

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



## CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

### PROYECTO DE GRADO

"ZONIFICACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE INUNDACIONES E  
INCENDIOS DE LA CIUDAD DE SANGOLQUÍ, MEDIANTE EL  
DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN SIG"

MARÍA REBECA BRAVO PRADO

SANGOLQUÍ, 2006

# CERTIFICADO

Por medio del presente documento, certificamos que la señorita María Rebeca Bravo Prado desarrolló el presente Proyecto de Grado titulado **“ZONIFICACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE INUNDACIONES E INCENDIOS DE LA CIUDAD DE SANGOLQUÍ, MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN SIG”**

como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafo y del Medio Ambiente, en esta Institución.

---

Ing. Iván Medina

DIRECTOR

---

Ing. Eduardo Aguilera

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006

# ASPECTOS GENERALES

## 1.1 ANTECEDENTES

Desde el comienzo de la humanidad, las personas han buscado habitar cerca de diversos recursos naturales por los enormes beneficios que estos traen. La proximidad a mares, océanos, lagos y ríos, la ubicación en valles, en faldas de los volcanes y en montañas, entre otros; les ha permitido satisfacer sus necesidades básicas proveyéndoles alimento y vivienda. Además, les ha facilitado la producción agrícola, agropecuaria, pesquera, minera e industrial, el transporte y el comercio de productos.

Así se han ido formando poblados y grandes ciudades sin planificación, que no han considerado que los mismos recursos naturales, en ocasiones pueden convertirse en amenazas.

Debido a su situación geográfica el Ecuador, país andino, tiene un conjunto de características físicas que condicionan la ocurrencia de fenómenos naturales como: altas precipitaciones pluviométricas, sucesiones de estaciones secas y lluviosas, vertientes empinadas y de gran extensión, planicies fluviales con poca pendiente, ubicación ecuatorial a la orilla del Océano Pacífico, zona de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana (una de las más activas del mundo), presencia de volcanes activos, formaciones geológicas sensibles a la erosión, entre otros. Por consiguiente, la población ecuatoriana puede estar expuesta ante varios fenómenos naturales como son: sismos, tsunamis, erupciones volcánicas, deslizamientos, inundaciones, erosión, sequías y el fenómeno ENOS (Fenómeno del Niño y Oscilación del Sur).

En el caso de la ciudad de Sangolquí, ésta se ha visto amenazada a lo largo de la historia por flujos de lodo generados por varias erupciones del volcán Cotopaxi, inundaciones, sismos, entre otros eventos que han afectado a sus habitantes y a sus bienes.

La ciudad se ha desarrollado sin planificación en un valle interandino, en lugares cercanos a los ríos y lugares de tránsito de flujos de lodo del Volcán Cotopaxi, lo que aumenta su riesgo ante dichos fenómenos naturales.

Conforme se han ido poblando las ciudades se han producido, además de los fenómenos naturales, eventos provocados por la misma población o por fallas en la tecnología conocidos como fenómenos antrópicos.

Sangolquí puede verse amenazada por la parte antrópica, entre otros fenómenos, por incendios debido a que existen varios lugares de amenaza como son la fábrica de municiones Santa Bárbara, estaciones de servicio, distribuidoras y centros de acopio de gas, lubricadoras, ferreterías, locales pinturas e industrias.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de Sangolquí ha ocurrido en forma desordenada y sin planificación, lo que ha ocasionado que la ciudad sienta sus efectos fundamentalmente en el sector de la seguridad, trayendo consecuencias graves que afectan a la población, en su forma de vida y costumbres. Adicional a esto, la escasez de conocimiento acerca de la ocurrencia de fenómenos naturales y las consecuencias que éstos acarrearán, la falta de planes de mitigación de riesgos y contingencias, y la carencia de un adecuado ordenamiento territorial han hecho que la población se encuentre más expuesta a los fenómenos naturales.

Debido a que Sangolquí posee una alta tasa de crecimiento demográfico (aproximadamente el 3,2%)<sup>1</sup> y a que es una zona estratégica para el desarrollo, donde existen instalaciones industriales y educativas de importancia tanto local como nacional, se ha visto la necesidad de realizar el proyecto titulado “ZONIFICACIÓN DE RIESGOS DERIVADOS DE INUNDACIONES E INCENDIOS DE LA CIUDAD DE SANGOLQUÍ, MEDIANTE EL DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN SIG”, con el fin de obtener cartografía que zonifica a la ciudad de acuerdo a la amenaza, la peligrosidad y el riesgo derivado de inundaciones e incendios, la que servirá de base para desarrollar el Plan de Mitigación de Riesgos y Contingencias propuesto en el Plan Estratégico Participativo del cantón Rumiñahui, en el Sector Seguridad.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

- Desarrollar un modelo de zonificación para los riesgos derivados de inundaciones e incendios de la ciudad de Sangolquí, para el uso del Ilustre Municipio de Rumiñahui, mediante una aplicación SIG.

### **1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Crear una metodología que permita zonificar a la ciudad de Sangolquí para determinar el riesgo derivado de inundaciones e incendios.
- Evaluar el riesgo derivado de inundaciones e incendios de la ciudad de Sangolquí.
- Generar mapas temáticos de riesgo derivado de inundaciones e incendios, de acuerdo a la metodología establecida.
- Desarrollar una aplicación SIG que permita determinar el riesgo mediante el la metodología establecida.

### **1.5 METAS**

- Evaluar la amenaza, la probabilidad de ocurrencia y la peligrosidad de inundaciones e incendios a través de información recopilada, el trabajo de campo y la metodología propuesta.
- Evaluar la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones e incendios mediante el modelo desarrollado a través del Proceso Analítico Jerárquico.
- Evaluar el riesgo derivado de inundaciones e incendios.
- Generar mapas de amenaza y de peligrosidad de inundaciones e incendios.
- Desarrollar mapas de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones e incendios de acuerdo al modelo establecido.
- Realizar mapas de zonificación de riesgo derivado de inundaciones e incendios de la ciudad de Sangolquí.
- Diseñar una aplicación SIG para la gestión de información de riesgos.

### **1.6 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La ciudad de Sangolquí es la cabecera cantonal del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Está limitada al norte por la parroquia urbana de San Rafael, al sur por las parroquias rurales de Rumipamba y Cotogchoa y por el Distrito Metropolitano de Quito; al

---

<sup>1</sup> Tasa de Crecimiento Demográfico del Cantón Rumiñahui, Difusión de Resultados Definitivos del VI Censo de Población y Vivienda 2001, INEC, Quito-Ecuador, 2001.

este por el Distrito Metropolitano de Quito y al oeste por la parroquia urbana de San Pedro de Taboada y el Distrito Metropolitano de Quito.

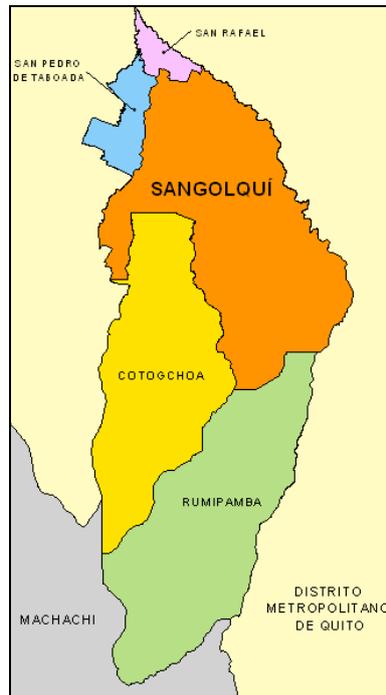


Figura 1.1. Ubicación del Área de Estudio  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Sangolquí está emplazada en el Valle de los Chillos, con un área aproximada de 31,179 km<sup>2</sup> (área de estudio del proyecto). Se encuentra atravesada de norte a sur por una red hidrográfica en la cual se encuentran los siguientes ríos: Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, nombrados de este a oeste. *Anexo A1. Mapa Base de la ciudad de Sangolquí.* El primer río nombrado pertenece a la cuenca hidrográfica del río Pita y los ríos restantes a la cuenca hidrográfica del río San Pedro. Ver. *Anexo A2. Mapa de Cuencas Hidrográficas.*

El clima de Sangolquí es templado y tiene una temperatura media anual de 16°C. Los meses de mayor precipitación son por lo general abril y octubre.<sup>2</sup>

## EVALUACIÓN DE RIESGOS

### **AMENAZAS**

La amenaza es la manifestación de un fenómeno, natural o antrópico, que puede causar daños a la población, la propiedad (bienes y servicios básicos) y al ambiente.

Las amenazas se pueden clasificar según su origen en naturales, socionaturales y antrópicas (producidas por el hombre).

---

<sup>2</sup> Plan Estratégico Participativo del Cantón Rumiñahui, Concejo Municipal, Primera edición, Sangolquí- Ecuador, 2002

## **AMENAZAS NATURALES**

Se les denomina amenazas naturales porque están asociadas con la posible ocurrencia de fenómenos producidos por la naturaleza. La mayoría de estos fenómenos se producen en forma repentina, aunque en ciertos casos se pueden dar en forma lenta. La ocurrencia de un fenómeno natural puede desencadenar otros eventos; por ejemplo una lluvia torrencial sobre un lugar donde existen laderas con rocas meteorizadas, pendientes pronunciadas y erosionadas puede desencadenar un deslizamiento.

No se puede intervenir en el apareamiento de los fenómenos naturales, pero se puede tener algún tipo de control mediante la adopción de medidas de mitigación por parte de la población y/o de las autoridades a cargo.

Se puede clasificar los fenómenos naturales, según su origen, en los siguientes grupos:

- Fenómenos geodinámicos
- Fenómenos hidrológicos
- Fenómenos atmosféricos
- Fenómenos biológicos

## **FENÓMENOS GEODINAMICOS**

Estos fenómenos pueden ser generados por la geodinámica interna (endógenos) o externa (exógenos). La geodinámica interna es la fuerza que actúa desde el interior de la tierra, construye y transforma continuamente la corteza terrestre emitiendo materiales desde el centro de la tierra. En cambio, la geodinámica externa es la fuerza que se encarga de destruir la corteza terrestre a través de la acción de los agentes atmosféricos externos como el viento, lluvia, hielos y glaciares, aguas continentales, mares y océanos, etc.; así se origina una lenta destrucción y modelación del paisaje rocoso y del relieve, en cuya actividad se desprenden materiales que una vez depositados forman las rocas sedimentarias.

Dentro de los fenómenos geodinámicos se encuentran los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, el movimiento de fallas geológicas, las deformaciones del suelo, los deslizamientos, los hundimientos, entre otros.

## **FENÓMENOS HIDROLÓGICOS:**

Los fenómenos hidrológicos están relacionados con la dinámica del agua en el exterior y en el interior de la corteza terrestre. Dentro de estos fenómenos se encuentran las inundaciones lentas de planicie o llanura y las inundaciones súbitas de alta pendiente o de régimen torrencial, los desbordamientos de ríos y lagos y el anegamiento de zonas bajas por el aumento anormal de volúmenes de agua, la sedimentación, la erosión terrestre y costera, la salinización, la desedificación, las sequías y el agotamiento de acuíferos. Para el desarrollo de esta tesis se va a profundizar en el tema de las inundaciones detallado a continuación.

## **INUNDACIONES**

Las inundaciones son eventos naturales y recurrentes de un río. Son el resultado del aumento del caudal en los ríos debido a lluvias intensas caídas sobre la cuenca de drenaje, sistemas de tormentas migratorias, fallas de represas, rotura de tapones o represamientos naturales

formados por deslizamientos, vaciado de lagos volcánicos, elevaciones del nivel del mar, huracanes y tsunamis, entre otras causas. Esto ocasiona que se sobrepase la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras, inundando las tierras adyacentes conocidas como planicies o llanuras de inundación.

Las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. La frecuencia de las inundaciones depende del clima, del material de las cercanías de los cursos de agua y de la pendiente del canal.

Los tipos de inundaciones, de manera general, pueden ser los siguientes:

- **Inundación repentina:** Son locales, de gran volumen y cierta duración. Normalmente se les define como inundaciones que ocurren dentro de las primeras seis horas de lluvia intensa, y comúnmente están asociadas con nubes cúmulo altas, tormentas y ciclones tropicales.

Las inundaciones repentinas suelen ser producto de lluvias torrenciales sobre un área de drenaje relativamente pequeña, particularmente si los suelos de la cuenca de captación no pueden absorber y retener una parte significativa del agua. También se producen por fallas de presas o por el desalojo repentino de bloqueos en ríos, sean de hielo o de otros obstáculos.

Las inundaciones repentinas son una amenaza potencial, sobre todo cuando el terreno tiene una alta pendiente, posee una escasa capa vegetal, está deforestado, el escurrimiento superficial es alto, el agua corre a través de cañones angostos y donde son probables las lluvias severas. Se originan mayormente en quebradas y ríos pequeños.

- **Inundaciones fluviales:** Generalmente son causadas por precipitaciones sobre cuencas de captación extensas o por derretimiento de la acumulación invernal de nieve, o por ambos. Ocurren en sistemas de ríos con afluentes que descargan las aguas de áreas geográficas grandes e incluyen muchas cuencas fluviales independientes. Las inundaciones fluviales suelen gestarse lentamente, a menudo son estacionales, y pueden continuar por varios días o semanas. Los factores que regulan la magnitud de la inundación son el tamaño de la cuenca de captación y las condiciones del terreno como son el grado de humedad en la tierra, la cubierta de vegetación, la profundidad de la nieve, la cubierta urbana impermeable, entre otras.
- **Inundaciones costeras:** Son ocasionadas por ciclones tropicales (huracanes y tifones), mareas altas, tsunamis, y tormentas, que provocan que el nivel del mar suba e inunde las zonas bajas de la costa.

“Las inundaciones causadas por las lluvias a menudo se agravan por las olas de tormenta impulsadas por los vientos a lo largo de la zona costera”. “Al igual que en las inundaciones fluviales, la lluvia intensa extendida sobre un área geográfica grande producirá inundaciones extremas en las cuencas fluviales costeras”.<sup>3</sup>

- **Inundaciones urbanas:** Las edificaciones y los caminos que cubren el terreno impiden que se filtre el agua de lluvia, con lo cual esta escurre sobre las superficies impermeables, formando ríos artificiales. La falta de mantenimiento de los sistemas de alcantarillado o desagüe, particularmente después de temporadas largas sin lluvias en las que el polvo, desechos y vegetación han bloqueado el flujo natural del

---

<sup>3</sup> Introducción a las amenazas, Programa de Entrenamiento para el Manejo de los Desastres, Sheila B. Reed, InterWorks, PNDU, DHA, Segunda Edición, pág. 84 , 1995.

agua, puede agravar la frecuencia de las inundaciones repentinas en las ciudades. Esto ocurre en especial en lugares donde la superficie es plana o algo cóncava.

Los efectos de las inundaciones se ven agravados por algunas actividades humanas que tienen una deficiente administración de los recursos. Este es el caso de la conversión de bosques a tierras de pastoreo o de cultivos en la cuenca de captación, que provoca que se retenga poca cantidad de agua en las partes superiores de la cuenca aumentando así el escurrimiento y la erosión hacia las partes bajas. El agua de las lluvias fluye hacia las planicies y transporta grandes cantidades de materiales en suspensión a los ríos, creando inundaciones más frecuentes, severas e inesperadas.

La ocupación de los cauces por construcciones reduce la sección útil para evacuar el agua y reduce la capacidad de la llanura de inundación del río. La consecuencia es que las aguas suben a un nivel más alto y que llega mayor cantidad de agua a los siguientes tramos del río, porque no ha podido ser embalsada por la llanura de inundación, provocando mayores desbordamientos. Por otra parte el riesgo de perder la vida y de daños personales es muy alto en las personas que viven en esos lugares.<sup>4</sup>

“Al asfaltar cada vez mayores superficies se impermeabiliza el suelo, lo que impide que el agua se absorba por la tierra y facilita el que con gran rapidez las aguas lleguen a los cauces de los ríos a través de desagües y cunetas”.<sup>22</sup>

## **FENÓMENOS ATMOSFÉRICOS**

Los fenómenos atmosféricos pueden ser de origen meteorológico, climático y oceánico-atmosférico. Dentro de los fenómenos meteorológicos están los tornados y vendavales, las lluvias torrenciales y tormentas. Dentro de los fenómenos climáticos se encuentran las granizadas, heladas, cambios fuertes de temperatura e incendios forestales. Y por último, dentro de los fenómenos de interacción entre el océano y la atmósfera se encuentran los huracanes y el fenómeno ENOS.

## **FENÓMENOS BIOLÓGICOS**

Los fenómenos biológicos están relacionados con las epidemias y las plagas que afectan a las personas, animales y plantas. Dentro de las epidemias se encuentran enfermedades provocadas por virus como el SIDA, el cólera, la gripe, la varicela, el sarampión, entre otros; y dentro de las plagas se pueden mencionar las nubes de langostas, la reproducción excesiva de ratones, la mancha negra, la algodonosa, la sigatoca, entre otras.

## **AMENAZAS SOCIONATURALES:**

Los procesos y fenómenos naturales establecen límites o fronteras al desarrollo de la sociedad y de las ciudades. Por ejemplo las quebradas, las montañas, los ríos, entre otros, pueden ser límites naturales de una ciudad.

“Existe una serie creciente de fenómenos físicos que afectan a las ciudades, que aparentan ser naturales, pero en su esencia son creados por la intervención humana”.<sup>5</sup> Estos eventos se producen por la intervención de la personas en la naturaleza, denominándose como amenazas socionaturales. Dentro de este tipo de amenazas se encuentran las inundaciones,

---

<sup>4</sup> Inundaciones, Tema 8: Riesgos Naturales, Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, España, <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/08RiesgN/130Inund.htm>

<sup>5</sup> Desastres Urbanos: Una Visión Global, Allan Lavell, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, pág. 4

los deslizamientos, los hundimientos y las sequías que afectan a muchas ciudades, principalmente a los países pobres, debido al inadecuado manejo del entorno natural de la ciudad y sus alrededores.

La construcción de la ciudad implica automáticamente un cambio en los sistemas ecológicos y ambientales originarios. El ambiente natural se transforma en un ambiente construido, o social. La conversión de suelos naturales en tierras urbanas significa la remoción de la cobertura vegetal natural y su sustitución con asfalto, cemento u otros materiales industriales. Esto inevitablemente cambia la dinámica de las descargas pluviales y la dinámica fluvial de los ríos urbanos, con graves consecuencias en términos de inundaciones, si el proceso natural de control pluvial y fluvial no es compensado por la construcción de adecuados sistemas de drenaje urbanos. El minado, tanto de materiales para la construcción, como del agua subterránea, para proveer la ciudad de recursos y medios para su crecimiento, conduce muchas veces a procesos de hundimiento, deslizamiento o de sequía urbana.

## **AMENAZAS ANTRÓPICAS:**

Se les denomina amenazas antrópicas porque son causadas por el hombre. Pueden ser provocadas de forma intencional o accidental por el hombre o por el fallo de la tecnología. Los lugares con gran densidad poblacional e infraestructura tienen una gran probabilidad a que se presenten este tipo de eventos.

Los fenómenos antrópicos que pueden generar amenazas se clasifican según su clase en las siguientes categorías:

- Fenómenos tecnológicos
- Fenómenos contaminantes
- Fenómenos antropogénicos y conflictos

## **FENÓMENOS TECNOLÓGICOS:**

El uso de tecnologías modernas y artesanales en la producción y el transporte son fuente de posibles amenazas por problemas de control, reglamentación o fallas en los sistemas mecánicos o eléctricos. "La incidencia de los llamados "accidentes" tecnológicos aumenta continuamente en los centros urbanos, creando a veces condiciones de verdaderos desastres".<sup>23</sup> Ejemplos de estas amenazas son los accidentes aéreos o de embarcaciones, rompimiento de represas, explosiones, incendios industriales, entre otros.

Para efectos de este Proyecto de Tesis se va a profundizar en el tema de los incendios:

## **INCENDIOS**

Un incendio es el fuego que se produce cuando un material pasa por un proceso de combustión. Para que se produzca una combustión, es necesario que existan cuatro componentes:

- Agente oxidante (Oxígeno)
- Agente reductor (Combustible)
- Calor o fuente de ignición
- Reacción química en cadena

Estos componentes se representan gráficamente a través de tetraedro del fuego.



Figura 2.7 Componentes de Tetraedro del Fuego  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

**Agentes Oxidantes:** Son aquellos materiales que ceden oxígeno u otros gases oxidantes durante el lapso que dura la reacción química. “Los oxidantes no son oxidantes en sí, pero hacen que se produzca una combustión cuando se combinan con un combustible.”<sup>6</sup> Se le considera al oxígeno del aire como el agente oxidante primario.

**Agente Reductor:** El combustible de una reacción de combustión se conoce como agente reductor. Es el material o sustancia que se oxida o arde en el proceso de combustión. Los combustibles pueden encontrarse en cualquier estado, pero para que ardan tienen que estar en estado gaseoso. La mayoría de los combustibles comunes contienen carbón junto con combinaciones de hidrógeno y oxígeno.

**Calor:** “Es el componente energético del tetraedro del fuego. Cuando el calor entra en contacto con un combustible, la energía hace que la reacción de combustión continúe de los siguientes modos:

- Provoca la pirólisis o vaporización de los combustibles sólidos y líquidos; y la producción de vapores o gases capaces de ignición
- Proporciona la energía necesaria para la ignición
- Causa la producción e ignición continuas de los vapores o gases combustibles, de modo que la reacción pueda continuar.”<sup>7</sup>

**Reacción química en cadena:** Es una serie de reacciones producidas por la energía calorífica que permiten la formación continua de los gases de combustión.

## CLASIFICACIÓN DE LOS INCENDIOS:

Los incendios se clasifican, según la sustancia que arde o genera el fuego, en:

**Incendios de clase A:** En estos incendios intervienen materiales combustibles sólidos como

<sup>6</sup> Fundamentos de la Lucha Contra Incendios, Richard Hall y Bárbara Adams, Asociación Internacional de Formación de Bomberos, Cuarta Edición, pág. 44.

<sup>7</sup> Fundamentos de la Lucha Contra Incendios, Richard Hall y Bárbara Adams, Asociación Internacional de Formación de Bomberos, Cuarta Edición, pág. 48.

la madera, los tejidos, el papel, el pegamento y los plásticos. Se caracterizan porque arden en forma brazas y cenizas y el fuego se propaga de afuera hacia adentro. La extinción de este tipo de fuego suele realizarse con agua, extintores con base en polvo químico, seco y gas halón, entre otros.

**Incendios de clase B:** En estos incendios se involucran líquidos, gases inflamables y combustibles tales como la gasolina, el aceite, la laca, la pintura, thinner, los alcoholes minerales y el alcohol. Para apagar el fuego se emplean métodos de eliminación de oxígeno por medio de productos químicos o espumas sofocantes. El empleo de agua en forma de chorro no extingue el fuego, ésta ayuda a su propagación; en cambio la aplicación de agua a presión en forma de rocío, ayuda para extinguirlo.

**Incendios de tipo C:** Estos incendios implican equipos eléctricos activados, tales como los electrodomésticos, los interruptores, cajas de fusibles, las herramientas eléctricas, entre otros. Para apagar el fuego es necesario cortar electricidad y utilizar se recomienda el empleo de extintores con base en polvo químico, monóxido de carbono y gas Halón.

**Incendios de tipo D:** Estos incendios implican metales combustibles como el aluminio, magnesio, titanio, litio, circonio, sodio, potasio, zinc, entre otros, son especialmente peligrosos cuando están en polvo. Las concentraciones adecuadas de estos materiales en el aire pueden causar potentes explosiones, si existe una fuente de ignición adecuada. No se recomienda usar extintores comunes pues existe el peligro de aumentar el fuego por reacciones químicas entre el agente extintor y el metal ardiente. Se deben emplear extintores de polvo químico seco, en ciertas condiciones pueden emplearse tierra o arena seca, nunca agua o extintores que contengan bióxido de carbono, líquidos vaporizantes o espuma, ya que pueden dar lugar a reacciones exotérmicas.

Según su magnitud y destructividad, los incendios, pueden clasificar en:

**Conato o amago de incendio:** Inicio de un incendio que se puede apagar utilizando extintores comunes.

**Incendio:** Fuego no controlado de grandes proporciones, que puede presentarse en forma súbita, gradual o instantánea y requiere para su eliminación o control, de hidrantes, mangueras y extintores de carros. Sus efectos destructivos alcanzan hasta un 25% del sistema afectable.

**Conflagración:** Incendio que destruye significativa o totalmente un inmueble (del 26 al 100%).

Los incendios, según su causa, se clasifican en:

**Intencionales:** Se producen por voluntad directa de una persona que puede ser un incendiario o un pirómano. Los incendiarios son las personas que causan voluntariamente un incendio, y los pirómanos son las personas que tienen una afección patológica que les incita a provocar un incendio.

**Por negligencia:** Se producen por descuidos en la utilización del fuego, al no tomar las precauciones necesarias y/o adecuadas.

**Por descuido:** Se producen cuando las persona utilizan el fuego sin medir las consecuencias

que se pueden generar. Puede ocurrir con fumadores que arrojan fósforos o cigarrillos encendidos, utilización de fogatas para preparar alimentos y proporcionar luz o calor, manejo de pólvora, entre otras causas.

**Accidentales:** Son sucesos que producen desprendimiento de energía que dan lugar a combustión, sin que haya voluntad deliberada de encender.

### **FENÓMENOS CONTAMINANTES:**

Las amenazas contaminantes se relacionan con la acción de agentes tóxicos o peligrosos para el ser humano y la naturaleza. Por ejemplo derrames de hidrocarburos, emisiones o escapes de radiación nuclear, disposición inadecuada de residuos o desechos líquidos y sólidos domésticos o industriales, escapes de sustancias químicas peligrosas, entre otras.

