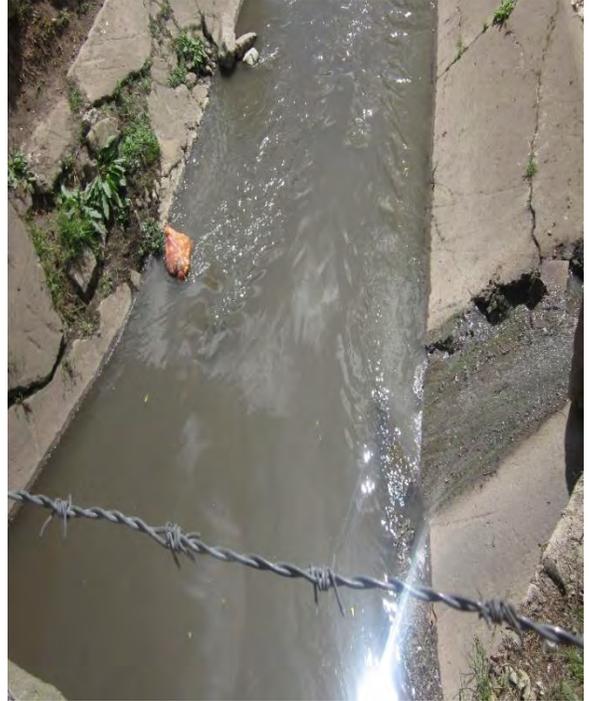
**Fuente: Este estudio.**

**Sector Barrios Villa del Rio – La Vega**



**Fuente: Este estudio.**

**Sector Avenida Chile**



**Fuente: Este estudio.**

**Sector Canalizacion – Cruce Rio Chapal con**



**Quebrada Guachucal**

**Fuente: Este estudio.**

# **ANEXOS**