La contaminación del aire, agua y suelo afecta a la salud de la población y puede generar la proliferación de epidemias.

### **FENÓMENOS ANTROPOGÉNICOS Y CONFLICTOS:**

Las amenazas antropogénicas y conflictos se producen, accidental o intencionalmente, por las personas e involucran a una población expuesta. Dentro de estas amenazas están consideradas las guerras civiles y militares, las acciones terroristas, el vandalismo, entre otras.

## **PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LAS AMENAZAS**

Es el grado de confianza que ocurra una amenaza natural o antrópica en un período de tiempo específico en el futuro.

## **PELIGROSIDAD**

La peligrosidad es la probabilidad de que un fenómeno natural o antrópico específico ocurra en un lugar y en un tiempo determinado, con una cierta extensión, intensidad y duración, provocando efectos negativos a la población, la propiedad y/o al ambiente.

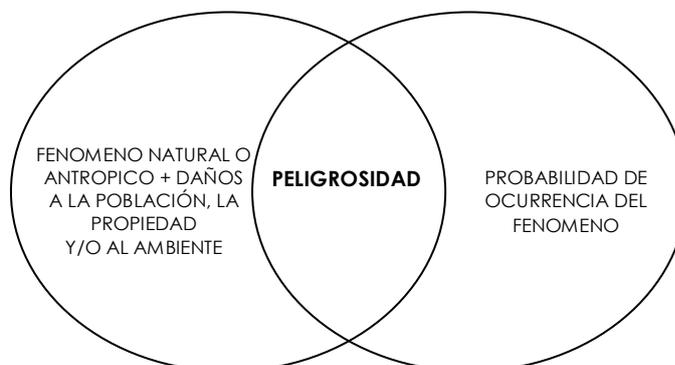


Figura 2.8. Representación de la Peligrosidad  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es la predisposición intrínseca que tiene un elemento expuesto (población, construcciones, infraestructura, servicios públicos, ambiente, entre otros) a ser afectada o ser susceptible a sufrir un daño por una amenaza ya sea de origen natural o de origen antrópico. Se conoce también como el nivel de exposición de una población frente a una amenaza determinada.

La vulnerabilidad depende de las características de las poblaciones situadas en zonas expuestas a dichas amenazas y abarca desde el uso del territorio hasta la estructura de los edificios y construcciones.

La vulnerabilidad depende fuertemente de la respuesta de la población frente a la amenaza específica, por lo que disminuye en la medida que aumenta su grado de preparación para enfrentarla. "Es importante destacar que el nivel de vulnerabilidad es modificable, ya que es susceptible de disminuir en la medida en que la población adecue su organización y su infraestructura para afrontar un riesgo potencial".<sup>8</sup> "Como las amenazas tienden a ser incontrolables, gran parte del trabajo de mitigación se centra en reducir la vulnerabilidad".<sup>9</sup>

La vulnerabilidad puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se use para su análisis y son las siguientes:

- **Dimensión Física:** La dimensión física está relacionada con las características de ubicación de la población en las zonas expuestas y la deficiencia de resistencia de los elementos expuestos (edificios, obras civiles, infraestructura, servicios públicos, entre otros).
- **Dimensión Económica:** La vulnerabilidad aumenta conforme bajan los niveles económicos de la población.
- **Dimensión Social:** Las sociedades pueden ser más o menos vulnerables ante una amenaza en la medida en que pueden reaccionar como grupo organizado, es decir mientras más integrada esté una comunidad podrá absorber las consecuencias del fenómeno y reaccionar más rápido en esos difíciles momentos.
- **Dimensión Educativa:** La vulnerabilidad aumenta debido a la falta de conocimiento sobre las causas, los efectos y las razones por las cuales se presentan las amenazas, el desconocimiento de la historia, la falta de preparación y desconocimiento del comportamiento individual y colectivo antes, durante y después de producirse un fenómeno.
- **Dimensión Política:** La dimensión política "se expresa en el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos y para la toma de decisiones que la afectan. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de acciones a los problemas sentidos en los niveles territoriales".<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> La Gestión del Riesgo en el Nivel Local, Oscar Moscardini, pág. 2.

<sup>9</sup> Introducción a las amenazas, Programa de Entrenamiento para el Manejo de los Desastres, Sheila B. Reed, InterWorks, PNDU, DHA, Segunda Edición, 1995, pág. 12.

<sup>10</sup> [Asignatura I, Teoría del Riesgo y Desastres, Curso de Educación Superior Gestión Integral de Riesgos y Desastres a distancia por internet, Capítulo 5. Vulnerabilidad, Riesgo y Desastre, 2003, pág. 97.](#)

- **Dimensión Institucional:** Esta dimensión se relaciona con las dificultades que tienen las instituciones para realizar la gestión del riesgo.
- **Dimensión Cultural:** La dimensión cultural se refiere a la forma en que los individuos de la población se ven a sí mismo en la sociedad y como colectividad.
- **Dimensión Ambiental:** Hay un aumento en la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad debido a la incapacidad de auto ajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana o de sucesos de la misma naturaleza.<sup>26</sup>
- **Dimensión Ideológica:** Esta dimensión se relaciona con las creencias o ideas de las personas acerca de lo que pasa en el mundo, las cuales pueden limitar la capacidad de actuar en ciertas circunstancias.

Para el desarrollo de este Proyecto de Tesis, se va a evaluar la vulnerabilidad física de las construcciones de la ciudad de Sangolquí.

## **RIESGO**

El es el grado de daños esperados debido a la ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico en particular, y se expresa como una función de la peligrosidad y de la vulnerabilidad:

$$Rie|_t = f(Pi, Ve)|_t \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

*P* = Peligrosidad, entendido como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o antrópico, con una intensidad mayor o igual a *i* durante un tiempo de exposición *t*.

*V* = Vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto a ser afectado por una amenaza con una intensidad *i*.

Por lo tanto, el riesgo se define como la probabilidad que se presente una pérdida sobre el elemento expuesto *e* con la ocurrencia de un fenómeno con una intensidad mayor o igual a *i*.

Se deduce que para que exista riesgo se debe tener peligrosidad y un elemento expuesto que sea vulnerable. Dicho de otra forma no se puede ser vulnerable si no se está expuesto a un peligro.

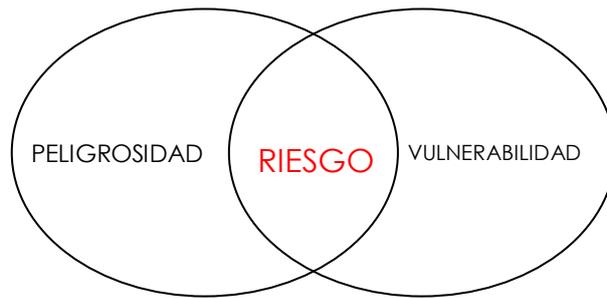


Figura 2.9 Representación del Riesgo  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

El riesgo es la intersección de la peligrosidad y de la vulnerabilidad. Para fines analíticos se suelen separar estos dos factores, estableciendo una aparente autonomía de ambos, pero en la realidad es imposible hablar de peligrosidad sin la presencia de vulnerabilidad y viceversa. Si un elemento expuesto no tiene una predisposición a sufrir daños frente a un fenómeno natural, socionatural o antrópico, no hay amenaza, sino solamente se produce un evento que no tiene repercusiones en la sociedad.

CARTOGRAFÍA Y BASE DE DATOS

## DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

### DEFINICIÓN DE LA ESCALA DE TRABAJO

Se va a definir la escala de trabajo de la cartografía, necesaria para obtener cada riesgo debido a que cada evento natural (inundaciones) y cada evento antrópico (incendios) es independiente.

Para definir la escala de trabajo se realiza dos tipos de análisis: horizontal y vertical; con el fin de determinar el elemento mínimo.

### INUNDACIONES

#### AMENAZA

Para determinar la escala de trabajo de la cartografía de amenaza de inundaciones sólo se realizará el análisis vertical debido a que los límites de las zonas de amenaza dependen de las cotas de inundación, y éstas a su vez dependen de las curvas de nivel.

#### Análisis Vertical:

De las encuestas realizadas a la población se determinó que las inundaciones históricas han llegado a una altura entre 0,5 m y 10 m. De estos datos se deduce que se puede producir inundaciones que lleguen a un promedio de 5,25 m de altura.

En los cálculos del caudal máximo de crecida, dato necesario para determinar las zonas de inundación, se tolera un error máximo del 10%. Si se aplica este porcentaje al dato de altura promedio de las inundaciones da un error tolerado de 0,525 m. Este sería el error vertical de la cartografía con la que se va de trabajar.

Según las normas cartográficas el error vertical es igual a un cuarto del intervalo de curva, es decir:

$$e.v. = \frac{1}{4}i \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$e.v.$  = Error Vertical

$i$  = Equidistancia de curva de nivel

Por lo tanto:

$$0,525 = \frac{1}{4}i$$
$$i = 4 \times 0,525 = 2,1 \text{ m}$$

La ecuación para determinar la escala es la siguiente:

$$E = 1000 \times i \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

$E$  = Escala de trabajo

$i$  = Intervalo de curva

Reemplazando los datos se obtiene:

$$E = 1000 \times 2,1 = 2100$$

Pero este tipo de escala no es común o no se usa, por lo tanto, se le aproximó  $E = 1 : 2000$ .

## **PELIGROSIDAD**

La cartografía de peligrosidad de inundaciones depende de las zonas de inundación delimitadas en el mapa de amenaza (zonas de alta, mediana y baja amenaza), y del porcentaje correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones para cada periodo de retorno (10, 50 y 100 años). Por lo tanto, la escala de trabajo del mapa de peligrosidad de inundaciones es igual a la escala del mapa de amenaza de inundaciones, es decir  $E = 1 : 2000$ .

## **VULNERABILIDAD**

Para la cartografía de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones, se va a realizar solo el análisis horizontal porque el objeto a estudiar es la construcción.

### **Análisis Horizontal:**

La unidad mínima de análisis que se requiere es la construcción, ya que en el caso que se produzca una inundación y además se cuente con un sistema de alerta temprana, los elementos muebles e inmuebles serán los únicos afectados, por lo tanto se realizará el siguiente análisis:

- Se considera que la construcción mínima que existe en la ciudad de Sangolquí es de 30 m<sup>2</sup>.<sup>11</sup> Generalizando este elemento se puede definir mediante un cuadrado de 5,5 m x 5,5 m.
- Por otro lado, el elemento mínimo que se puede observar en un mapa temático es de 3 mm en el papel.
- Al relacionar estos dos datos se puede obtener el factor de escala usando la siguiente ecuación:

$$e = \frac{\text{Distancia terreno}}{\text{Distancia papel}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

$e$  = Factor de escala

Reemplazando los datos en la Ecuación 3.3 se obtiene:

$$e = \frac{5,5 \text{ m}}{0,003 \text{ m}} = 1833,333$$

La escala se obtiene de la siguiente ecuación:

$$E = 1 : e \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

$E$  = Escala

$e$  = Factor de escala

Por consiguiente la escala es:

$$E = 1 : 1833,333$$

Pero este tipo de escala no es común o no se usa, por lo tanto, se le aproximó  $E = 1 : 2000$ .

## **RIESGO**

Para determinar la escala de la cartografía de riesgo derivado de inundaciones se debe escoger la mayor escala de la cartografía de peligrosidad y de la cartografía la vulnerabilidad, para cumplir los dos requerimientos. En conclusión se puede trabajar a escala  $E = 1 : 2000$ .

## **INCENDIOS**

### **AMENAZA**

Para la cartografía de riesgo derivado de incendios las unidades mínimas de análisis son la construcción y el predio. Ya que la mayoría de los lugares de amenaza, distribuidoras de

---

<sup>11</sup> Información de la Base de Datos del Departamento del Catastros del Ilustre Municipio de Rumiñahui.

gas, ferreterías, locales de pinturas, industrias y lubricadoras, por lo general están ubicados en una construcción, y los demás lugares de amenaza, como los centros de acopio de gas y las estaciones de servicio, se ubican en un predio. Pero como se debe escoger la mínima unidad se seleccionó la construcción. Por lo tanto, la escala de trabajo es  $E = 1 : 2000$ , al igual como se determinó en el análisis de la vulnerabilidad de la construcción frente a una inundación.

### **PELIGROSIDAD**

La cartografía de peligrosidad de incendios depende de las zonas de incendios delimitadas en el mapa de amenaza, y del porcentaje correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de los incendios. Por lo tanto, la escala de trabajo del mapa de peligrosidad de incendios es igual a la escala del mapa de amenaza de incendios, es decir  $E = 1 : 2000$ .

### **VULNERABILIDAD**

Para determinar la escala del mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a incendios, se va a emplear el elemento mínimo de análisis, que es la construcción. Por lo tanto, se va a usar el análisis realizado para la vulnerabilidad de la construcción frente a un incendio, donde se obtuvo que la escala es  $E = 1 : 2000$ .

### **RIESGO**

La cartografía de peligrosidad de incendios y la cartografía de vulnerabilidad de la construcción frente a un incendio tienen la misma escala, ya que las dos tienen la misma unidad de análisis (la construcción). Por lo tanto, la escala de la cartografía de riesgos será  $E = 1 : 2000$ .

## **DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN**

El sistema de proyección debe ser escogido según las necesidades del Ilustre Municipio de Rumiñahui, auspiciante de este Proyecto de Tesis. Por lo tanto, se va a emplear el Sistema de Referencia Espacial TM-WGS 84, el cual tiene las siguientes características:

<b>Sistema de Proyección Cartográfica TM-WGS 84</b>	
Latitud Origen	N 0° 00' 00''
Meridiano Central	W 78° 30' 00''
Factor de escala en el Origen	1,0004585
Falso Norte	10'000.000 metros
Falso Este	778.275 metros
Elipsoide de Referencia	WGS 84
Semieje mayor	9'378.137
Achatamiento Polar	1/298,25722

Tabla 3.1. Sistema de Proyección Cartográfica TM-WGS 84  
Fuente: Ordenanza para Levantamientos Topográficos <sup>12</sup>

## **CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA RECOPIADA**

<sup>12</sup> Ordenanza Municipal, Ordenanza para Levantamientos Topográficos, Art. 2.

Se va a identificar la escala, precisión y proyección de la cartografía base y temática recopilada:

## CARTOGRAFÍA BASE DE LA CIUDAD DE SANGOLQUÍ

La cartografía base recopilada, es la cartografía que se utiliza actualmente en el Departamento de Catastro del Ilustre Municipio de Rumiñahui, y tiene las siguientes características:

- **Escala:**  $E : 1 : 1000$
- **Precisión:** 30 cm
- **Proyección:** TM-WGS84

Esta cartografía se va a utilizar como base para generar la cartografía de riesgos derivados de inundaciones e incendios. Por lo tanto, la escala de estos mapas será  $E = 1 : 1000$ . Anexo E1. Mapa Base de la ciudad de Sangolquí.

## CARTOGRAFIA TEMÁTICA

La cartografía temática recopilada se va a dividir según el fenómeno natural y antrópico en análisis durante el desarrollo de este Proyecto de Grado.

### INUNDACIONES

Para el cálculo de los caudales máximos de crecida de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro se emplearon los mapas relacionados con las cuencas hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro:

- Mapa Base de las Cuencas Hidrográficas
- Mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal
- Mapa de Suelos
- Mapa Geológico

Estos mapas fueron proporcionados por Diana Hernández y Daniel Lara (2005) y tienen las siguientes características:

Nombre del Mapa	Fuente
Mapa Base	Cartas Topográficas del IGM
Mapa de Uso y Cobertura Vegetal	DINAREN
Mapa de Suelos	DINAREN
Mapa Geológico	DINAREN

Tabla 3.2. Características de los Mapas  
Fuente: Diana Hernández y Daniel Lara (2005)<sup>13</sup>

Los mapas tienen las siguientes especificaciones técnicas:

- **Escala:** 1 : 50.000
- **Error Horizontal:** 15 m
- **Proyección:** UTM

---

<sup>13</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A. Mapas, Sangolquí- Ecuador, 2005.

- **Datum geocéntrico:** WGS84
- **Datum vertical:** Nivel medio del mar, Estación Mareográfica La Libertad, Provincia del Guayas, 1959.
- **Meridiano Central:** 78° 00' W
- **Factor de Escala:** 0,9996
- **Zona:** 17

## **CARTOGRAFÍA TEMÁTICA GENERADA**

Se va a explicar como se generó la cartografía temática utilizada para la evaluación de riesgos. Por lo tanto, se va a dividir según los fenómenos naturales (inundaciones) y antrópicos (incendios) que se van analizar durante el desarrollo de este Proyecto de Tesis.

### **INUNDACIONES**

La cartografía desarrollada para el análisis de los riesgos derivados de las inundaciones se va dividir de acuerdo a la metodología empleada, es decir se va a dividir en cartografía empleada para obtener la amenaza, la peligrosidad, la vulnerabilidad de la construcción y el riesgo.

### **IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS**

La cartografía empleada para identificar los lugares de amenaza de inundaciones se va a dividir en:

#### **TRABAJO DE CAMPO**

Con los resultados del trabajo de campo<sup>14</sup> se generó un mapa de puntos muestra en ArcView. Estos puntos se colocaron en los lugares donde se realizaron las encuestas a la población y en los lugares estratégicos para determinar las cotas de inundación dadas por la morfología del terreno. Cada punto tiene información almacenada en su base de datos. *Anexo E2. Mapa de Puntos Muestra para delimitar las Áreas de Inundación.*

---

<sup>14</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.1.1 Trabajo de Campo, pág. 55.

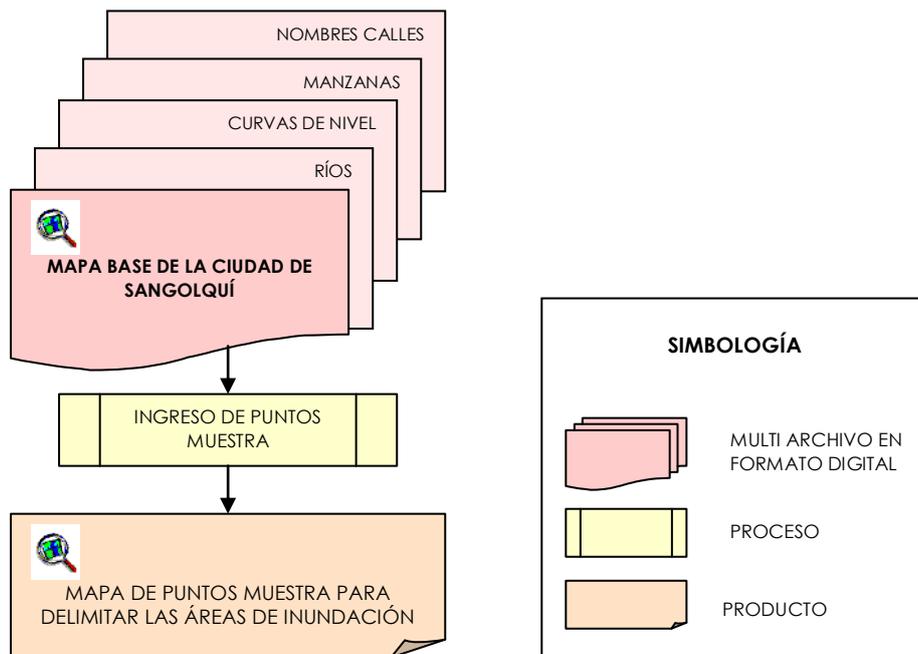


Figura 1.2. Modelo Cartográfico del Mapa de Puntos Muestra para delimitar las Áreas de Inundación  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## CÁLCULO DEL CAUDAL DE CRECIDA

### DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y MORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Para determinar los parámetros físicos y morfológicos de las cuencas hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro se necesitó generar el siguiente mapa:

- **Mapa de Cuencas Hidrográficas**

El Mapa Base de las Cuencas Hidrográficas<sup>15</sup> ya tenía la división de las cuencas de los ríos Pita y San Pedro. Por lo tanto, se delimitó las cuencas de los ríos Pita AJ Salto, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro en Machachi. Para delimitar dichas cuencas hidrográficas se requirió de la información topográfica del Mapa Base, donde se demarcó las cuencas de acuerdo a las líneas divisorias que unen las máximas cumbres que la rodean, sin cortar ninguna corriente de agua salvo en el sitio de estudio o en la desembocadura del río. *Anexo E3. Mapa de Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.*

<sup>15</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A. 1 Mapa Base, Sangolquí- Ecuador, 2005

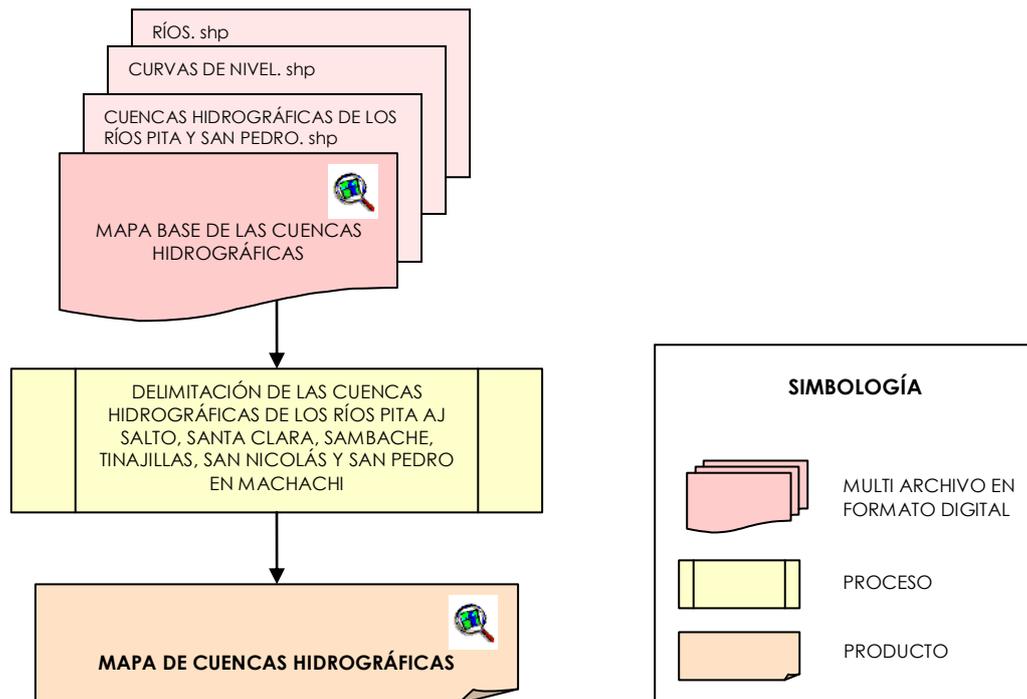


Figura 1.3. Modelo cartográfico del Mapa de Cuencas Hidrográficas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS DE CRECIDA

Para la determinación de los caudales máximos de crecida de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro se usaron los siguientes mapas:

- **Mapa de Isoyetas de Precipitación Media**

Se digitalizó, en MicroStation, el mapa de Isoyetas de Precipitación Media obtenido de las series correspondientes a los años 1965-1999. Este mapa fue elaborado por el MAG, SIGAGRO e INAHMI. Anexo B1. Mapa de Isoyetas de Precipitación Media del Ecuador.

Posteriormente se usó dicho mapa en ArcView, donde se creó un campo en la tabla llamado *prec\_media* para ingresar el valor de la precipitación media en cada curva. Se activó la extensión 3D Analyst para poder usar la herramienta *Surface*, opción *Create TIN from Features* con el objetivo de crear un modelo de isoyetas, para lo cual se utilizó el campo *prec\_media*. Con el TIN de isoyetas se interpoló curvas cada 50 mm con la herramienta *Surface*, opción *Create Contours*. Anexo E4. Mapa de Isoyetas de Precipitación Media de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.

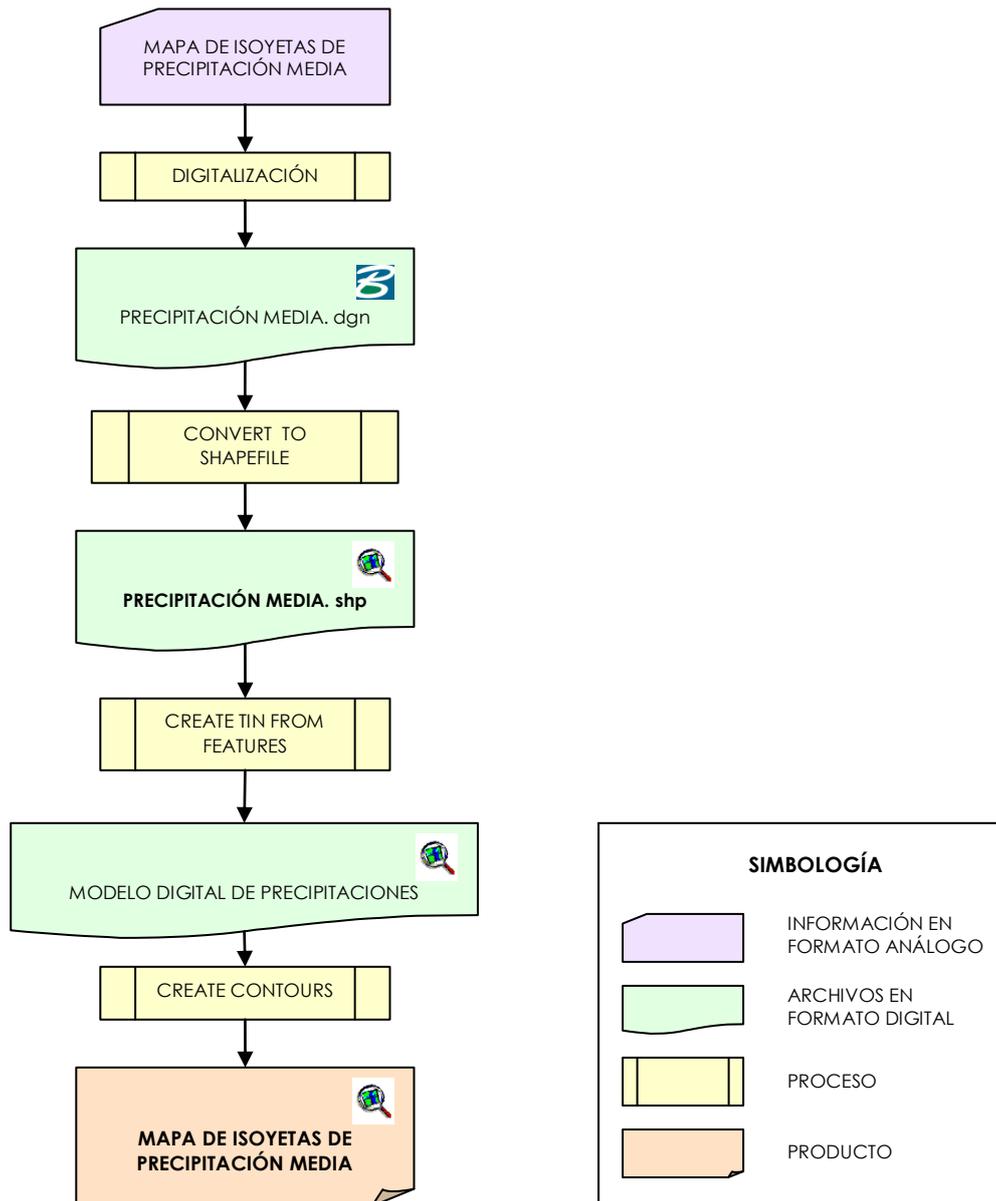


Figura 1.4. Modelo Cartográfico del Mapa de Isoyetas de Precipitación Media  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Mapa de Suelos, Uso y Cobertura Vegetal:**

Este mapa se obtuvo de la unión del Mapa de Suelos y el Mapa de Uso y Cobertura Vegetal. Se realizó la unión en ArcView, para lo cual se activó la extensión *Geoprocessing*, y se usó la opción *Union two Themes*. Se obtuvo un mapa donde existen áreas que tienen un solo tipo de suelo, uso y cobertura vegetal.

Las unidades menores a 10.000 m<sup>2</sup> fueron despreciadas, con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Functions: Dissolve Sliver Polygons*, debido a que se escogió como unidad mínima la cuadrícula (1000 x 1000 m) del Mapa Base de las Cuencas Hidrográficas, a escala 1:50.000. Anexo E5. Mapa de Suelos, Uso y Cobertura Vegetal de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.

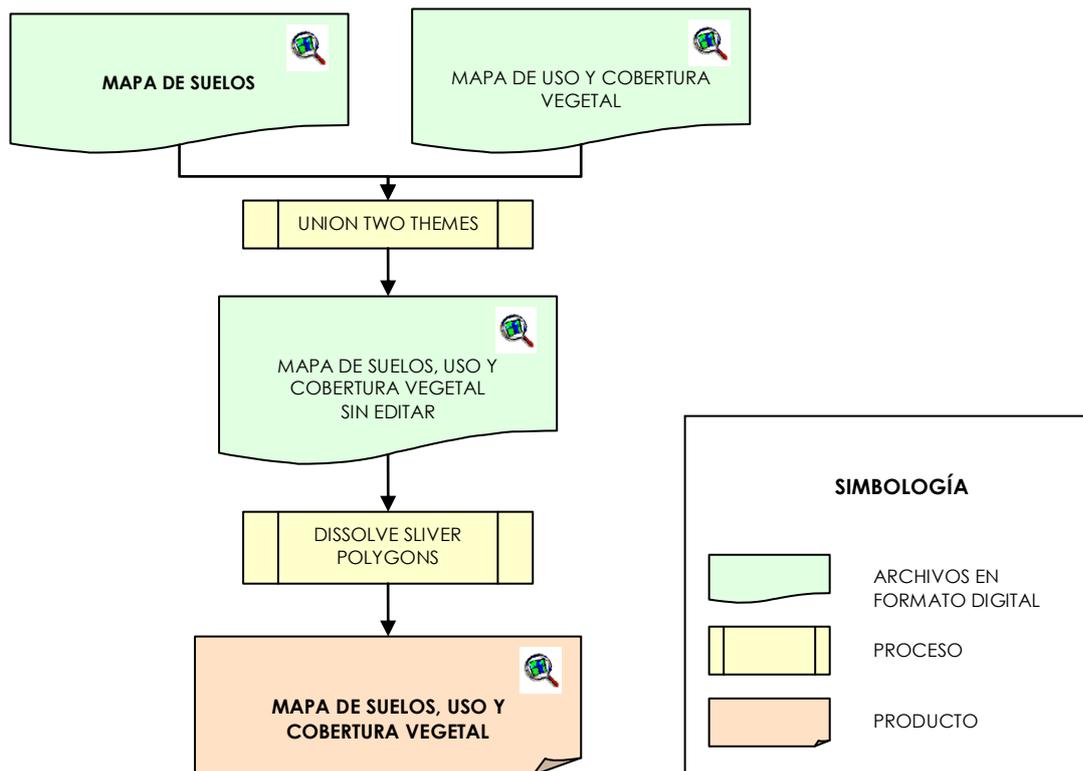


Figura 1.5. Modelo Cartográfico del Mapa de Suelos, Uso y Cobertura Vegetal  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Modelo Digital del Terreno y Mapa de Pendientes:**

Se creó un modelo digital del terreno en ArcView con la herramienta *Surface*, opción *Create TIN From Feature*, para el que se utilizó las cotas del Mapa Base de de las Cuencas Hidrográficas, que están cada 40 m. Una vez creado el TIN, se realizó un mapa de pendientes con la herramienta *Surface*, opción *Derive Slope*. El tamaño del píxel se determinó con la siguiente ecuación:

$$\text{Tamaño del píxel} = \sqrt{2 \cdot \text{Error Horizontal}} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Reemplazando en la ecuación:

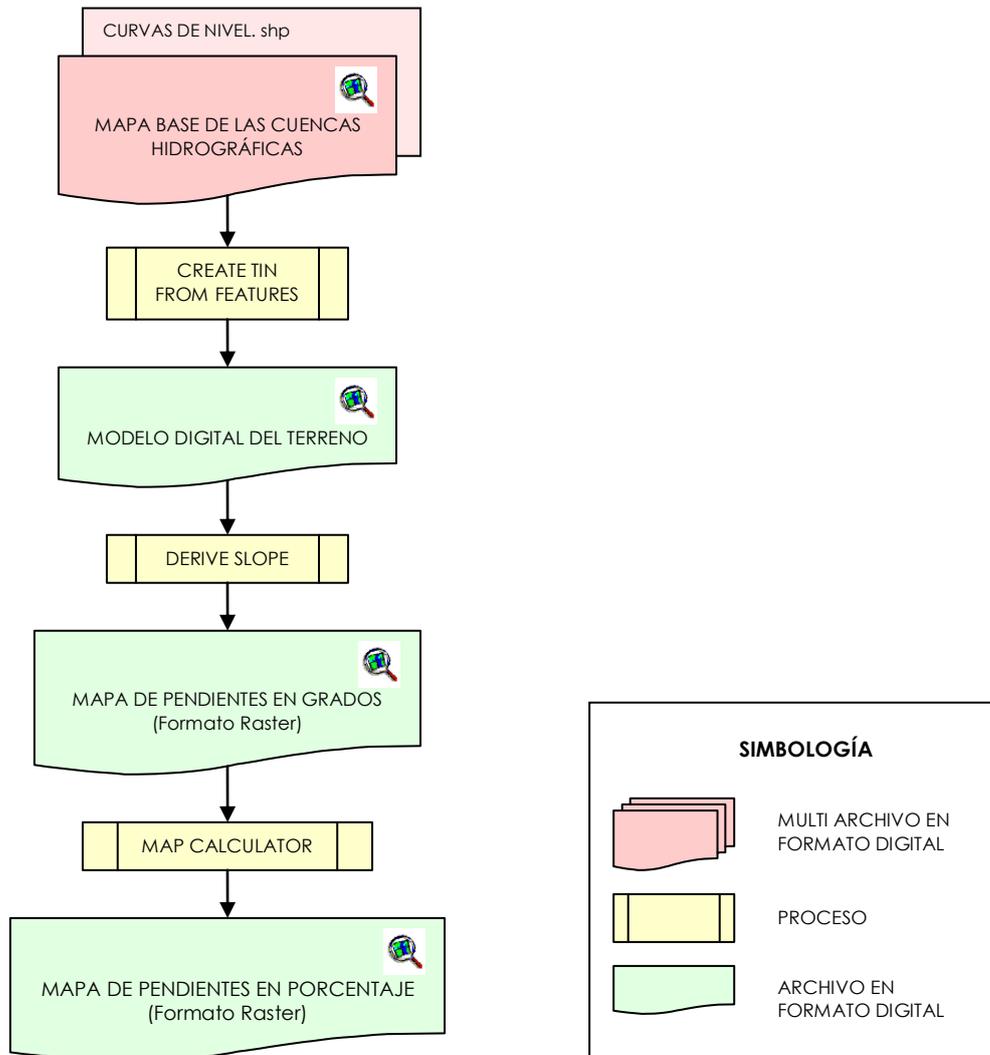
$$\begin{aligned} \text{Tamaño del píxel} &= \sqrt{2 \cdot 15} \\ \text{Tamaño del píxel} &= 5,477 \text{ m} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el tamaño de píxel que se usó para generar el mapa de pendientes fue de 5 m.

Este mapa se transformó de grados a porcentaje con la ayuda de la herramienta *Analysis*, opción *Map Calculador*. Posteriormente, se reclasificó el mapa en dos grupos: pendientes

menores al 3% y pendientes mayores al 3%<sup>16</sup>, con la ayuda de la herramienta *Analysis*, opción *Reclassify*.

El mapa de pendientes reclasificado se lo convirtió a vector con la herramienta *Theme*, opción *Convert to Shapefile*. Por último, las unidades menores a 10.000 m<sup>2</sup> fueron despreciadas con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Funtions: Dissolve Sliver Polygons*. Anexo E6. Mapa de Pendientes de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.



<sup>16</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.1.2.2 Determinación de Caudales Máximos de Crecida, Método Estadístico, Parámetro Umbral de Escorrentía, Pendientes, pág. 72.

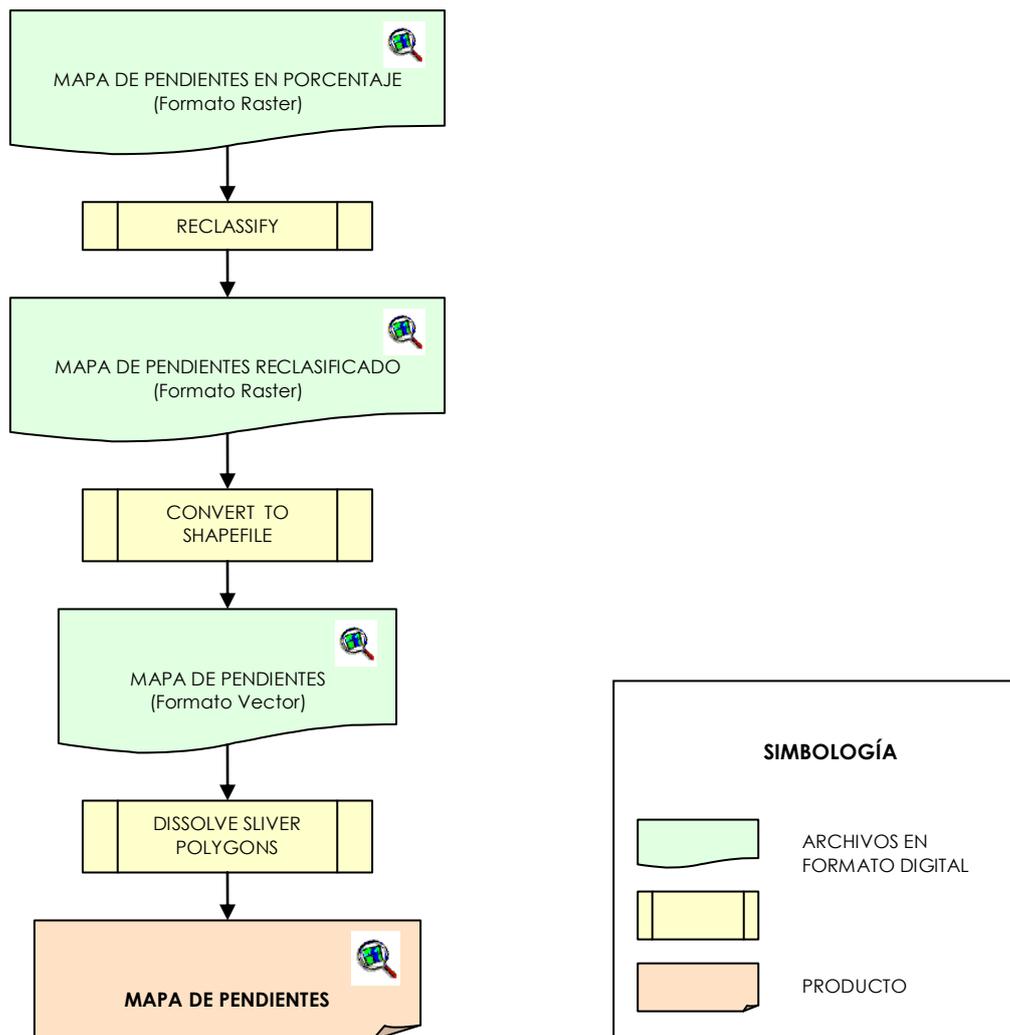


Figura 1.6. Modelo Cartográfico del Modelo Digital del Terreno y del Mapa de Pendientes  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Mapa de Suelos, Pendientes, Uso y Cobertura Vegetal:**

El Mapa de Suelos, Uso y Cobertura Vegetal se unió con el Mapa de Pendientes, con la ayuda de la herramienta *Geoprocessing*, opción *Union two Themes*. Se obtuvo un mapa donde existen unidades que tienen un solo tipo de suelo, pendiente, uso y cobertura vegetal. Las unidades menores a 10.000 m<sup>2</sup> fueron despreciadas, con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Funtions, Dissolver Sliver Polygons*. Anexo E7. Mapa de Suelos, Pendientes, Uso y Cobertura Vegetal de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.

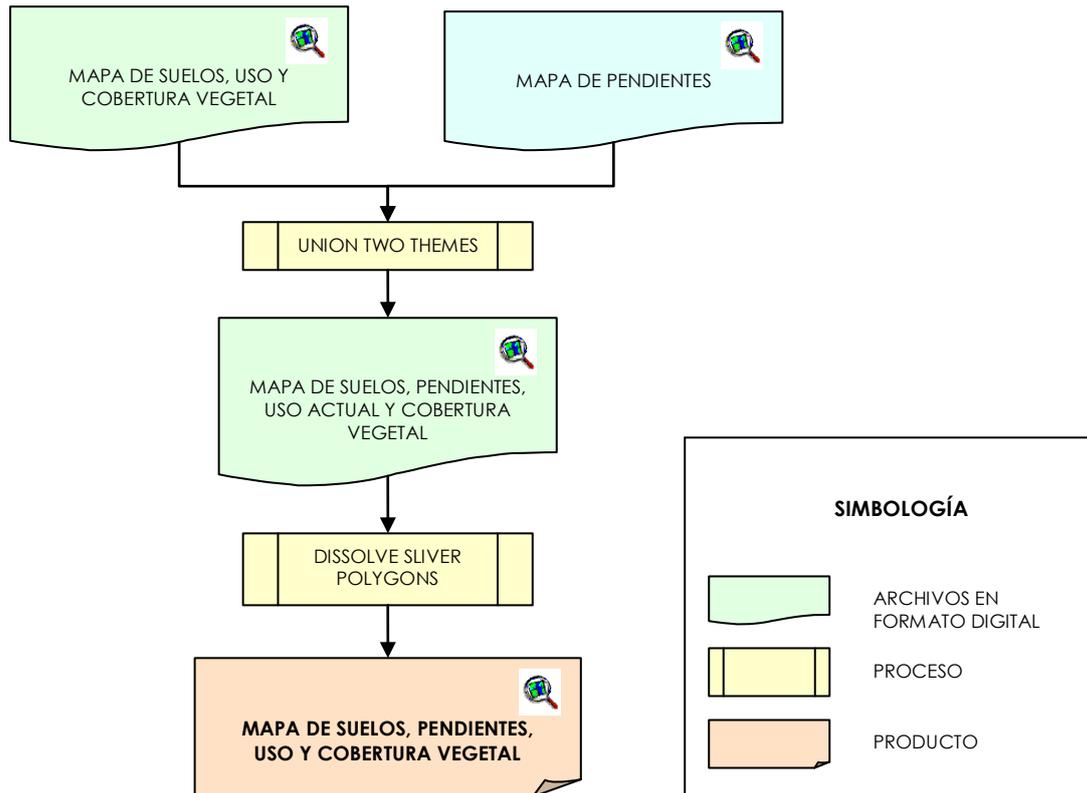


Figura 1.7. Modelo Cartográfico del Mapa de Suelos, Pendientes, Uso y Cobertura Vegetal de las Cuencas Hidrográficas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación**

El Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación fue elaborado por el INAMHI en base a un estudio comparativo de los datos de intensidades obtenidos de los pluviógrafos y pluviómetros de 178 estaciones meteorológicas representativas del país, con un registro de 35 años, determinándose una correspondencia entre los valores de intensidades de lluvias extraordinarias y las precipitaciones máximas en 24 horas, con el fin de obtener una ecuación para cada zona que permita conocer la intensidad de lluvia en cualquier parte del país conociendo la precipitación máxima en 24 horas. Existen 35 zonas que dividen al país. *Anexo B2. Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación del Ecuador.*

Se digitalizó, en MicroStation, la parte del Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación que corresponde a las cuencas de los ríos Pita y San Pedro. *Anexo E8. Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.*

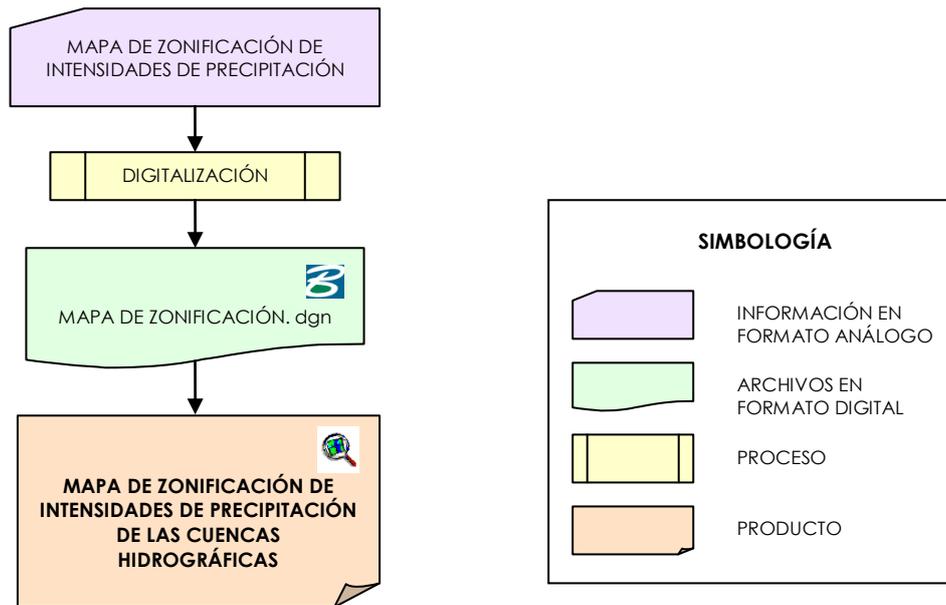


Figura 1.8. Modelo Cartográfico del Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación de las Cuencas Hidrográficas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Mapas de Isolíneas de intensidades de precipitación para periodos de retorno dados**

Los Mapas de Isolíneas de Intensidades de Precipitación para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 fueron elaborados por el INAMHI en base a las ecuaciones representativas de cada zona, la información pluviométrica de observaciones diarias de precipitaciones máximas en 24 horas de 178 estaciones y con un registro de 35 años.

Se digitalizó, en MicroStation, la parte de los Mapas de Isolíneas de Intensidades de Precipitación, para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, que corresponde a las cuencas de los ríos Pita y San Pedro. Anexo B3, B4 y B5. *Mapas de Isolíneas de Intensidades de Precipitación para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años del Ecuador.*

Posteriormente, se usaron los mapas en ArcView donde se creó un campo en la tabla para ingresar el valor de la intensidad de precipitación de cada curva. Se empleó la herramienta *Surface*, opción *Create TIN from Features*, para crear un modelo digital de isolíneas; donde se usaron las curvas y los puntos de las estaciones con sus respectivos valores de intensidades de precipitación ( $I_{d_{TR}}$ )<sup>17</sup>, como *Mass Points*. Con el TIN de isolíneas se interpoló curvas cada 0,2 unidades con la herramienta *Surface*, opción *Create Contours*.

*Anexo E9, E10 y E11. Mapas de Isolíneas de Intensidades de Precipitación para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años de las Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.*

<sup>17</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.1.2.2 Determinación de Caudales Máximos de Crecida, Intensidad diaria para un periodo de retorno, pág. 68 y 69.

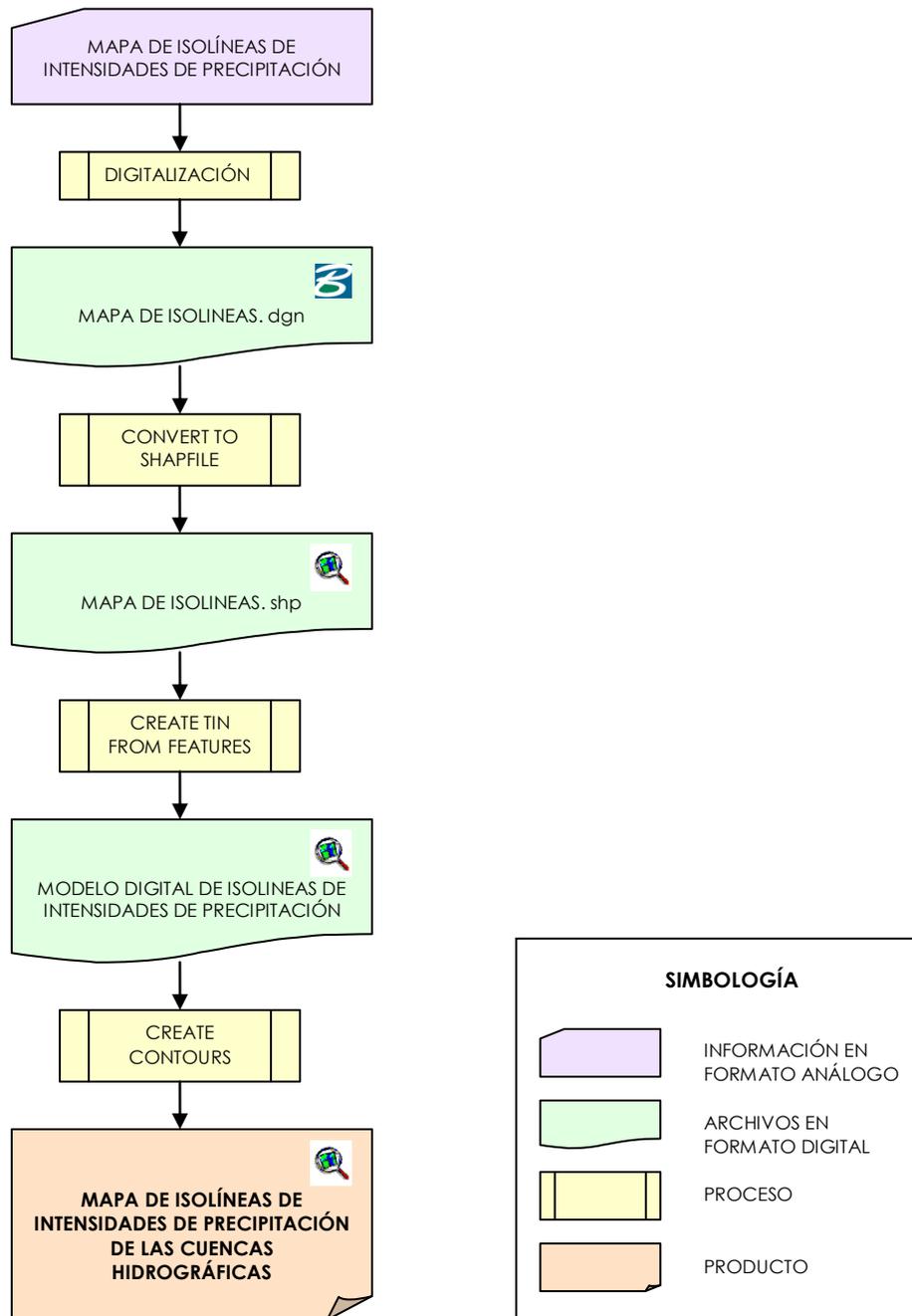


Figura 1.9. Modelo Cartográfico del Mapa de Isolíneas de Intensidades de Precipitación de las Cuencas Hidrográficas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES MÁXIMOS DE CRECIDA

Para la determinación de los niveles máximos de crecida se trazaron perfiles transversales a lo largo de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, en ArcView. Se colocaron los perfiles en los lugares donde cambia el curso del río, las curvas de nivel o donde desembocan los ríos.

Se empleó una diferente metodología para obtener los puntos acotados en cada perfil, empleando dos modelos digitales del terreno: un TIN y un DEM.

### TIN

Esta metodología se usó para los perfiles transversales trazados a lo largo de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, debido a que si existen curvas de nivel a ambas orillas de los ríos.

Se realizaron los siguientes pasos:

- Se creó un TIN en ArcView con la herramienta *Surface*, opción *Create TIN from Features*, utilizando las curvas de nivel como *Mass Points*, los ríos principales y los ríos secundarios como *Hard Breaklines*.

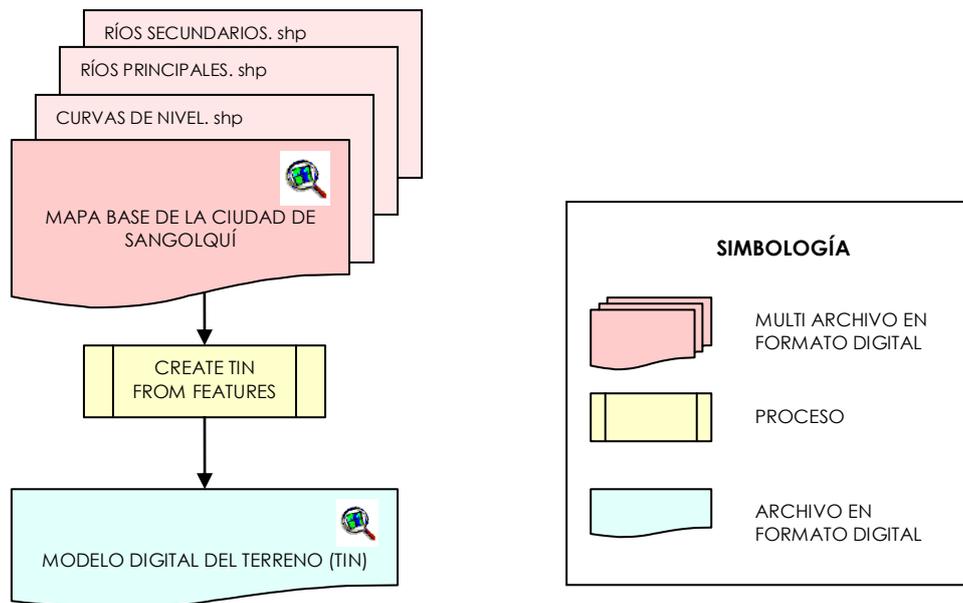


Figura 1.10. Modelo Cartográfico del Modelo Digital del Terreno (TIN)  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- Se colocó varios puntos en las intersecciones entre las curvas de nivel y los perfiles, porque lo aconsejable es tener puntos acotados cada metro.
- A estos puntos se les convirtió a 3D con la ayuda de la herramienta *Theme* opción *Convert to 3D Shapefile* usando el Modelo Digital del Terreno (TIN) como superficie.
- Con el archivo de puntos en tres dimensiones se procedió a sacar las coordenadas (x, y, z) de los puntos con la herramienta *MTools* opción *Coordinates x, y, (z) for Points*.

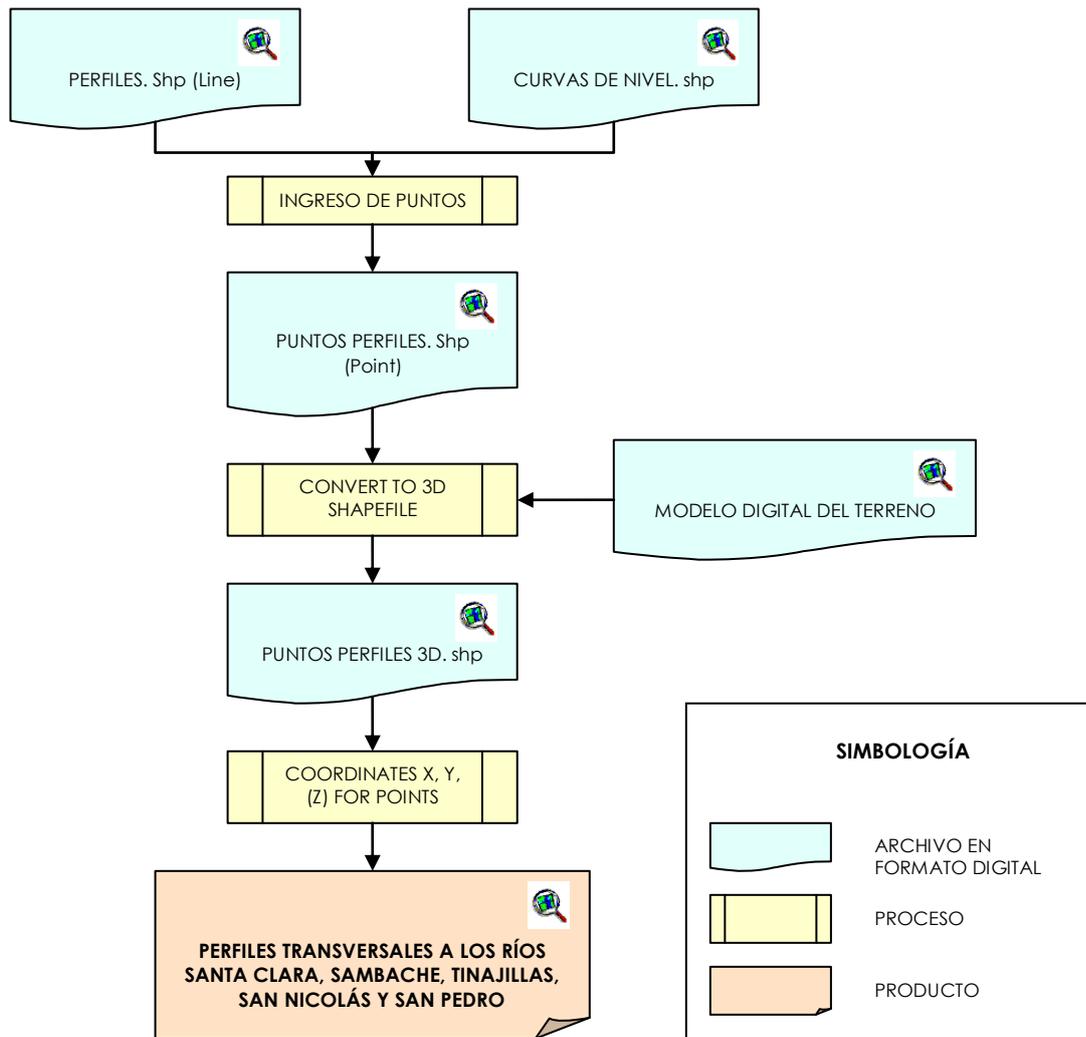


Figura 1.11. Modelo Cartográfico de los Perfiles transversales a los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DEM

Esta metodología se usó para determinar los puntos acotados de los perfiles transversales trazados a lo largo del Río Pita, debido a que sólo existen curvas de nivel en la orilla izquierda del río. Para generar un modelo digital del terreno se necesitan las fotos aéreas.

Las fotos que se emplearon para determinar el DEM de los sectores aledaños al río son parte del Proyecto Rumiñahui y fueron tomadas con la cámara RC30 del IGM, en mayo del 2002. Su escala es 1: 5.000.

Las fotos empleadas se listan a continuación:

Línea de Vuelo	Número de las Fotos
Línea 6	16006, 16007, 16008, 16009
Línea 7	15073, 15074, 15075, 15076, 15077, 15078, 15079, 15080, 15081, 15082
Línea 8	15948, 15949, 15950, 15951

Tabla 3.3. Número de las fotos contenidas en cada línea de vuelo  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Y se representan en la siguiente figura:

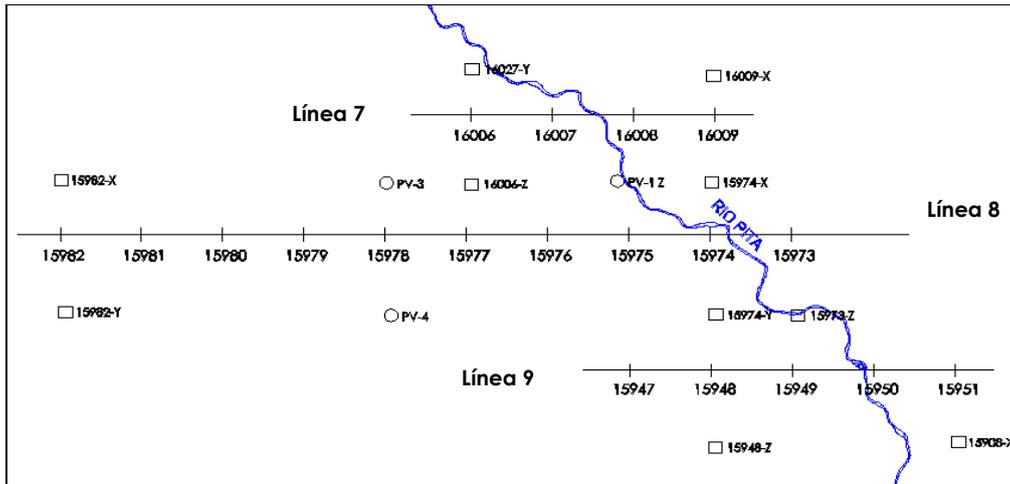


Figura 1.12. Esquema de posición de las Fotografías Aéreas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los puntos de control que tienen las coordenadas horizontales y verticales están representados por un cuadrado. La nomenclatura de los puntos de control tomados por el IGM terminan con las letras X e Y, de acuerdo a la posición dentro de la foto (superior e inferior, respectivamente). La nomenclatura de los puntos sacados de la Cartografía Base de la ciudad de Sangolquí<sup>18</sup> termina con la letra Z.

Los puntos de control vertical están representados por un círculo. La nomenclatura de los puntos de control tomados por el IGM está precedida por PV- seguido por el número del punto. La nomenclatura de los puntos sacados de la Cartografía Base de la ciudad de Sangolquí es la misma que la del IGM pero se le adiciona la letra z.

Para realizar el ajuste de las fotos se usó el programa OrtoBASE Pro de ERDAS IMAGINE 8.5 y se siguieron los siguientes pasos:

- Se determinó la información de la cámara para lo cual se ingresaron los siguientes parámetros contenidos en el reporte de calibración de la cámara:
  - Distancia focal calibrada
  - Coordenadas del punto principal de autocolimación
  - Coordenadas de las marcas fiduciales
  - Distorsión radial de las lentes
- Se definió el sistema de referencia para lo cual se ingresaron los siguientes parámetros:
  - Tipo de proyección: Transversa de Mercator
  - Nombre del elipsoide: WGS 84
  - Datum: WGS 84
  - Factor de escala: 1,0004585
  - Longitud del meridiano central: W 78° 30' 00''
  - Latitud del origen del proyección: 0° 00' 00''
  - Falso este: 778.275 m
  - Falso norte: 10.000.000 m
- Se determinó las unidades de referencia:

<sup>18</sup> Capítulo III, acápite 3.2.1 Cartografía Base de la Ciudad de Sangolquí, pág. 20 y 21.

- Unidades horizontales: Metros
- Unidades verticales: Metros
- Unidades angulares: Metros
- Se seleccionó la información específica de la cámara:
  - Sistema de rotación: Omega, Phi, Kappa
  - Dirección de la foto: eje-z para imágenes normales
- Se realizó la orientación interior, donde se obtuvo un error promedio de 0,25 píxeles.
- Se realizó la orientación exterior en forma absoluta, es decir se ajustó a los puntos de control.
  - Se ingresó los puntos de control
  - Se generó puntos de paso y puntos de enlace
  - Se trianguló.

Se ajustó la línea 6 y la línea 7 en forma independiente. Para que la línea 8 se ajuste, se tuvo que realizar un ajuste relativo mediante la foto 15973 a la línea 7, para que con la ayuda de esta se pueda tener puntos adicionales de enlace con dicha línea.

- Se generó el modelo digital de terreno con un tamaño de píxel de 1 m.

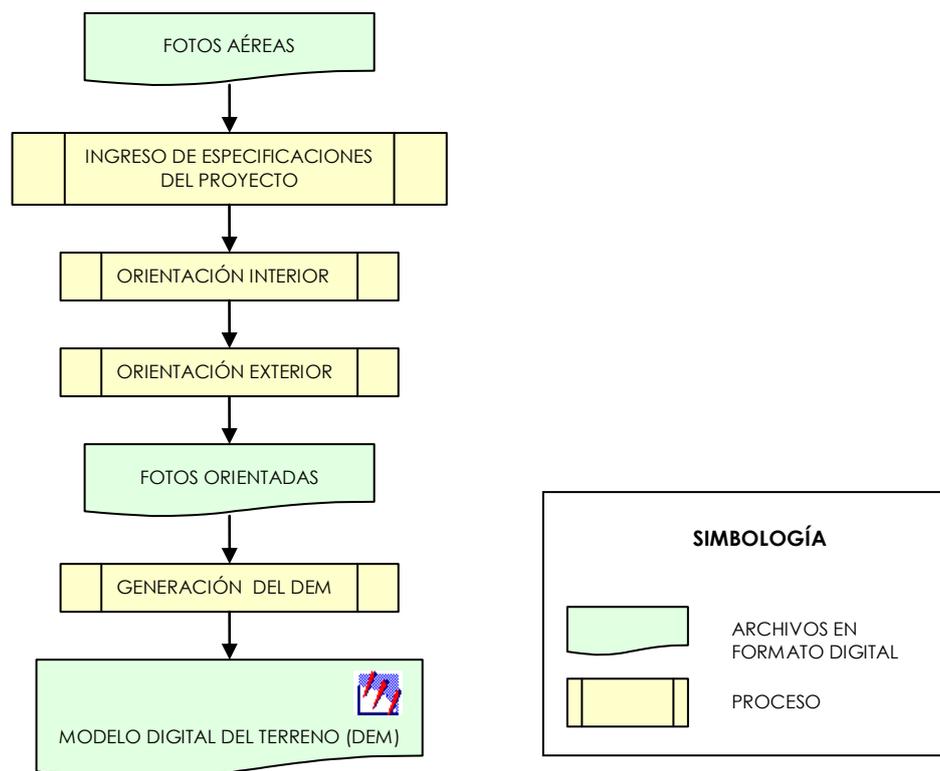


Figura 1.13. Modelo Cartográfico del Modelo Digital del Terreno (DEM)  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- Se exportó al DEM como raster para poder ser leído en ArcView.

- Se seleccionó el tema de los perfiles del Río Pita y se convirtió a 3D con la ayuda de la herramienta *Theme* opción *Convert to 3D Shapefile*, usando el DEM como superficie.
- Con el archivo de puntos en tres dimensiones se procedió a sacar las coordenadas (x, y, z) de los puntos con la herramienta *MTools* opción *Vertices with x, y, (z) to PointShape*.

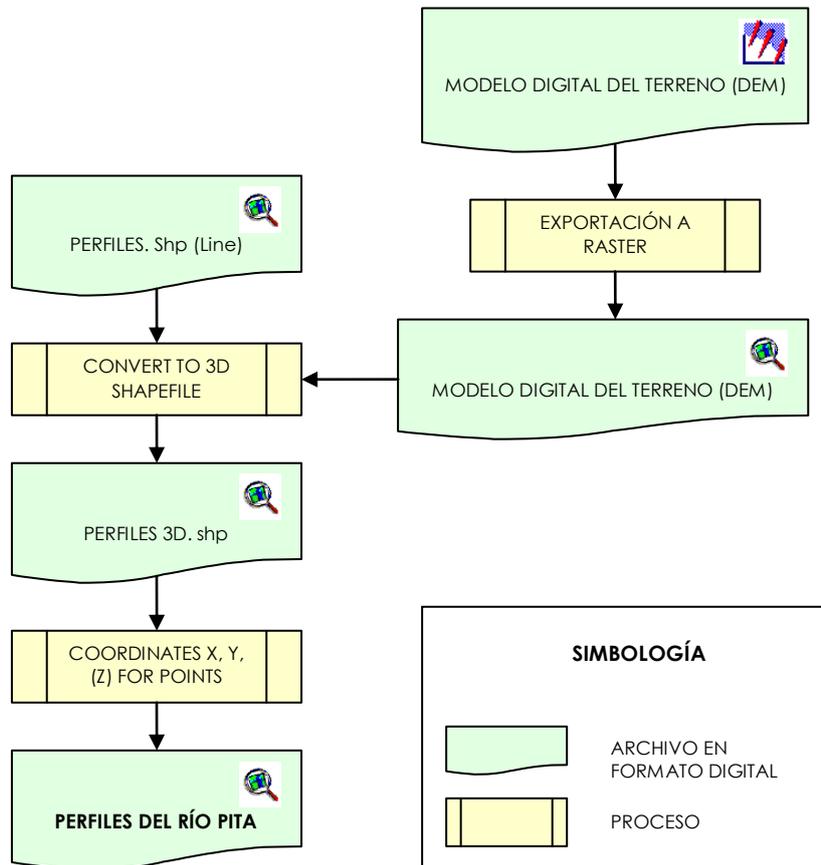


Figura 1.14. Modelo Cartográfico del Mapa de Perfiles del Río Pita  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Con la ayuda del TIN y del DEM, se generó los perfiles transversales a los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro. Anexo E12. Mapa de Perfiles Transversales a los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro.

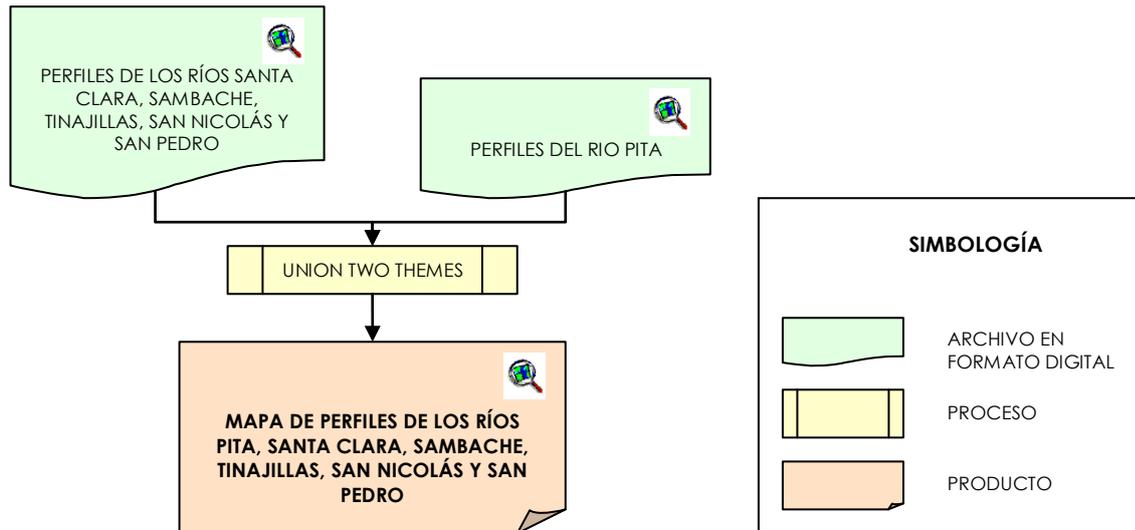


Figura 1.15. Modelo Cartográfico del Mapa de Perfiles transversales a los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE AMENAZA

Para determinar los límites de inundación se usaron las cotas de inundación calculadas<sup>19</sup> mediante la curva de descarga<sup>20</sup> y las curvas de nivel. Para lo cual, se interpoló del TIN<sup>21</sup>, curvas cada 10 cm para poder representar gráficamente las cotas de inundación, con la opción *Create Contour*. Esto se realizó sólo para efectos de representar las cotas de inundación calculadas, ya que las curvas de nivel de la Cartografía Base de la ciudad de Sangolquí están cada metro, lo que corresponde a una escala  $E : 1 : 1000$ .

En cada uno de los perfiles se identificó la curva de nivel que corresponde al valor de la cota de inundación, las cuales sirven para delimitar las zonas de inundación, ya que el agua tiende a nivelar la superficie. Así se fueron creando, en Microstation, las zonas de inundación producidas por el desborde de los ríos, calculado para los caudales de crecida para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Por lo tanto, se crearon tres zonas de amenaza (alta, mediana y baja)<sup>22</sup>. Cada una de estas zonas tiene un valor de amenaza, la zona alta amenaza tiene el valor de 3, la zona de mediana amenaza tiene un valor de 2 y la zona de baja amenaza tiene un valor de 1.

*Anexo E13. Mapa Amenaza de Inundaciones de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.*

<sup>19</sup> Ver Anexo C9. Cotas de Inundación de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro.

<sup>20</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.1.3 Determinación de los Niveles Máximos de Crecida, Curva de Descarga, y Caudal Máximo de Crecida, pág. 86-88.

<sup>21</sup> Capítulo III, Determinación de los Niveles Máximos de Crecida, TIN, pág. 31 y 32.

<sup>22</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.1.4 Definición de las Zonas de Amenaza, pág. 88.

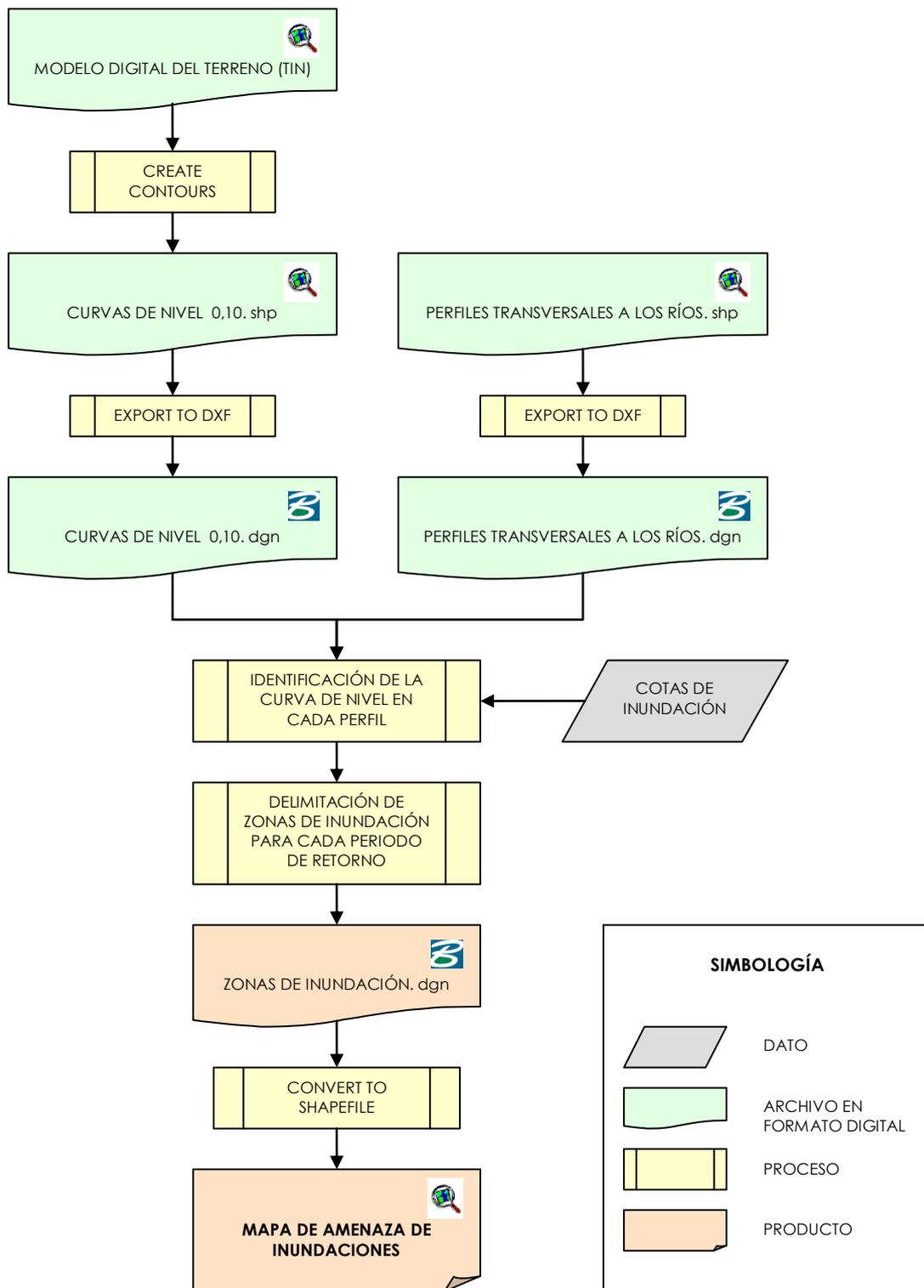
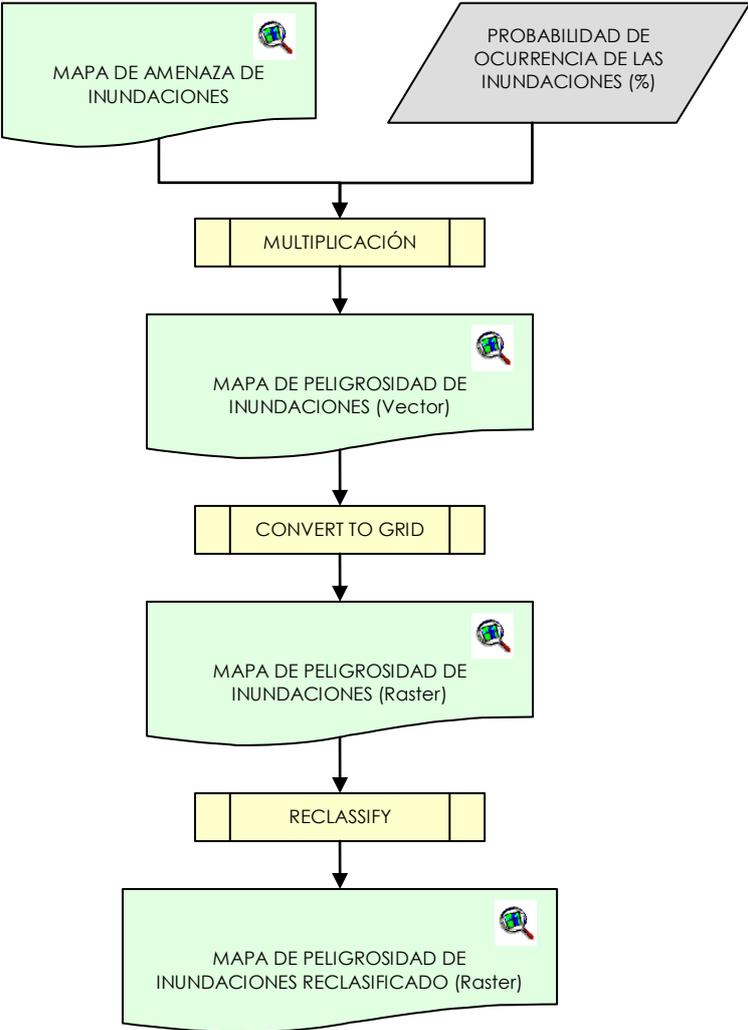


Figura 1.16. Modelo Cartográfico del Mapa de Amenaza de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE PELIGROSIDAD

Al mapa de amenaza de inundaciones se le incorporó el porcentaje correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno para cada periodo de retorno (10, 50 y 100 años)<sup>23</sup>. Por lo tanto, se multiplicó el valor de la amenaza por el valor del porcentaje de la probabilidad de ocurrencia de una inundación. Este mapa se transformó a raster y se lo reclasificó en tres zonas de peligrosidad (alto, medio y bajo)<sup>24</sup>.

Anexo E14. Mapa de Peligrosidad de Inundaciones de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.



<sup>23</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.2.2 Selección del Método para calcular la Probabilidad de Ocurrencia, pág. 90 y 91.

<sup>24</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.3 Determinación de la Peligrosidad, pág. 91.

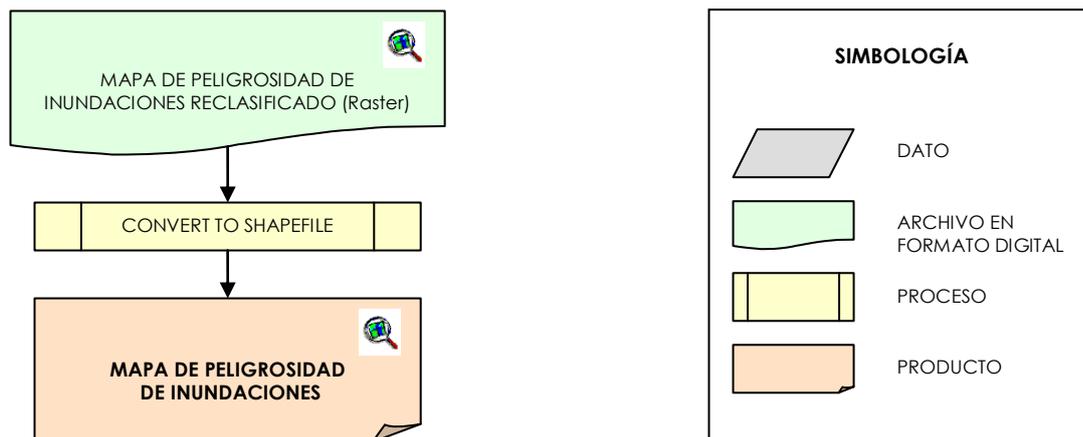


Figura 1.17. Modelo Cartográfico del Mapa de Peligrosidad de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE VULNERABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

Para generar el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones se necesita primero enlazar la base de datos catastral con las construcciones del Mapa Base de la ciudad de Sangolquí, debido a que esta cartografía no está enlazada a la base de datos del Departamento de Catastros, se asignó la clave catastral a cada construcción. Esta clave está compuesta por 12 dígitos, de los cuales dos corresponden a la clave de la zona, dos a la clave del sector, tres a la clave de la manzana, dos a la clave del predio y los tres restantes a la clave de la propiedad horizontal. Se asumió que la clave de la propiedad horizontal es 000, debido a que la mayoría de construcciones tienen estos dígitos.

Se determinó los centroides de cada construcción para mayor facilidad (cada uno tiene su clave catastral). A estos centroides se les relacionó en ArcView con la Base de Datos Catastral por medio de la clave catastral (campo común en las dos tablas), con la herramienta *Table*, opción *Join*.

De esta forma se relacionó los centroides con su clave catastral, pero no todos tenían toda la información de la base de datos, por lo tanto se los eliminó. Se enlazaron 23.278 centroides de la construcción a la base de datos catastral.

Dentro de las construcciones no sólo se encuentran las viviendas sino también las bodegas y demás construcciones pequeñas, es por esto que se eliminaron las menores a 30 m<sup>2</sup>.

Existen valores duplicados en la tabla de centroides debido a que hay más de una construcción dentro de un predio, por lo tanto se eliminó dicho valores.

De esta manera, quedaron 5.609 centroides, los cuales sirvieron para determinar la vulnerabilidad de la construcción frente a una inundación.<sup>25</sup> El campo en la tabla donde está el valor de la vulnerabilidad de cada construcción se llama *vul\_total*.

A continuación, se realizó una interpolación con el fin de obtener áreas de igual grado de vulnerabilidad, con la ayuda de la herramienta *Surface*, opción *Interpolate Grid*, usando el tema de puntos de los centroides de la construcción. Se empleó el método IDW, ya que fue el mejor método que se adaptó a la variable vulnerabilidad. Para la interpolación se usó el campo *vul\_total* para los valores de z. Se realizó varias interpolaciones con diferente número

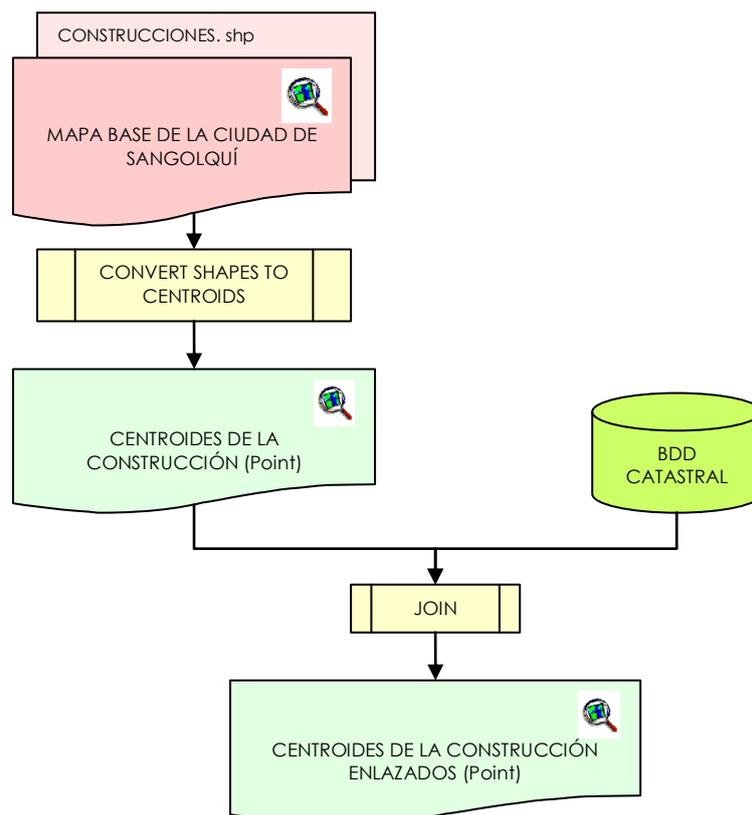
<sup>25</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.4.1 Determinación del Tamaño de la Muestra, pág. 91-93.

de puntos (desde el 6 al 12), con el fin de escoger la interpolación que mejor se adapte a los valores de vulnerabilidad de los centroides.

Por lo que se escogieron 25 centroides de muestra distribuidos al azar dentro del límite urbano de Sangolquí. Se determinó el valor de la vulnerabilidad de cada uno de éstos en los diferentes raster de interpolación generados. Se calculó el error medio cuadrático (RMSE, por sus siglas en inglés) de los 25 puntos. El raster de interpolación que tenga el menor RMSE y la mayor cantidad de puntos debe ser el escogido. Por lo tanto, se escogió el raster interpolado con 8 puntos. *Anexo C1. Error Medio Cuadrático de los Puntos Muestra para evaluar la Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones.*

La interpolación generada con el método IDW con pocos puntos (8 puntos), hace que la variable vulnerabilidad tenga una tendencia local, ya que de esta forma se controla de una mejor manera el radio de acción.

Posteriormente, se reclasificó el raster en tres grados de vulnerabilidad: alto, medio y bajo. Con la ayuda de la herramienta *Analysis*, opción *Reclassify*. A este raster se le convirtió a vector con la herramienta *Theme*, opción *Convert Shapefile*. Se eliminó las áreas menores a 30 m<sup>2</sup>, debido a que la unidad mínima (construcciones) es de esa área con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Funtions: Dissolve Sliver Polygons*. *Anexo E15. Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones*



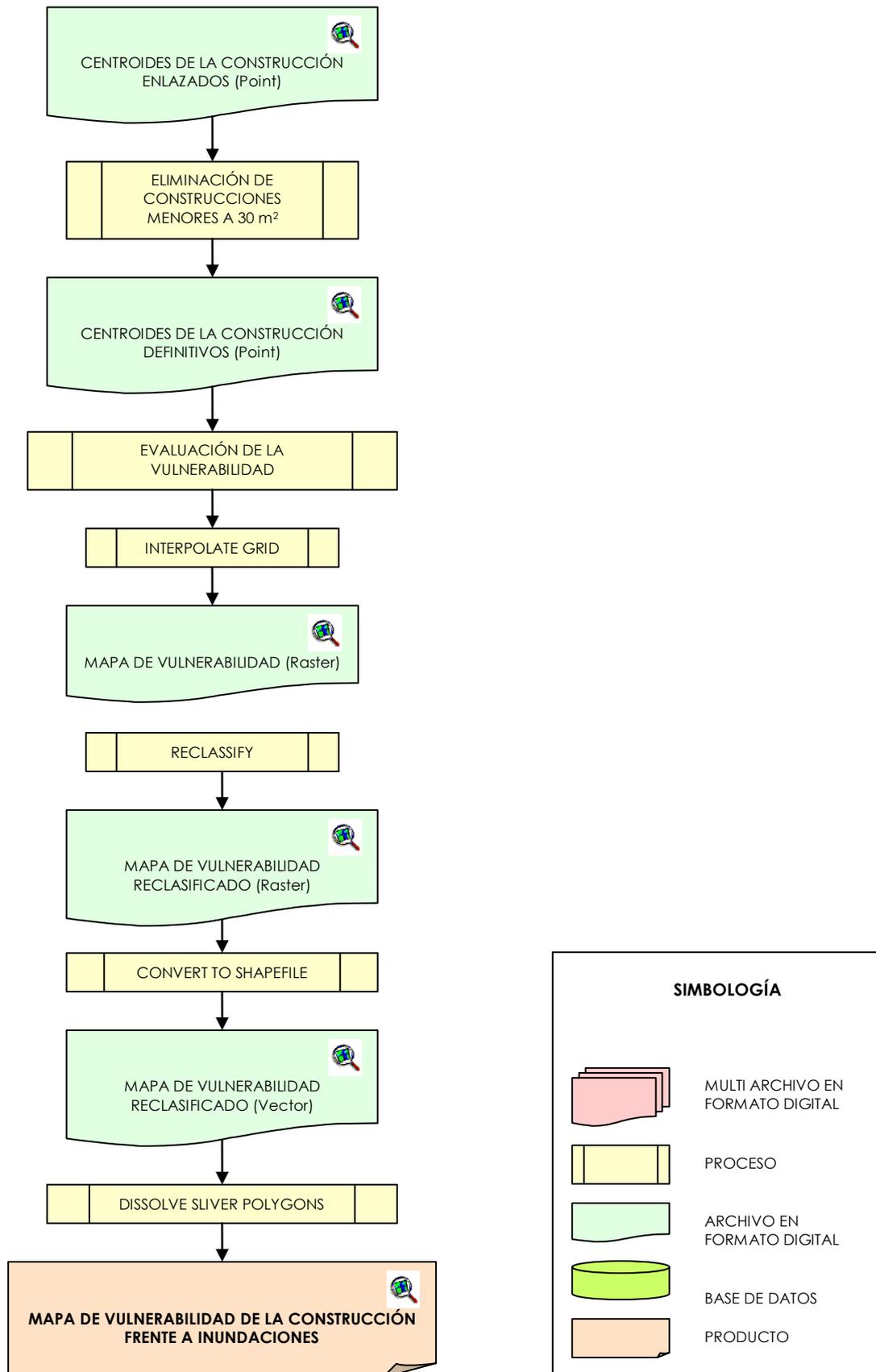


Figura 1.18. Modelo Cartográfico del Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE RIESGO

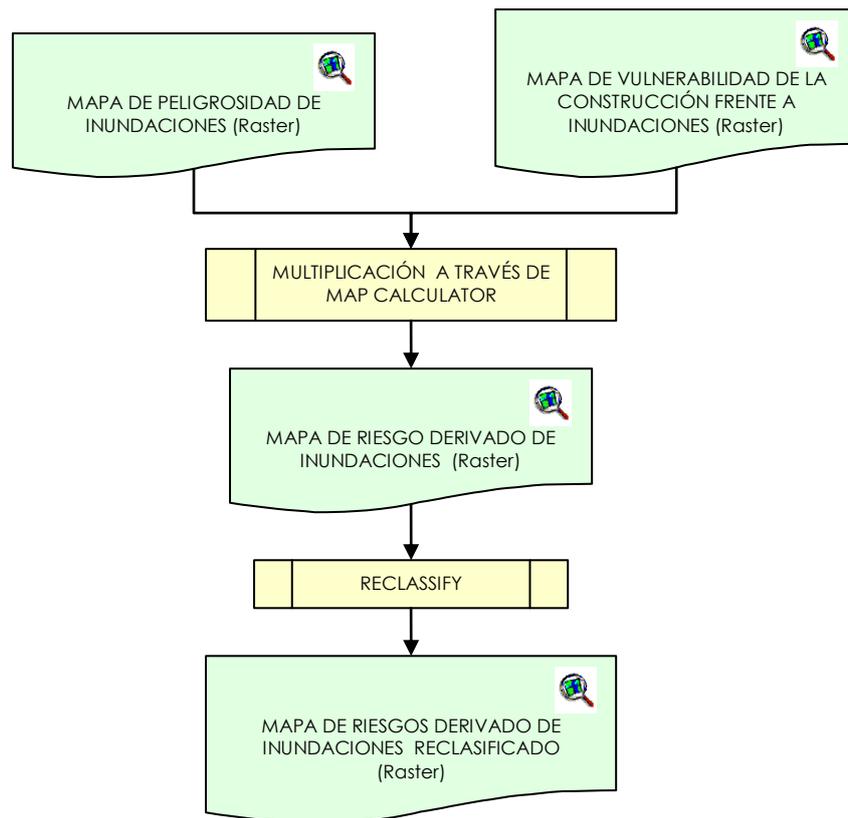
El mapa de riesgo derivado de inundaciones se determinará a través de la multiplicación del mapa de peligrosidad de inundaciones por el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones.

Se usó el mapa de peligrosidad de inundaciones en formato raster y el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones en formato raster antes de ser reclasificado. Estos dos mapas se multiplicaron a través del álgebra de mapas con la herramienta *Analysis*, opción *Map Calculador*. Se multiplicaron los valores de la peligrosidad por los valores de la vulnerabilidad.

El raster obtenido se reclasificó en tres zonas de riesgo alto, mediano y bajo, mediante la herramienta *Analysis*, opción *Reclassify*. A este raster se le convirtió a vector con la herramienta *Theme*, opción *Convert Shapefile*.

Por último, se eliminó las áreas menores a 30 m<sup>2</sup>, ya que se tomó como unidad mínima a la construcción, con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Functions: Dissolve Sliver Polygons*.

Anexo E16. Mapa de Riesgo derivado de Inundaciones de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.



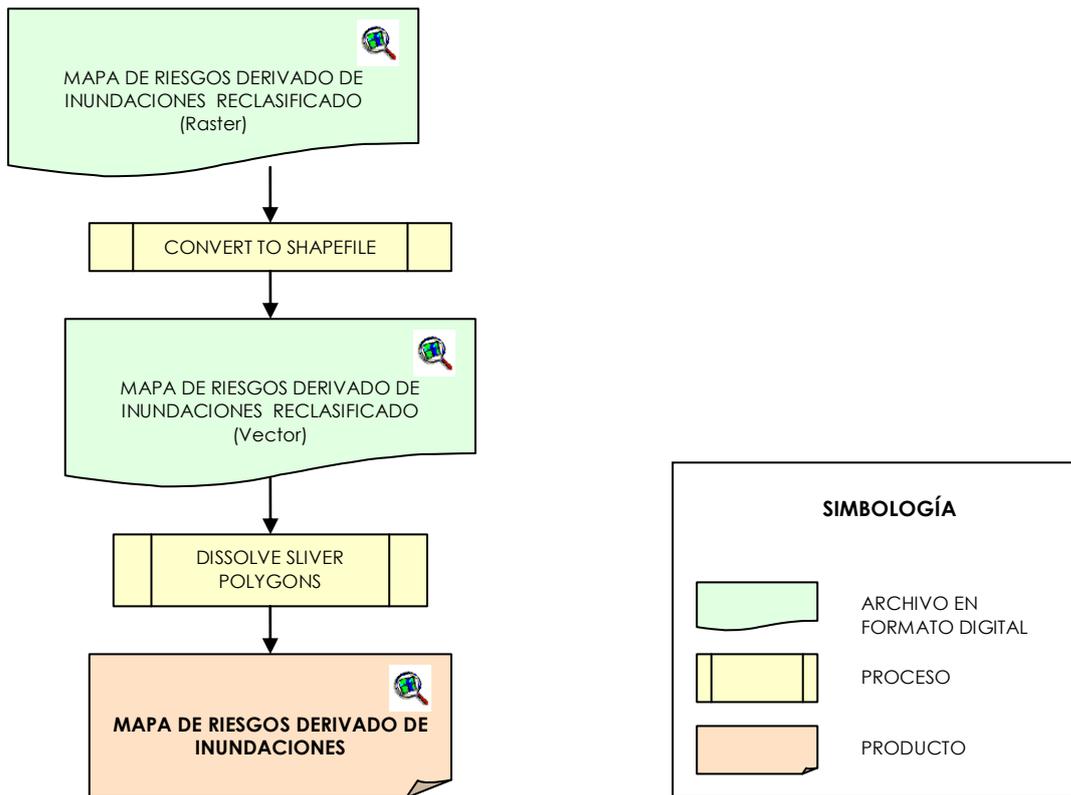


Figura 1.19. Modelo Cartográfico del Mapa de Riesgos derivado de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## INCENDIOS

La cartografía desarrollada para el análisis de los riesgos derivados de los incendios se va a dividir de acuerdo a la metodología empleada, es decir se va a dividir en cartografía empleada para obtener la amenaza, la peligrosidad, la vulnerabilidad de la construcción y el riesgo.

### MAPA DE AMENAZA

Para generar el mapa de amenaza de incendios primero se ubicaron los lugares de amenaza<sup>26</sup> de incendio en el Mapa Base de la ciudad de Sangolquí, en ArcView, donde además se llenó una base de datos con la información obtenida en las encuestas. Según el volumen total de combustible almacenado en cada lugar de amenaza, se determinó el radio de amenaza o de afectación, según la tabla 5.4<sup>27</sup>, que se producirá en el caso de provocarse un incendio o una explosión.

Se generó las diferentes áreas de afectación (alta, mediana y baja) de cada lugar de amenaza con la herramienta *Theme*, opción *Create Buffers*, tomando los valores del campo correspondiente al radio de afectación. Cada uno de estos radios representa a las tres zonas de amenaza alta, mediana y baja.

<sup>26</sup> Capítulo V, acápite 5.1.1 Identificación de Amenaza, pág. 106 y 107 .

<sup>27</sup> Capítulo V, Tabla. 5.4 Impacto Espacial ocasionado por la presencia de combustibles en los Lugares de Amenaza, pág. 110.

Cada una de estas zonas tiene un valor de amenaza, la zona alta amenaza tiene el valor de 3, la zona de mediana amenaza tiene un valor de 2 y la zona de baja amenaza tiene un valor de 1.

Anexo E17, E18, E19, E20 y E21. Mapa de Amenaza de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.

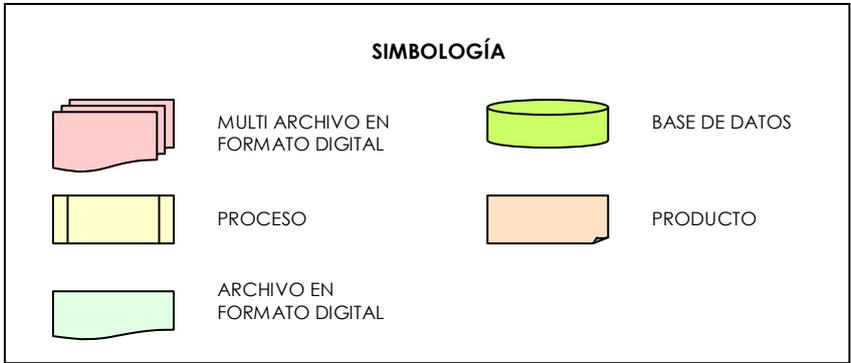
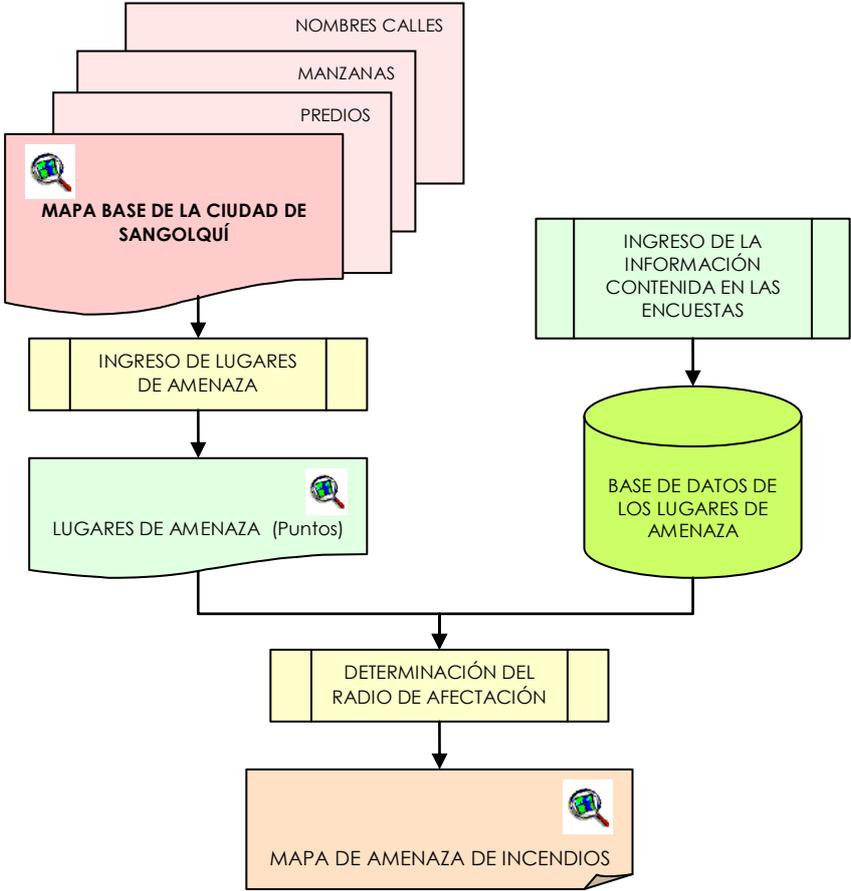
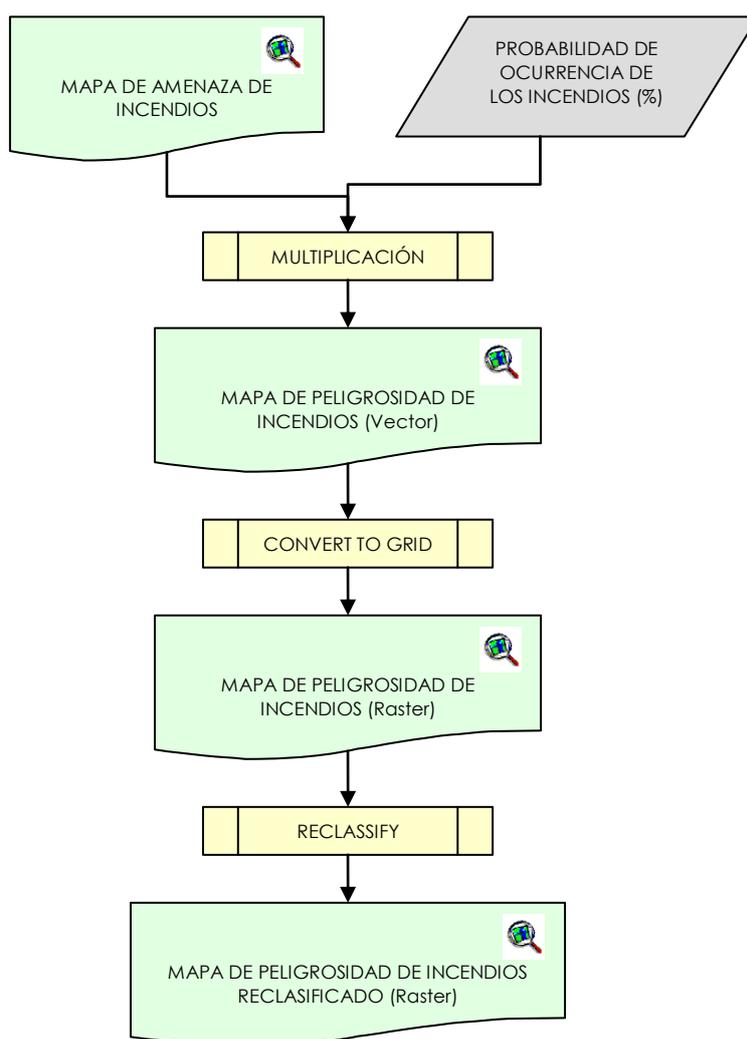


Figura 1.20. Modelo Cartográfico del Mapa de Amenaza de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE PELIGROSIDAD

Al mapa de amenaza de incendios se le incorporó el porcentaje correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno<sup>28</sup>. Por lo tanto, se multiplicó el valor de la amenaza por el valor del porcentaje de la probabilidad de ocurrencia de una inundación. Este mapa se transformó a raster y se lo reclasificó en tres zonas de peligrosidad (alto, mediana y baja)<sup>29</sup>.

Anexo E22, E23, E24, E25 y E26. Mapa de Peligrosidad de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.



<sup>28</sup> Capítulo V, acápite 5.1.2.2 Selección del Método para calcular la Probabilidad de Ocurrencia, pág. 118.

<sup>29</sup> Capítulo V, acápite 5.1.3 Determinación de la Peligrosidad, pág. 118.

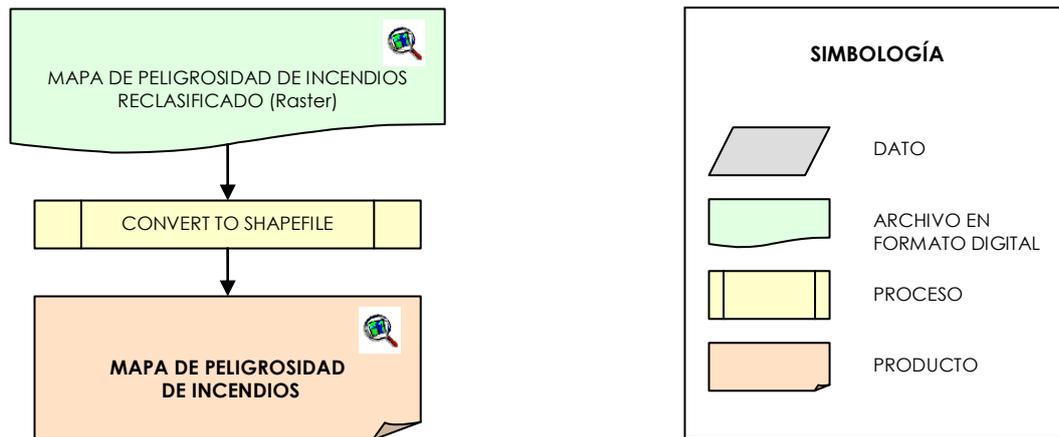


Figura 1.21. Modelo Cartográfico del Mapa de Peligrosidad de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE VULNERABILIDAD

Para generar el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a incendios se van a utilizar los centroides de la construcción definitivos determinados en el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones.

Se realizó una interpolación con el fin de obtener áreas que posean un mismo grado de vulnerabilidad, con la ayuda de la herramienta *Surface*, opción *Interpolate Grid*, usando el tema de puntos de los centroides de la construcción definitivos. Se empleó el método IDW, ya que fue el mejor método que se adaptó a la variable vulnerabilidad. Para la interpolación se usó el campo *vul\_total* para los valores de *z*. Se realizó varias interpolaciones con diferente número de puntos (desde el 6 al 12), con el fin de escoger la interpolación que mejor se adapte a los valores de vulnerabilidad de los centroides.

Por lo que se escogieron 25 centroides de muestra distribuidos al azar dentro del límite urbano de Sangolquí. Se determinó el valor de la vulnerabilidad de cada uno de éstos en los diferentes raster de interpolación generados. Se calculó el error medio cuadrático (RMSE, por sus siglas en inglés) de los 25 puntos. El raster de interpolación que tenga el menor RMSE y la mayor cantidad de puntos ese se debe escoger. Por lo tanto, se escogió el raster interpolado con 10 puntos. *Anexo C2. Error Medio Cuadrático de los Puntos Muestra para evaluar la Vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios.*

La interpolación generada con el método IDW con pocos puntos (10 puntos), hace que la variable vulnerabilidad tenga una tendencia local, ya que de esta forma se controla de una mejor manera el radio de acción.

Posteriormente, se reclasificó el raster en tres grados de vulnerabilidad: alto, medio y bajo. Con la ayuda de la herramienta *Analysis*, opción *Reclassify*. A este raster se le convirtió a vector con la herramienta *Theme*, opción *Convert Shapefile*.

Se eliminó las áreas menores a 30 m<sup>2</sup>, debido a que la unidad mínima (construcciones) es de esa área con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Funtions: Dissolve Sliver Polygons*.

*Anexo E19. Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a un Incendio.*

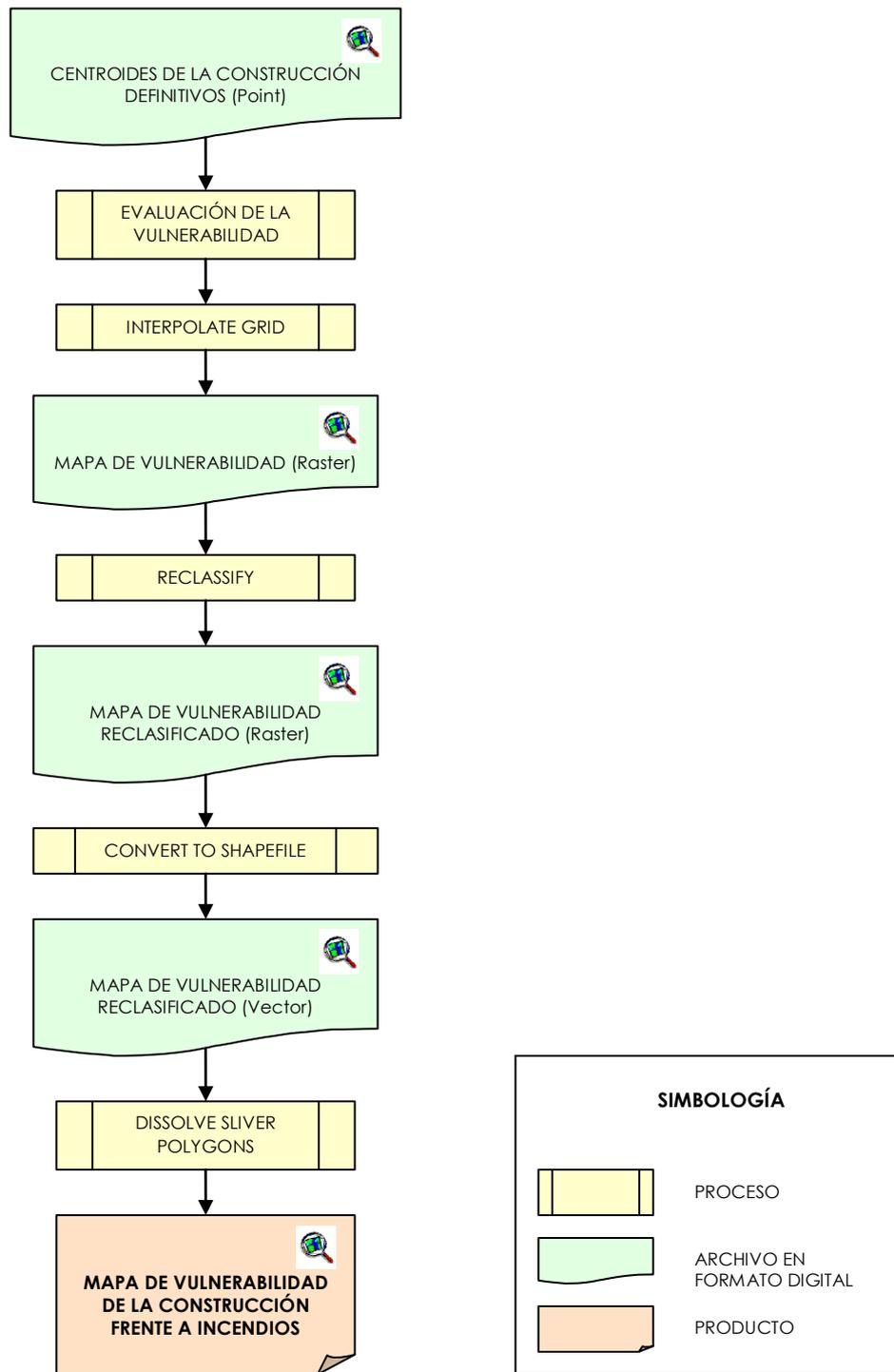


Figura 1.22. Modelo Cartográfico del Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MAPA DE RIESGO

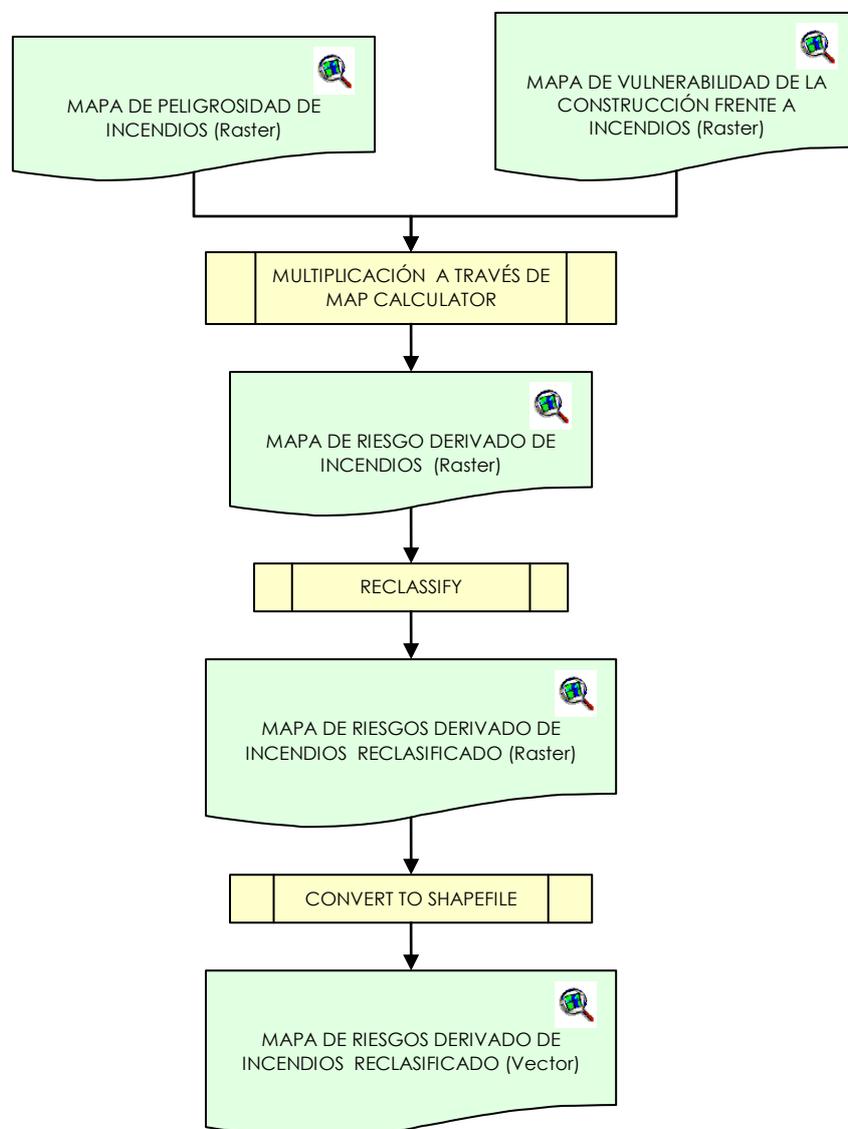
El mapa de riesgo derivado de incendios se determinará a través de la multiplicación del mapa de peligrosidad de incendios por el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a incendios.

Se usó el mapa de peligrosidad de incendios en formato raster y el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a incendios en formato raster antes de ser reclasificado. Estos dos mapas se multiplicaron a través del álgebra de mapas con la herramienta *Analysis*, opción *Map Calculador*. Se multiplicaron los valores de la peligrosidad por los valores de la vulnerabilidad.

El raster obtenido se reclasificó en tres zonas de riesgo alto, mediano y bajo, mediante la herramienta *Analysis*, opción *Reclassify*. A este raster se le convirtió a vector con la herramienta *Theme*, opción *Convert Shapefile*.

Por último, se eliminó las áreas menores a 30 m<sup>2</sup>, ya que se tomó como unidad mínima a la construcción, con la ayuda de la herramienta *Mtools*, opción *Clean Funtions: Dissolve Sliver Polygons*.

Anexo E20. Mapa de Riesgo derivado de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.



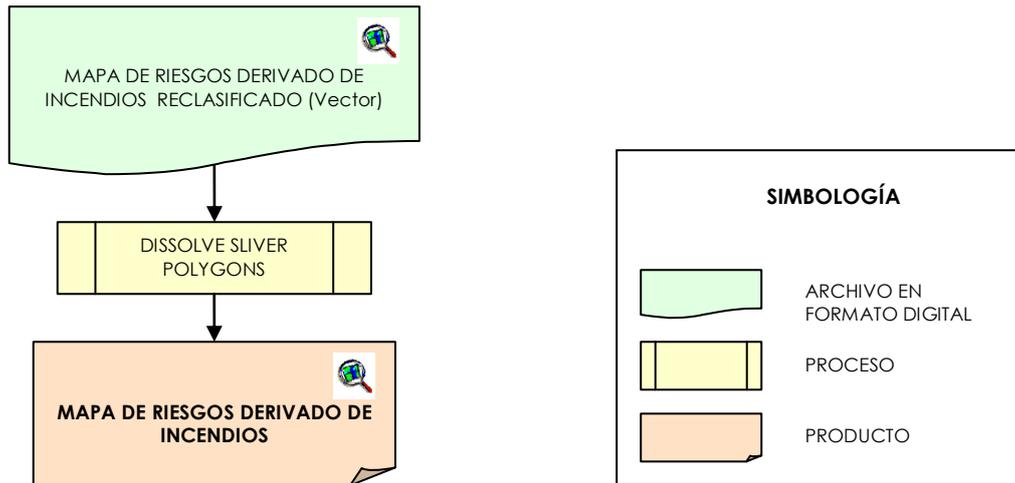


Figura 1.23. Modelo Cartográfico del Mapa de Riesgos derivado de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## BASES DE DATOS (BDD)

Para la evaluación de los riesgos derivados de inundaciones e incendios se elaboró las siguientes bases de datos:

### BDD DE PUNTOS MUESTRA DE INUNDACIONES

Se creó una base de datos para almacenar la información de la Ficha de Captura de Información de Inundaciones, que está relacionada con los puntos muestra de inundaciones. En esta base de datos se encuentra información del río como el nombre y su código; información del punto de muestreo como el nombre del punto y su código; información de la ubicación del lugar como el nombre de la calle principal, el número de la casa de la personas encuestada, el nombre de la calle secundaria, el nombre de la urbanización y el nombre del barrio; información de persona encuestada como el nombre y el tiempo que habita en ese sector; información de las inundaciones como número de inundaciones con sus respectivas fechas, tipo de inundación (fluvial rápida, fluvial lenta, pluvial con colapso de alcantarilla y pluvial sin colapso de alcantarilla), altura de la inundación, nivel de referencia de la altura medida, extensión desde las orillas del río de la inundación, duración y frecuencia de las inundaciones; información del grado de afectación de las construcciones aledañas y los daños ocasionados, información de la morfología del terreno; información de las construcciones cercanas al río como la distancia desde las orillas del río y si están ubicadas en la llanura de inundación del mismo; información de las obras de prevención y/o mitigación como el tipo de obra y la ubicación; y por último información acerca de las observaciones realizadas en dicho lugar y su respectiva foto.

El diccionario de datos de esta BDD se encuentra en los anexos. *Anexo C3. Diccionario de Datos para los Puntos Muestra de Inundaciones.*

## BDD LUGARES DE AMENAZA DE INCENDIOS

Se creó una base de datos para almacenar la información de la Ficha de Captura de Información para Incendios. En esta BDD se ingresó la información de los diferentes lugares de amenaza de incendios como son estaciones de servicio, gasolineras, distribuidoras y centros de acopio de gas, lubricadoras, locales de pinturas, ferreterías e industrias. Se creó una base de datos para cada lugar de amenaza.

La información de la BDD es la siguiente:

- Número de encuesta.
- Ubicación del lugar de amenaza, es decir la parroquia, clave de la zona, clave del sector, clave de la manzana, nombre de la calle principal, número del local y nombre de la calle secundaria.
  
- De acuerdo al lugar de amenaza se ingreso la siguiente información:
  - **Estaciones de servicio o gasolineras:** Número de islas, número de surtidores, número de tanques de gasolina super con su respectiva capacidad, número de tanques de gasolina extra con su respectiva capacidad, número de tanques de diesel con su respectiva capacidad y ubicación de los tanques (aéreo, encajonado y bajo tierra).
  - **Distribuidora y centro de acopio de gas:** Número de tanques de 15 kg, 45 kg y de otra capacidad.
  - **Lubricadoras:** Número de envases de aceite y su capacidad.
  - **Locales de pintura y ferreterías:** Número de envases de pintura con su respectiva capacidad, número de envases de tinner con su respectiva capacidad, número de envases de acetonas con su respectiva capacidad y número de envases de kerosén con su respectiva capacidad.
  - **Industrias:** Tipo de combustible que utiliza (gasolina, bunker, diesel, GLP, productos químicos y otros) y materiales que produce.
  
- Cantidad total de combustible líquido y cantidad de combustible gaseoso encontrado en los lugares de amenaza.
- Radio de afectación según la cantidad de combustibles almacenados (alto, medio y bajo)
- Instalaciones eléctricas (buenas, malas, internas y externas)
- Equipo contra incendios, aquí se especificó si existe o no extintores (cantidad, tipo, capacidad, estado y ubicación), si existen o no hidrantes de agua (donde y cuantos) y si existe o no un sistema detector de incendios.
- Observaciones y notas.

El diccionario de datos de esta BDD se encuentra en los anexos. Anexo C4, C5, C6, C7 y C8. *Diccionario de Datos de los Lugares de Amenaza de Incendios (Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras).*

## BASE DE DATOS DEL DEPARTAMENTO DE CATASTROS

Esta BDD fue creada por el Departamento de Catastros del Ilustre Municipio de Rumiñahui y tiene información referente a la ficha predial, la cual está dividida en 5 categorías:

- Ubicación
- Tenencia al predio aspectos legales
- Características físicas, de servicios, dimensiones del terreno y cerramientos
- Características de las construcciones
- Mejoras adheridas al predio

#### *Anexo A1. Ficha Predial Urbana*

Para este Proyecto de Tesis solo se van a emplear la primera y la cuarta categoría, de ubicación y características del predio respectivamente. Ya que esta BDD servirá para evaluar la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones e incendios.

Dentro de la ubicación esta la clave predial compuesta por 12 dígitos, de los cuales dos corresponden a la clave de la zona, dos a la clave del sector, tres a la clave de la manzana, dos a la clave del predio y los tres restantes a la clave de la propiedad horizontal; y nombre de la calle. La clave predial sirvió como clave para enlazar a los predios de la cartografía base.

Dentro de las características de las construcciones se tienen tres categorías:

- **Condición-año:** Esta categoría está dividida en condición física, valor unidad, conservación y año de la edificación.
- **Principales materiales empleados en la edificación/bloque:** Esta categoría está dividida en número de pisos, estructura, acabados e instalaciones, conservación de la unidad.
- **Área edificación:** Esta categoría está dividida en bloque, piso, área/piso y área/bloque.

Los materiales empleados en la estructura y en los acabados sirvieron para evaluar la vulnerabilidad de la construcción.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE FENÓMENOS NATURALES

### EVALUACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE INUNDACIONES

#### IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

La ciudad de Sangolquí se encuentra atravesada de norte a sur por una red hidrográfica en la cual se encuentran los siguientes ríos: Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, nombrados de este a oeste. *Anexo E1. Mapa Base de la ciudad de Sangolquí.* El primer río nombrado pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Pita y los ríos restantes a la cuenca hidrográfica del Río San Pedro.

El Río Pita nace de los deshielos del Cotopaxi, recibe aguas del Sincholagua por el lado este, y del Rumiñahui y Cerro Pasochoa por el lado oeste de la cuenca. Sus afluentes principales son los ríos El Salto y El Guapal. El Río Pita desemboca en el Río San Pedro.

El Río San Pedro nace de los deshielos del Iliniza Norte y del Iliniza Sur, recibe aguas del Cerro Santa Cruz, Rumiñahui y del Cerro Pasochoa por el lado oeste, el Cerro Corazón, Cerro La Viudita y Cerro Atacazo por el lado oeste de la cuenca. Sus afluentes son los ríos Blanco, Jambelí, Santa Clara y San Nicolás. En San Rafael, el San Pedro recibe las aguas del Río Pita, y pasa a ser un afluente del Río Guayllabamba.

Los ríos de las cuencas Pita y San Pedro, se usan en el cantón Rumiñahui principalmente para abastecimiento de agua potable y riego en la parte media de la cuenca, y para desecho de aguas servidas y desechos industriales en la parte baja.

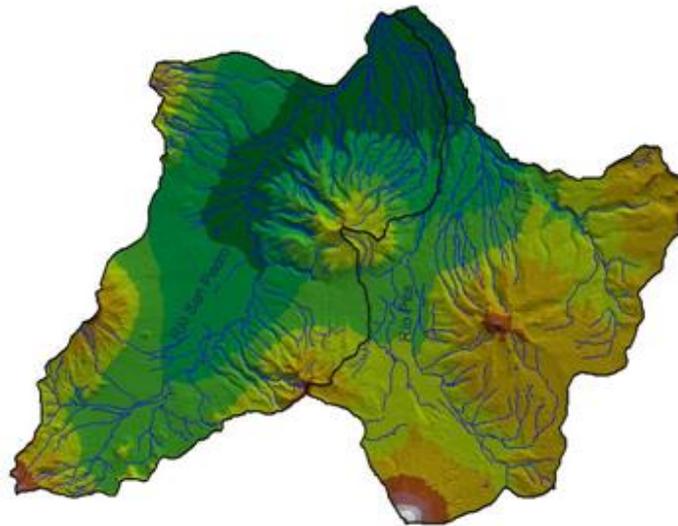


Figura 1.24. Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, nombrados de derecha a izquierda  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los ríos Pita, Santa Clara, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro cíclicamente producen crecidas con caudales anormales que ponen en riesgo a la comunidad establecida en sus proximidades.

Para identificar los lugares más propensos a las inundaciones se procedió a buscar información en los organismos encargados de la seguridad de la ciudad de Sangolquí como son el Departamento de Seguridad del Ilustre Municipio del Cantón Rumiñahui y el Cuerpo de Bomberos de dicho cantón.

En el Municipio del Cantón Rumiñahui se obtuvo información de trabajos realizados por el Departamento de Obras Públicas en cuanto a limpieza del lecho de los ríos, profundización del canal, relleno de ciertos tramos de los ríos y, construcción de alcantarillado en los sitios más afectados por las inundaciones. *Anexo A2. Acta de Accidente Natural. Anexo D1. Fotos de la Destrucción del Alcantarillado en el Río Tinajillas.*

El Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui, organismo que socorre a la población en el caso de producirse una inundación, colaboró con Partes de Auxilio de inundaciones de los años 2003 y 2004. *Anexo A3. Parte de Auxilio del Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui.*

La información recolectada ayudó a ubicar los lugares en donde se producen las inundaciones, la fecha en la que ocurrieron y los sitios donde se han realizado obras de mitigación y/o prevención.

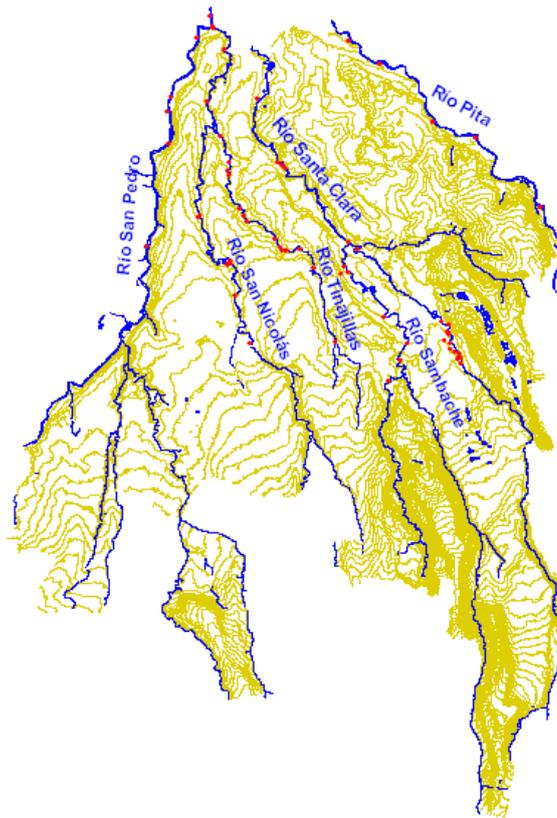


Figura 1.25. Ubicación de los Lugares de Inundación reportados por la población  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## TRABAJO DE CAMPO

Debido a que la información recolectada en los organismos encargados de la seguridad de la ciudad de Sangolquí no fue completa, se elaboró una ficha de captura de datos de inundaciones para encuestar a los moradores de los lugares afectados. Con la encuesta se obtuvo datos como: ubicación, datos de la persona encuestada (para darle confiabilidad), datos de altura de inundación, grado de afectación, morfología del terreno, datos de la construcción, obras de prevención y/o mitigación y observaciones/notas. *Anexo A4. Ficha de Captura de información para Inundaciones*

También se tomó fotografías en los lugares afectados por el río, huellas de inundación en las casas, límites de inundación, contaminación, desnivel del terreno, fotos panorámicas del sector, obras de mitigación y/o prevención, personas encuestadas, entre otras. *Anexo D2. Fotos de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro.*

Con los datos obtenidos en la encuesta y la morfología del terreno se procedió a dibujar en el mapa base el límite de las inundaciones históricas. En los lugares donde no se llenó la encuesta, se tomó como referencia la altura dada por las personas encuestadas y se determinó, de acuerdo a la topografía, la cota de inundación a ambos lados del río (margen derecho e izquierdo), ya que el agua tiende a nivelar la superficie del terreno. *Anexo C9. Cotas de Inundación de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro.*

Con los datos obtenidos con la encuesta realizada a la población se obtuvo el periodo de recurrencia de las inundaciones, la altura de inundación, la extensión, etc. *Anexo C10. Resultados de las Fichas de Captura de Información para Inundaciones*

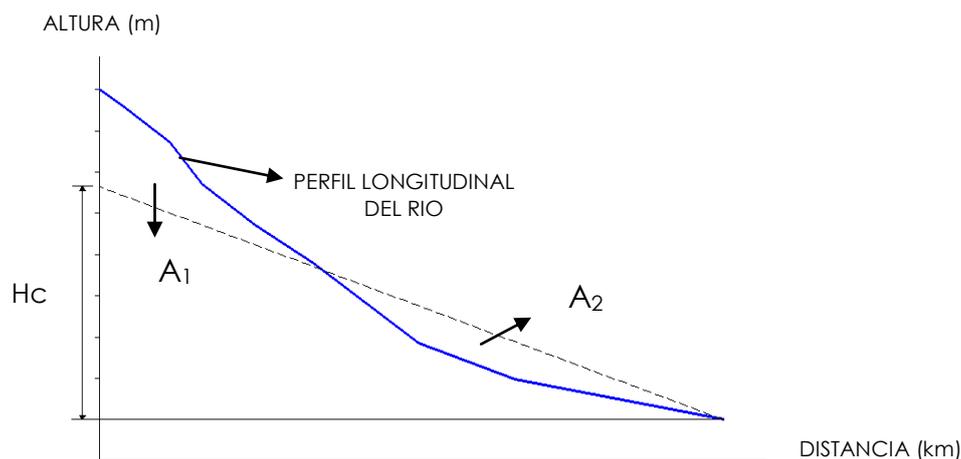
## CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DE CRECIDA

Para comprobar que los datos suministrados por las personas encuestadas y el trabajo realizado en campo coinciden con la realidad, se necesita conocer el caudal máximo de crecida. Por lo que se debe seguir la siguiente metodología.

### DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y MORFOLÓGICOS DE LAS CUENCAS

#### PARÁMETROS FÍSICOS

- **Área de la cuenca:** Esta determinada por una línea imaginaria que encierra el área de confluencia de los ríos en cuestión llamada línea divisoria de aguas y en su trazado no debe cortar ninguna corriente de agua salvo en el sitio de estudio o desembocadura. El área de la cuenca se calculó en MicroStation, con la herramienta *Measure Area*. Anexo E3. Mapa de Cuencas Hidrográficas de los ríos Pita y San Pedro.
- **Longitud del cauce principal o longitud axial:** Está definida por el cauce que tiene mayor recorrido dentro de la cuenca, se mide desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio de interés. Se determinó con la ayuda de la herramienta *Measure Distance* en MicroStation.
- **Desnivel del cauce principal:** Es la diferencia de altura que existe entre el punto más alto de la cuenca y el más bajo. Este parámetro físico controla el flujo de agua sobre el terreno y tiene una influencia directa en la magnitud de las crecidas. Se determinó a través de la curva hipsométrica, donde la longitud del cauce principal está en función de la altura, como se muestra a continuación:



Condición para determinar  $H_c \Rightarrow A_1 = A_2$

Figura 1.26. Ejemplo de una Curva Hipsométrica  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Anexo B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12 y B13. Curvas Hipsométricas de los ríos Pita hasta el sitio de estudio, Pita hasta la Estación Pita A.J. Salto, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás, San Pedro hasta el sitio de estudio y San Pedro hasta la Estación San Pedro en Machachi.

- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que se demora el agua en recorrer desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio de interés, comprende el lapso entre el final de la lluvia y el momento en que se termina el escurrimiento. Existen varias fórmulas para determinar el tiempo de concentración pero la más empleada es la Kirpich, considerando que está utiliza los parámetros que influyen directamente en la velocidad de respuesta, como la longitud del cauce principal y el desnivel de la cuenca.

La formula es la siguiente:

$$T_c = \left( 0.87 \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

$T_c$  = Tiempo de concentración en horas

$L$  = Longitud del cauce principal en kilómetros

$H$  = Desnivel en metros

En la siguiente tabla se indican los parámetros de las diferentes cuencas:

Nombre de la Cuencas	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud axial (km)	Desnivel (m)	Tc (h)
Pita	585,034	62,372	1774	6,296
Pita AJ Salto	146,451	26,291	631	3,456
Santa Clara	50,778	23,917	784	2,850
Sambache	28,689	20,502	855	2,307
Tinajillas	2,240	5,046	77,5	1,151
San Nicolás	31,255	22,393	694	2,768
San Pedro	706,987	61,256	1017	7,639
San Pedro en Machachi	345,699	33,687	991	3,868

Tabla 3.4. Parámetros físicos de las cuencas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## PARÁMETROS MORFOLÓGICOS

- **Uso del suelo y cobertura vegetal:** Para determinar cual era el uso actual del suelo y la cobertura vegetal que existe en las cuencas del río Pita y del San Pedro se empleó el mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal<sup>30</sup>.

La mayor parte de las cuencas de los ríos Pita y San Pedro están constituidas por páramo donde se agrupan pajonales, almohadillas y arbustos coriáceos.

Uso Actual y Cobertura Vegetal	Área (Has)
Afloramientos rocosos, grava y minas	4694,30

<sup>30</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A.6 Mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal, Sangolquí- Ecuador, 2005

Asociaciones	43383,71
Bosque Plantado	3580,76
Bosques	2545,78
Cultivos de Ciclo Corto	4476,75
Cultivos Perennes	392,02
Nieve y hielo	2818,97
Páramo	49223,97
Pasto cultivado	19695,40
Zona Urbana	3045,40

Tabla 3.5. Uso de Suelo y Cobertura Actual de las cuencas del río Pita y San Pedro  
Fuente: DINAREN<sup>31</sup>

A continuación se explica el significado de las unidades contenidas en mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal:

**Bosque natural (Bn):** Se denomina al ecosistema arbóreo natural primario y secundario que actualmente se halla sin desocupación o intervención humana. Este piso vegetal lo constituyen especies nativas de cada zona con una altura superior a los 15 m. Constituye una formación vegetal arbórea leñosa densa, pluriestratificada, integrada por especies propias del área, con un alto porcentaje de mezcla de especies forestales.

**Bosque plantado (Bp):** Masa boscosa formada antrópicamente con una o diferentes especies madereras nativas o introducidas, con manejos silviculturales y dedicadas a varios fines como la producción maderera, protección, recuperación del suelo o recreación.

En referencia a las especies introducidas, los bosques de eucalipto en su mayoría se implantan en regiones de la sierra sin llegar a ocupar grandes espacios, pues en su mayoría no han sido plantados con fines de explotación sino con fines de protección como barreras rompedoras y para evitar el arrastre de sedimentos. Los bosques de pino de las especies Pátula y Radiata, se han establecido con fines de reforestación y explotación maderera.

**Vegetación arbustiva (Va):** Es la vegetación natural cuya composición florística no sobrepasa los 10 m de altura y la estructura del tallo no alcanza los 15 cm de grosor, localizada generalmente en relieves fuertes, producto de la regeneración espontánea. Se considera en esta categoría a toda aquella vegetación conocida como matorral o chaparro.

**Páramo (Pr):** Es la vegetación herbácea de alta montaña, resistente a vientos y heladas, asociada ocasionalmente con arbustos resistentes a temperaturas menores a los 5° C. Agrupan pajonales, frailejones, almohadillas y arbustos coriáceos.

**Pasto natural (Pn):** Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección. Vegetación desarrollada en abruptos o sobre cangagua.

**Pasto cultivado (Pc):** Es la vegetación ocupada por especies herbáceas introducidas, utilizadas con fines pecuarios que, para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo conducidos por el hombre o regeneración espontánea de especies introducidas.

En esta categoría se considera también al kikuyo de regeneración espontánea que crece en áreas localizadas sobre los 1800 m.s.n.m.

<sup>31</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Sangolquí- Ecuador, 2005, pág. 56.

**Cultivos:** Se conceptualiza en este nivel a todos aquellos elementos inherentes a las actividades culturales que el hombre realiza en el campo en busca de sustento.

- **Cereales (Ce):** Cultivos temporales con predominio de maíz, cebada, trigo y avena.
- **Cultivos bajo invernadero (Ci):** Generalmente son flores y hortalizas para exportación, localizados entre los 1800 y 2700 m.n.s.n. Sistema de producción bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y suelo. En esta categoría, el invernadero de plástico es un requisito para atenuar los cambios climáticos y lograr condiciones adecuadas para su producción.
- **Cultivos de ciclo corto (Cc):** Es una asociación que incluye cultivos de consumo interno o comercial, cuyo ciclo vegetativo no excede de un año, y no es posible clasificarlos independientemente ni por asociaciones, pues generalmente se encuentran formando parte de minifundios cuyo denominador común son los policultivos. Los más representativos en la sierra constituyen el maíz, papa, fréjol, cebada, haba, arveja, cebolla, lenteja, zanahoria, quinua, hortalizas, leguminosas y otro.
- **Frutales (Cr):** Cultivos perennes, cuya implantación es estable, localizados en pequeños lotes de policultivos. Los más importantes son el aguacate, cítricos, manzana, durazno, y tomate de árbol.
- **Cultivos diferenciados:** Son los cultivos de ciclo corto o permanentes que cubren grandes superficies y pueden ser clasificados independientemente. Tales como la cebada (Cd), el maíz (Cm) y la papa (Cp).

**Cuerpos de agua natural (Wn):** Superficies y volúmenes de agua natural estática o en movimiento. Se agrupan en esta clase los lagos y lagunas y todo el sistema hidrográfico general.

**Erial (Er):** Dentro de este grupo se encuentran los afloramientos rocosos, la grava y las minas. Los afloramientos rocosos son las masas geológicas que emergen a la superficie terrestre y ocupan grandes extensiones de materiales pétreos de diferentes tamaños. En la serranía se presentan en los altos volcanes producto de deshielos. La grava y minas se refieren a zonas dedicadas a la explotación minera.

**Área erosionada (Ae):** Son zonas con elevado grado de desgaste del suelo orgánico, desprovistas de vegetación o con cobertura vegetal dispersa donde aparecen los estratos inferiores improductivos.

**Áreas en proceso de erosión (Ap):** Son las zonas en las que es evidente la pérdida del suelo superficial por acciones naturales o por intervención del hombre.

**Nieve y hielo (On):** Son los glaciares localizados en las cumbres de los distintos volcanes del sistema montañoso interandino.

**Las asociaciones:** Son áreas cubiertas con dos o más tipos de vegetación dominante que no pueden clasificarse independientemente por presentarse en pequeñas secciones entremezcladas, con iguales o diferentes porcentajes de cobertura en la gran unidad asociativa.

Por ejemplo:

Caso 1: CC= 100% de Cultivos de ciclo corto

Caso 2: Cc-Pc = 50% de Cultivos de ciclo corto + 50 % de Pastos artificiales

Caso 3: Cc/Pc= 70% de Cultivos de ciclo corto + 30% de Pasto artificiales

También se presentan asociaciones cuando existen unidades que tiene algún tipo de vegetación con áreas con procesos erosivos.

Por ejemplo:

Caso 1: Ae= Áreas erosionadas en las cuales no se registra ninguna cobertura vegetal

Caso 2: CC/Ae= 70% de Cultivos de ciclo corto + 30% de Áreas erosionadas

Caso 3: Cc/Ap= 70% de Cultivos de ciclo corto + 30% de Áreas con proceso de erosión

- **Litología:** Para determinar el tipo de suelo que existe en las cuencas del río Pita y del San Pedro se empleo el Mapa de Suelos.<sup>32</sup>

De este mapa se obtuvo las siguientes tablas que indican el orden, suborden y gran grupo del suelo que poseen las cuencas, según la clasificación del Sistema Norteamericano Soil Taxonomy.

Orden	Suborden	Gran grupo	%
Inceptisol	Andept	Criandept (Distrandept)	2,153
Inceptisol	Andept	Distrandept	48,505
Afloramientos rocosos	Afloramientos rocosos	Afloramientos rocosos	8,329
Nieve y hielo	Nieve y hielo	Nieve y hielo	7,872
Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	0,080
Entisol	Orthent	Ustorthent (troorthent)	1,241
Entisol	Psamment	Torripsamment	1,284
Mollisol	Udoll	Argiustoll	1,008
Mollisol	Udoll	Duriudoll	0,637
Mollisol	Udoll	Hapludoll	27,723
Mollisol	Ustoll	Haplustoll	0,818
Mollisol+Inceptisol	Udoll+Andept	Hapludoll+Dystrandept	0,349

Tabla 3.6. Tipos de Suelos de la cuencas del río Pita, con sus respectivos porcentajes de cobertura  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Orden	Suborden	Gran grupo	%
Inceptisol	Andept	Distrandept	43,193
Inceptisol	Andept	Vitrandept	4,330
Afloramientos rocosos	Afloramientos rocosos	Afloramientos rocosos	1,299
Nieve y hielo	Nieve y hielo	Nieve y hielo	0,372
Zona Urbana	Zona Urbana	Zona Urbana	0,129
Inceptisol	Tropept	Dystropept	10,753
Mollisol	Udoll	Argiudoll	0,289
Mollisol	Udoll	Argiustoll	0,137
Mollisol	Udoll	Duriudoll	3,112
Mollisol	Udoll	Hapludoll	26,869
Mollisol	Ustoll	Haplustoll	9,517

Tabla 3.7. Tipos de Suelos de la cuencas del río San Pedro, con sus respectivos porcentajes de cobertura  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

<sup>32</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A.5 Mapa de Suelos, Sangolquí- Ecuador, 2005

Los conceptos de los tipos de suelos existentes en las cuencas de los ríos Pita y San Pedro se explican a continuación:

### **Orden Entisoles**

Son aquellos suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación de horizontes pedogénicos. Existen muchas razones por las cuales no se han desarrollado o formado los horizontes; en muchos de los suelos el tiempo de formación ha sido corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes sujetas a erosión y otros se encuentran sobre planicies de inundación.

Se presentan por lo general en cualquier régimen climático. Se presentan sobre pendientes fuertes, donde la pérdida del suelo es más rápida que su formación; o en lugares donde la acumulación de materiales es continua, como en llanuras aluviales, dunas, estuarios; o en lavas.

Estas condiciones limitan su uso; los principales problemas para su aprovechamiento constituyen la erosión, rocosidad, excesivos materiales gruesos, susceptibilidad para la inundación y la saturación permanente de agua.

Los subórdenes se clasifican según el material de origen.

**Suborden Orthents:** Son los entisoles primarios, se forman sobre superficies de erosión reciente. La erosión puede ser de origen geológico o producto de cultivo intenso u otros factores que han removido o truncado completamente los horizontes del suelo, dejando expuesto a la superficie material mineral primario grueso (arenas, gravas, piedras, etc.), o material cementado (cangagua). Cuando sostiene vegetación, ésta es muy escasa o no existe.

- **Ustorthents:** Se encuentran en zonas frías y templadas. Se distribuyen sobre relieves accidentados de las vertientes de la cordillera o también sobre pendientes suaves cerca de los volcanes.

**Suborden Psamment:** Son entisoles con predominio de materiales arenosos de depósitos recientes. Tienen muy baja capacidad de retención de agua. Cuando están muy secos y descubiertos son muy susceptibles principalmente a la erosión eólica. Su contenido de materia orgánica es bajo, menor al 1%. Son por lo general muy profundos.

- **Torrripsamments:** Presentan una topografía variada, desde plana, en las playas y partes bajas de la cuenca, hasta fuertemente inclinada a empinada, cuando se encuentran recubriendo las laderas y faldas de algunos cerros. La aptitud de estos suelos para la agricultura es bastante limitada, debido a su pobre contenido de materia orgánica y las condiciones de drenaje.

### **Orden Inceptisoles**

Son aquellos suelos que evidencian un incipiente desarrollo, dando lugar a la formación de algunos horizontes alterados. Tienen una subsiguiente evolución con respecto a los entisoles, pero son considerados inmaduros en su evolución.

Se encuentran en cualquier tipo de clima y se originan a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes.

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes son más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente.

Los subórdenes se clasifican según la humedad, temperatura y mineralogía del suelo.

**Suborden Andepts:** Son los inceptisoles formados de cenizas volcánicas y su ocurrencia está en o cerca de las montañas que tiene actividad volcánica. Se presentan casi sin restricciones de drenaje. Tienen una baja densidad aparente, alta capacidad de intercambio catiónico y alto contenido de material piroclástico. Se encuentran bajo diversas formas de vegetación de acuerdo a la región climática.

Normalmente presentan un alto contenido de carbón orgánico, con excepción de los suelos de cenizas muy recientes. La característica principal de estos suelos es que debido a que pueden ser originados de diferentes aportes volcánicos, presentan muchas veces horizontes "enterrados" que corresponden a anteriores capas superficiales ricas en materia orgánica.

Los grandes grupos se definen en función de los criterios de saturación de bases y retención de humedad.

- **Distrandepts:** Son los andepts que poseen una retención de humedad inferior al 100%, gran cantidad de carbón orgánico y un bajo contenido en bases. Los minerales normalmente han sido alterados, existiendo gran cantidad de vidrio volcánico dentro del primer metro de profundidad. Poseen un alto poder de fijación de fósforo, lo cual limita su uso. Son profundos y de color muy negro.

Se localizan en las partes altas de las montañas bajo condiciones climáticas húmedas y nubosas; presentan texturas medias: franco a franco limoso, alto contenido de materia orgánica y potasio, pobres en nitrógeno y fósforo.

Cuando la temperatura es inferior a los 10° C se los denomina Criandeps. Se encuentran bajo cultivos de altura (cereales, papas y pastizales), así también bajo bosques y vegetación natural.

Los factores limitantes para su uso agropecuario son las fuertes pendientes, la baja fertilidad y bajas temperaturas.

- **Vitrandepts:** Son caracterizados por la presencia de grandes cantidades de materiales piroclásticos como vidrio, ceniza y pómez. Tiene texturas francas, francos arenosos y a veces gravillosos, la naturaleza de bases es variable de acuerdo a la naturaleza de la ceniza o la pómez y la precipitación. Son profundos de color pardo oscuro, con un bajo contenido de materia orgánica; ph ligeramente ácido y baja retención de humedad. Son aptos para los cultivos, especialmente bajo riego, teniendo como limitaciones su permeabilidad y baja fertilidad.

**Suborden Tropepts:** Son inceptisoles que no poseen una cantidad significativa de materiales piroclásticos en su constitución mineralógica. Son suelos de colores pardos o rojizos. En régimen húmedo su vegetación normalmente es el bosque de hojas anchas siempre verde.

Los grandes grupos se clasifican por el contenido de bases determinado por el régimen de humedad.

- **Distropepts:** Son los tropepts ácidos, parduscos o rojizos, formados a partir de rocas ácidas de diverso origen o bajo condiciones de altas precipitaciones. Estas precipitaciones puede ser bien distribuida o estacional. Tienen muy baja saturación de bases, texturas finas y pesadas, y muy baja fertilidad. El uso de estos suelos es bastante restringido por sus limitantes de baja fertilidad y toxicidad aluminica.

## Orden Mollisoles

Son suelos ricos en bases de cambio y muy comunes en las planicies. Han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro y con un gran contenido de materia orgánica. Tienen una consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular. Es importante la acción de los microorganismos y lombrices en este tipo de suelo. La mayoría de estos suelos son de color negro.

Los mollisoles se clasifican de acuerdo a la humedad en:

**Suborden Udolls:** Son los mollisoles más o menos drenados. Se presentan en regiones con climas húmedos, por lo que el suelo no permanece seco ni siquiera 90 días al año o 60 días acumulativos. En cuanto a temperatura, pueden desarrollarse bajo condiciones que van de frías a cálidas. La mayoría de estos suelos se hallan cultivados, siendo los cereales y el maíz los cultivos más importantes.

Los grandes grupos se clasifican según la presencia de capas y horizontes diagnósticos.

- **Argiudolls:** Se caracterizan por tener texturas arcillosas o arcillo arenosas con pH ligeramente ácido y buena fertilidad natural, pudiendo encontrarse cangagua a más de un metro de profundidad, desarrollados sobre proyecciones volcánicas de cenizas recientes, suaves y permeables en climas húmedos y templados. Son suelos muy aptos para la agricultura y la ganadería.
- **Duriudolls:** Son udolls de zonas frías a templadas que han desarrollado sobre depósitos de ceniza antigua dura y cementada (cangagua). Se caracterizan por presentar colores negros o pardo oscuros, textura arcillo arenosa, pH neutro y buena fertilidad natural. La capa de cangagua subyacente se encuentra siempre a menos de un metro de profundidad. Son aptos para cultivos especialmente de aquellos que no tienen raíces profundas como las hortalizas.
- **Hapludolls:** Están desarrollados a partir de cenizas volcánicas recientes, suaves y permeables. Se presentan en color negro, de texturas arcillo arenosas o limosas con arenas a veces con grava y piedras, pH ligeramente ácido y buena fertilidad. Por sus buenas condiciones de fertilidad y manejo son muy aptos para toda clase de cultivos.

**Suborden Ustolls:** Son los mollisoles más o menos bien drenados. La sequedad es frecuente en estos suelos, por lo cual casi siempre se requiere de irrigación artificial para los cultivos.

Los grandes grupos se clasifican por la presencia de ciertas capas u horizontes diagnósticos.

- **Argiustolls:** Se han desarrollado sobre depósitos coluviales de diferente origen, cenizas y mezclas de gravas, piedras, arenas, conglomerados y cantos rodados. Son suelos negros de textura arcillo-arenosa o limo-arenosa a veces mezclada con gravas. Tienen pH neutro, alta saturación en bases y buena fertilidad natural. Su mejor aprovechamiento es en cultivos anuales y frutales.
- **Haplustolls:** Son suelos profundos, arenosos finos o franco limosos con incremento de arcilla en profundidad, de pH neutro a ligeramente alcalino y buena fertilidad natural. Son suelos aptos para la agricultura.

## **DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS DE CRECIDA**

Para la determinación de caudales máximos de crecida se usó el método estadístico y el método indirecto.

## MÉTODO ESTADÍSTICO

El método estadístico se utiliza cuando se tiene una serie de datos hidrométricos de caudales máximos instantáneos. Anexo A6. *Series de Datos Hidrológicos de Caudales Máximos Instantáneos de las Estaciones Pita AJ Salto y San Pedro en Machachi.*

Dentro de las cuencas de los ríos Pita y del San Pedro se encuentran dos estaciones hidrométricas del INAMHI, como se indican en la siguiente figura:

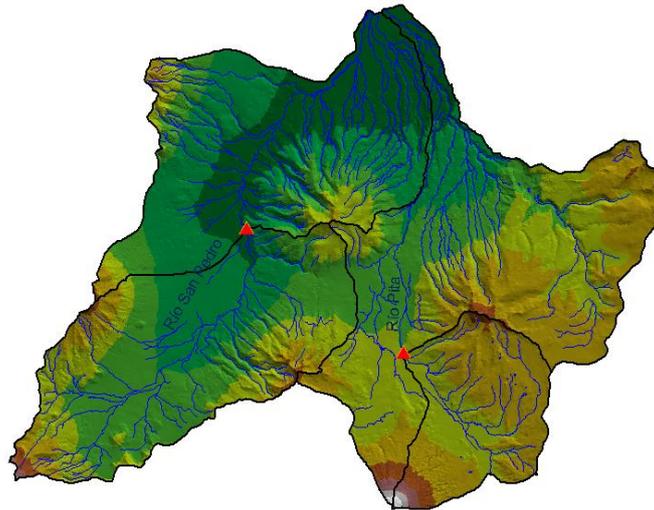


Figura 1.27. Estaciones Hidrométricas Pita A.J. Salto y San Pedro en Machachi, nombradas de derecha a izquierda  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Las características de las estaciones hidrológicas son las siguientes:

Nombre de la Estación	Código	Periodo	Número de Registros	Coordenadas Geográficas		Elevación (m)
				Latitud ( $\lambda$ )	Longitud ( $\Phi$ )	
Pita AJ Salto	H158	1964-2005	27	0° 34' 15''	78° 25' 26''	3550
San Pedro en Machachi	H159	1964-2005	38	0° 28' 25''	78° 32' 34''	2680

Tabla 3.8. Características de las Estaciones Hidrométricas del INAMHI (Sistema de Referencia PSAD 56)  
Fuente: INAMHI

De esta serie se escogió el máximo caudal por año de las series que estaban completas, para ingresarlo en un programa llamado FLOOD (desarrollado por la Universidad de Chiguagua-México). Anexos C11 y C12. *Caudales Máximos Instantáneos de las Estaciones Pita AJ Salto y San Pedro en Machachi.* Este programa determina, a través de cálculos estadísticos, el caudal de crecida para diferentes periodos de retorno.

El programa analiza la serie de datos hidrométricos y los ajusta a una ecuación, de acuerdo a diversos métodos de distribución de frecuencias, como se indica a continuación:

- Distribución normal;
- Distribución log-normal con dos y tres parámetros;
- Distribución Gamma con dos y tres parámetros;
- Distribución log-Pearson tipo III;
- Distribución de Gumbel o de valores extremos tipo I;

- Distribución de Valor Extremo general (G.E.V.).

Se debe escoger el método de distribución que tenga el menor error estándar. El que mejor se ajustó a los datos hidrométricos de las dos cuencas fue el de Gamma con dos parámetros, con el método de los momentos. Anexo A7 y A8. Reporte del Programa FLOOD para el cálculo del Error Estándar de las *Series de Datos Hidrológicos de Caudales Máximos Instantáneos de las Estaciones Pita AJ Salto y San Pedro en Machachi*.

Posteriormente, se procede a elegir los periodos de retorno para los cuales se quiere calcular el caudal. Para este estudio se escogió tres periodos de retorno, 10, 50 y 100 años, debido a que estos servirán para determinar zonas con diferente grado de exposición a la amenaza (alta, mediana y baja). Además, que en el informe de Evaluación Hidrológica del Fenómeno del Niño, el INAMHI recomienda para el análisis de caudales máximos el empleo de periodos de retorno de 50 y 100 años.

Se debe seleccionar el nivel de confianza que se necesita para el cálculo del caudal. Existen tres opciones: 90, 95 y 99%. Para determinar el caudal de los ríos Pita y San Pedro se escogió el 99% por seguridad.

Una vez determinado el método de ajuste, los periodos de retorno y el nivel de confianza, se procede a calcular el caudal de crecida hasta las estaciones hidrométricas. Los caudales máximos  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$  obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Nombre de la Estación	$Q_{10}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
Pita AJ Salto	21,159	31,828	36,310
San Pedro en Machachi	50,554	72,952	82,205

Tabla 3.9. Caudales máximos para periodo de retorno de 10, 50 y 100 años  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los resultados del programa FLOOD están en los anexos. Anexo A9 y A10. Reporte del programa FLOOD para el cálculo del Caudal Máximo de los ríos Pita y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años en las estaciones Pita AJ Salto y San Pedro en Machachi.

Los caudales máximos determinados en los sitios de las estaciones se trasladaron al sitio de estudio utilizando la fórmula:

$$Q_B = Q_A \cdot \frac{A_B}{A_A} \cdot \frac{\log Pm_B}{\log Pm_A} \cdot \frac{C_B}{C_A} \cdot \frac{H_B}{H_A} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Siendo:

$Q_A$  = Caudal de la cuenca hasta la estación

$A_A$  = Área de la cuenca hasta la estación

$A_B$  = Área total de la cuenca

$Pm_A$  = Precipitación media de la cuenca hasta la estación

$Pm_B$  = Precipitación media de toda la cuenca

$C_A$  = Coeficiente de escorrentía de la cuenca hasta la estación

$C_B$  = Coeficiente de escorrentía de toda la cuenca

$H_A$  = Desnivel de la cuenca hasta la estación

$H_B$  = Desnivel de toda la cuenca

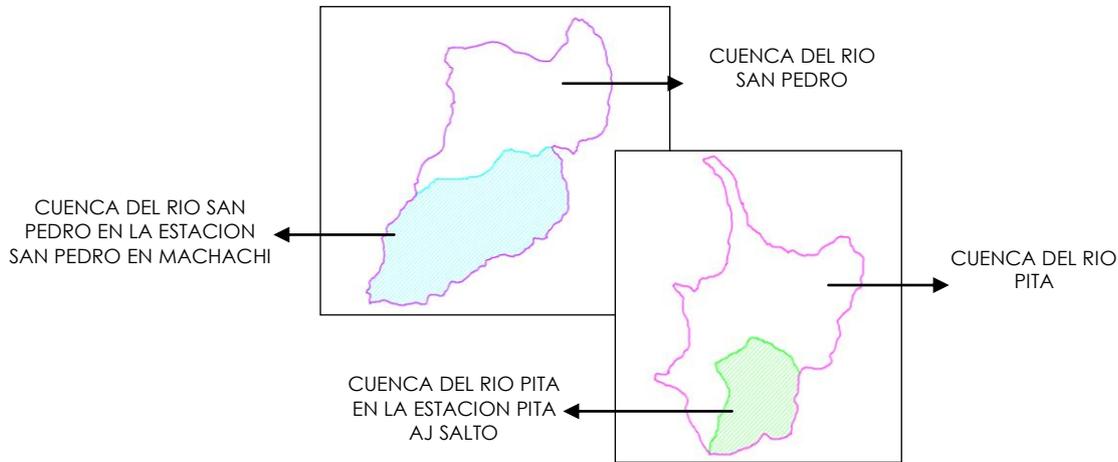


Figura 1.28. Cuencas de los ríos Pita y San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

### **Precipitación media ( $P_m$ ):**

Para obtener la precipitación media en cada una de las cuencas se determinó áreas comprendidas entre las isoyetas interpoladas y los límites de las cuencas en el Mapa de Isoyetas de Precipitación Media<sup>33</sup>, en MicroStation, con la herramienta *Create Region* opción *Flood*, y se calculó el área de las mismas. Anexo E4. Mapa de Isoyetas de Precipitación Media de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro

Para calcular el valor de la precipitación media se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{\sum (A_i \cdot \text{Valor de la Isoyeta media})}{A_T} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Como se explica con la ayuda de la siguiente figura:

<sup>33</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.2.2 Determinación de Caudales Máximos de Crecida, Mapa de Isoyetas de Precipitación Media, pág. 8.

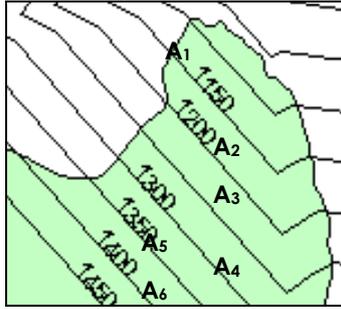


Figura 1.29. Isoyetas de la cuenca del Río San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

$$Pm = \frac{(A_1 \cdot 1075) + (A_2 \cdot 1125) + (A_3 \cdot 1175) + (A_4 \cdot 1225) + (A_5 \cdot 1275) + (A_6 \cdot 1325)}{A_T}$$

Anexo C13 y C14. Cálculo de la Precipitación Media de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro.

#### **Coefficiente de escorrentía (C):**

El coeficiente de escorrentía depende de la precipitación máxima diaria (Pd) correspondiente a un período de retorno determinado y del umbral de escorrentía (Po). Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(Pd - Po) \cdot (Pd + 23Po)}{(Pd + 11Po)^2} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía

Pd = Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno determinado

Po = Parámetro umbral de escorrentía

- **Precipitación máxima diaria (Pd)**

La precipitación máxima diaria para un periodo de retorno determinado se obtiene al multiplicar la intensidad de precipitación para un periodo de retorno dado ( $I_{TR}$ ) por 24 horas, es decir:

$$Pd_{TR} (mm) = I_{TR} \left( \frac{mm}{h} \right) \cdot 24h \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

$Pd_{TR}$  = Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno dado en mm

$I_{TR}$  = Intensidad de precipitación para un periodo de retorno dada en  $\left(\frac{mm}{h}\right)$

- **Intensidad de precipitación para un periodo de retorno**

La intensidad de precipitación se determinó mediante el Estudio de Lluvias Intensas elaborado por el INAMHI, en el año 1999. En dicho estudio se dividió al Ecuador en 35 zonas las cuales tienen su respectiva ecuación de intensidad de lluvia correspondiente a:

$$I_{TR} = \frac{K \cdot Id_{TR}}{t^n} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde:

$I_{TR}$  = Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno  $\left(\frac{mm}{h}\right)$

$Id_{TR}$  = Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en  $\left(\frac{mm}{h}\right)$

$TR$  = Período de retorno

$t$  = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

K y n= Constantes de ajuste determinado aplicando mínimos cuadrados

Para determinar cual es la zona en la cual están ubicadas las cuencas de los ríos Pita y San Pedro, se debe determinar los centroides de las mismas. Éstos se determinaron con la ayuda de la herramienta XTools, opción *Convert Shapes to Centroids* de ArcView 3.2.

Anexo E8. Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro.

Las cuencas de los ríos Pita y San Pedro están ubicadas en la zona 25 y tienen las siguientes ecuaciones:

Duración	Ecuación
5 min < 60 min	$I_{TR} = 97,389 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0,6117}$
60 min < 1440 min	$I_{TR} = 125,73 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0,6643}$

Tabla 3.10. Ecuaciones representativas de la Zona 25  
Fuente: Estudio de Lluvias Intensas<sup>34</sup>

Con las ecuaciones representativas de cada zona, con la información pluviométrica de observaciones diarias de precipitación máxima en 24 horas de 178 estaciones y con un registro de 35 años, se obtuvo en dicho estudio mapas de isóneas de intensidades máximas para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. En este estudio se va a emplear los mapas de isóneas de 10, 50 y 100 años.

<sup>34</sup> Estudio de Lluvias Intensas, Ing. Luis Rodríguez Fiallos, Ministerio de Energía y Minas, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador, 1999.

Anexos E9, E10 y E11. Mapas de Isolíneas de Intensidades de Precipitación para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años de las cuencas de los ríos Pita y San Pedro

Para determinar la intensidad de precipitación promedio de las cuencas se debe emplear la siguiente ecuación:

$$Id_{TR \text{ PROMEDIO}} = \frac{\sum \left( \frac{(Id_{TR1} - Id_{TR2})}{2} \cdot A_1 \right)}{A_T} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Donde:

$Id_{TR \text{ PROMEDIO}}$  = Intensidad de precipitación promedio

$Id_{TR1}$  = Isolínea de intensidad de precipitación inicial

$Id_{TR2}$  = Isolínea de intensidad de precipitación final

$A_1$  = Área comprendida entre la isolínea inicial, la isolínea final y el límite de la cuenca

$A_T$  = Área total

Los valores de intensidad de precipitación ( $mm/h$ ) y de precipitación máxima diaria ( $mm$ ) para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años de las cuencas de los ríos Pita y San Pedro son los siguientes:

Nombre de la Cuenca	$Id_{10}$	$Pd_{10}$	$Id_{50}$	$Pd_{50}$	$Id_{100}$	$Pd_{100}$
Pita AJ Salto	2,52	60,45	3,53	84,66	3,98	95,50
Pita	2,58	61,87	3,60	86,28	4,18	100,41
San Pedro en Machachi	2,08	49,91	2,70	64,72	3,98	71,48
San Pedro	2,32	55,68	2,86	68,67	3,12	74,78

Tabla 3.11. Valores de Intensidad de Precipitación Diaria para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Parámetro Umbral de Escorrentía ( $P_o$ )**

El umbral de escorrentía está en función del uso de la tierra, la pendiente, las características y el grupo de suelo. Se determina a través de la tabla de Estimación del Parámetro Umbral de Escorrentía, creada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, la cual se indica a continuación:

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características	Grupo de Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	> 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en Hileras	> 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R/N	28	19	14	11

Cereales de Invierno	> 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R/N	34	21	14	12
Rotación de Cultivos pobres	> 3	R	26	15	9	9
		N	28	17	11	8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	> 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R/N	47	25	16	13
Praderas	> 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	-	33	18	13
		Muy buena	-	41	22	15
	> 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	-	35	17	10
		Buena	-	-	22	14
		Muy buena	-	-	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	> 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	-	34	19	14
		Buena	-	42	22	15
	< 3	Pobre	-	34	19	14
		Media	-	42	22	15
		Buena	-	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	3
		Clara	60	24	14	10
		Media	-	34	22	16
		Espesa	-	47	31	23
		Muy espesa	-	63	43	33

Tabla 3.12. Estimación del Po según el SCS  
Fuente: Normas de Diseño de Obras de Drenaje <sup>35</sup>

Los valores notablemente altos se sustituyeron en la tabla por una raya. Por lo tanto, las superficies de la cuenca que correspondan a dichos valores no deben tomarse en cuenta para efectos del cálculo de caudales de crecida.

A continuación se explica los términos utilizados en la Tabla 4.9:

o **Uso de la tierra**

**Barbecho:** Es la tierra de cultivo que no se siembra. El porcentaje de explotación agrícola que se suele encontrar en este estado depende de la periodicidad de las siembras. La escorrentía es importante debido a la escasa vegetación que posee.

Se consideró como barbecho a las áreas erosionadas que están asociadas con los cultivos en hileras y los cereales.

**Cultivos en Hilera:** Son tierras de cultivos plantados formando hileras. De esta forma se cultivan las papas, el maíz, el algodón, la remolacha, el tomate, entre otros cultivos de ciclo corto.

En general, las plantaciones de frutas, el olivar, los almendros y la viña pueden incluirse en este grupo, debido a que el efecto hidrológico de la mayor distancia existente entre plantas se ve compensando por el vuelo del ramaje que protege al suelo del impacto de la lluvia, y por la presencia de su potente sistema radicular.

<sup>35</sup> Normas de Diseño de Obras de Drenaje, Subprograma de II-Revisión de Normas, Programas de Entrenamiento a las Direcciones de Estudios y Planificación, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones.

**Cereales de Invierno:** Son los cereales que se desarrollan durante el invierno como el trigo, la cebada, la avena y el centeno.

**Rotación de cultivos:** Es la secuencia cíclica de cultivos que se produce en una parcela. La duración de los ciclos depende del tipo de cultivo (comprendido entre 2 y 7 años).

Desde el punto de vista hidrológico se dividen en:

- ◇ **Rotación pobre o con escasa densidad de la cobertura vegetal:** Se refiere a la combinación de cultivos en hilera, cereales de invierno y barbecho.
- ◇ **Rotación densa:** Se refiere a la combinación de cultivos en hilera o cereales de invierno con una proporción importante de alfalfa, trébol, praderas policitas u otras siembras de alta densidad de cobertura.

**Praderas, prados y pastizales:** Son los cultivos que sirven como alimentación base del ganado, y se clasifican en:

- ◇ **Pobres:** Bajo un intenso régimen de pastoreo o con cobertura vegetal menos del 50% de la superficie, como son los pastizales y los eriales.
- ◇ **Medias:** Bajo un moderado régimen de pastoreo o con cobertura vegetal en más del 75% de la superficie total.
- ◇ **Buenas:** Bajo un pastoreo ligero o con cobertura vegetal en más del 75% de la superficie total.
- ◇ **Muy buenas:** Dentro de este grupo están las praderas artificiales, las praderas naturales mixtas y los prados naturales, cuando no están explotados en régimen de pastoreo. La vegetación es densa, homogénea y de cierta altura.

Se consideró como buenas a las áreas que tienen un 70% de páramo, 70% de pasto natural, 70% de pasto cultivado y un 30% del área erosionada o en proceso de erosión; y como muy buenas al pasto cultivado, al pasto natural y al páramo.

**Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal:** Son las plantaciones regulares de árboles, tales como chopos, eucaliptos, entre otros. Se clasifican según las características de la cobertura vegetal no arbórea:

- ◇ **Pobres:** No existe otra vegetación a parte de la arbórea, el matorral, las herbáceas espontáneas e incluso la materia vegetal no descompuesta es eliminada.
- ◇ **Medias:** Existe alguna vegetación además de la arbórea, como material vegetal descompuesto; pero parte del suelo carece de vegetación.
- ◇ **Buenas:** La vegetación (matorral, herbáceas espontáneas, etc.) y la materia no descompuesta cubren el terreno.

Se consideró que el bosque plantado de las cuencas tiene una cobertura vegetal media debido a que no se conoce que otro tipo de vegetación más existe a parte de la arbórea, y es preferible tomar un valor intermedio.

**Masas forestales:** Son superficies del terreno donde se desarrolla vegetación leñosa arbórea, como el monte bajo, el monte alto o los bosques.

Según la densidad de la vegetación se dividen en:

- ◇ Muy espesas
- ◇ Espesas
- ◇ Medias
- ◇ Claras
- ◇ Muy claras (árboles o arbustos diseminados)

No se estableció en la tabla diferencias en cuanto a pendiente debido a que no es común que se de este tipo de vegetación en terrenos llanos.

Se consideró que el bosque indiferenciado y la vegetación arbustiva tienen una densidad de media a espesa, por lo que se tomó los valores intermedios entre estos dos. Y el bosque natural tiene una densidad espesa debido a que forma un ecosistema arbóreo natural primario y secundario que no tiene intervención humana.

- **Pendiente:**

La pendiente indica el desnivel del terreno dado en porcentaje. Las zonas planas son aquellas que tienen una pendiente menor al 3%.

- **Características:**

Se refiere al tipo de laboreo que se realiza en los diferentes tipos de uso de suelo como son:

- ◇ **En línea recta (R):** Cuando el laboreo, la siembra y las labores de cultivo se realizan en dirección de la máxima pendiente o la media ladera.
- ◇ **En líneas de nivel (N):** Cuando el laboreo del suelo, la siembra y las labores de cultivo se realizan siguiendo las curvas de nivel del terreno.

En terrenos llanos no se hace una diferenciación entre el laboreo en línea recta y el laboreo en línea de nivel.

Se consideró que se realiza, en el sector de las cuencas hidrográficas, los dos tipos de laboreo en las cuencas por lo que se tomaron valores intermedios entre el laboreo en línea recta y en líneas de nivel.

- **Grupo de suelo**

Más de 8000 tipos de suelos fueron clasificados por la SCS en 4 grupos de acuerdo a su condición de infiltración, y estos son:

- ◇ **Grupo A:** Tienen un bajo potencial de escurrimiento. El agua se infiltra rápidamente, inclusive cuando el suelo está muy húmedo. Son suelos profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas); y están excesivamente drenados.
- ◇ **Grupo B:** Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. Su profundidad es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franco, franco-arcilloso-arenoso o franco-limoso. Están bien o moderadamente drenados.
- ◇ **Grupo C:** Cuando están muy húmedos y la infiltración es lenta. Estos suelos tienen una capa que impide el movimiento del agua a través de ellos. La profundidad del suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco-arcilloso-limosa, limosa o arcillosa-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- ◇ **Grupo D:** Cuando están muy húmedos y la infiltración es muy lenta, por lo tanto tienen un potencial de escurrimiento máximo. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o muy próximos a ella y están muy pobremente drenados. Incluyen los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

En la siguiente tabla se resume las características de estos grupos de suelos:

Grupo	Infiltración	Profundidad	Textura	Drenaje
A	Rápida	Profunda	Arenoso Areno-limoso	Perfecto
B	Moderada	Media a profunda	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Inferior a la media	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Poco espesor (litosuelo) con horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Tabla 3.13. Características de los suelos clasificados por el SCS  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los tipos de suelo encontrados en las cuencas se adaptaron a estos cuatro grupos de acuerdo a sus características, a la textura y a la capacidad de infiltración que poseen, como se presenta en la siguiente tabla:

Orden	Suborden	Gran Grupo	Clasificación SCS
Entisoles	Orthents	Ustorthents	D
	Psamments	Torrripsamments	A
Inceptisoles	Andepts	Distrandepts	B
		Vitrandepts	A-B
	Tropepts	Dystropeps	B
Mollisoles	Udolls	Argiudolls	C-D
		Duriudolls	C-D
		Hapludolls	C
	Ustolls	Argiutolls	C
		Haplutolls	B
		Mollisol+Inceptisol	Udoll+Andept

Tabla 3.14. Clasificación de Suelos de las Cuencas según el SCS  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

De acuerdo a las consideraciones tomadas anteriormente se creó una tabla adaptada a las características de las cuencas en estudio y se presenta a continuación:

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características	Grupo del Suelo					
			A	A-B	B	C	C-D	D
Barbecho	> 3	R/N	16	12,75	9,5	7	6	5
	< 3	R/N	20	17	14	11	9,5	8
Cultivos en Hilera	> 3	R/N	24	19,25	14,5	9,5	8,25	7
	< 3	R/N	28	23,5	19	14	12,5	11
Cereales de Invierno	> 3	R/N	30,5	24,25	18	11	10	9
	< 3	R/N	34	27,5	21	14	13	12
70 % Páramo y 30% área con erosión	> 3	Buena	-	-	33	18	15,5	13
	< 3	Buena	-	-	-	22	18	14
Pasto cultivado, Pasto natural y Páramo	> 3	Muy Buena	-	-	41	22	18,5	15
	< 3	Muy Buena	-	-	-	25	20,5	16
Bosque plantado	> 3	Media	-	-	34	19	16,5	14
	< 3	Media	-	-	42	22	18,5	15
Bosque indiferenciado y Vegetación arbustiva		Media-Espesa	-	-	40,5	26,5	23	19,5
Bosques naturales		Espesa	-	-	47	31	27	23

Tabla 3.15. Valores del Parámetro Umbral de Escorrentía adaptado a las cuencas de los ríos Pita y San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

También existe otra tabla que sirve para determinar el umbral de escorrentía para otros tipos de terreno y es la siguiente:

Tipo de terreno	Pendiente (%)	Po (mm)
Rocas permeables	> 3	3
	< 3	5
Rocas impermeables	> 3	2
	< 3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

Tabla 3.16. Estimación del Parámetro Umbral de Escorrentía para otros Tipos de Terreno  
Fuente: Drenaje Superficial<sup>36</sup>

Las rocas son las superficies que más favorecen a la escorrentía y se dividen en dos grupos según la SCS:

- Rocas impermeables (pizarras, cuarcitas, granitos, etc.)
- Rocas permeables (calizas, dolomitas, conglomerados, etc.)

Las rocas impermeables son las lavas no fracturadas y las rocas permeables son las lavas fracturadas, los depósitos aluviales, entre otros.

Las rocas encontradas en las cuencas de los ríos Pita y San Pedro se clasificaron tomando en cuenta el Mapa Geológico<sup>37</sup>, y se indican a continuación:

Geología	Pendiente (%)	Área (m <sup>2</sup> )
Lh	< 3	7065349,977
	> 3	19469381,914
Qx	< 3	48153,927
	> 3	11033844,516
Pu	> 3	199286,015
Psn	> 3	2104965,484

Tabla 3.17. Clasificación de las rocas de la cuenca del Río Pita de acuerdo al Mapa Geológico<sup>38</sup>  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Geología	Pendiente (%)	Área (m <sup>2</sup> )
Pa	> 3	4343495,712
Pps	> 3	1911944,815

<sup>36</sup> Instrucción 5.2-IC "DRENAJE SUPERFICIAL", Apartado 2, Cálculo de los Caudales de Referencia, [www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic/apartados/2.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic/apartados/2.htm).

<sup>37</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A.5 Mapa Geológico, Sangolquí- Ecuador, 2005

<sup>38</sup> Propuesta del Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A.5 Mapa Geológico, Sangolquí- Ecuador, 2005.

(Lh)	< 3	85113,540
	> 3	47056,243

Tabla 3.18. Clasificación de las rocas de la cuenca del Río San Pedro de acuerdo al Mapa Geológico<sup>9</sup>  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Nota: Las rocas mencionadas en las tablas 4.14 y 4.15 son sólo las rocas que se encuentran expuestas.

Los términos empleados en las tablas 4.14 y 4.15 se explican a continuación:

- **Lahar (Lh):** Al norte de Sangolquí existe un depósito de espesor variable, comprendido entre de 0 a 4m de bloques, cantos y piedras en una matriz tobácea y sin estratificación, producida por varias erupciones del Volcán Cotopaxi.
- **Volcánicos Atacazo, Iliniza y Corazón (Pa):** Las rocas están expuestas únicamente en las partes más altas de los volcanes y en un cono parásito del Iliniza (Chaupi). Las pendientes más bajas están compuestas por cangagua. “Los volcanes están formados principalmente por flujos de lava andesítica, los picos del Iliniza parecen ser remanentes de un gran cráter, subsecuentemente destruido en gran escala, probablemente por actividad glaciar.”<sup>39</sup>
- **“Volcánicos del Cotopaxi (Qx):** El cono del volcán está formado por lavas y productos piroclásticos, el edificio se destaca en una vasta planicie formada por intensos lahares provenientes del mismo volcán. Existe un doble cráter, el interior y más joven se formó a principios del siglo, el exterior se formó sobre un antiguo volcán del que queda como remanente el pico Morourco en el flanco Sur.”<sup>10</sup>
- **Volcánicos del Rumiñahui (Pu):** En las partes más altas del Rumiñahui existen mayormente tobas de material andesítico cortadas por diques andesíticos. Las pendientes más bajas del Rumiñahui y las faldas occidentales del Pasochoa están cubiertas por cangagua.
- **Volcánicos Pasochoa (Pps):** “Se alinean conjuntamente con el volcán Ilaló a lo largo de una gran falla de dirección aproximada NS, se nota que los tres tienen sus calderas colapsadas hacia el Oeste. La masa rocosa de estos volcanes está constituida por andesitas piroxénicas, además se observa la existencia de filones de basalto que atraviesan en forma vertical y transversal a los estratos de lavas y piroclastos tanto en el uno como en el otro; son basaltos feldespáticos con pequeñas cantidades de olivino.”<sup>40</sup>
- **Volcánicos Sincholhua (Psn):** “Los Cerros Curiquingue y Maurarodeo sirven de unión entre los edificios más antiguos Sincholhua y Antisana, esta vieja estructura está conformada por andesitas piroxénicas con elevado porcentaje de cuarzo dando un tipo de roca relativamente ácida.

Andesíticas piroxénicas, anfibólicas son las rocas representativas de las actividades más modernas del volcán y parece que la presencia de bloques de dacitas es el testigo de la última fase de actividad volcánica.”<sup>11</sup>

<sup>39</sup> Propuesta de Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo D: Leyenda 1. Geología, Sangolquí Ecuador, 2005.

<sup>40</sup> Propuesta de Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pita y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo D: Leyenda 1. Geología, Sangolquí Ecuador, 2005.

De acuerdo a las características geológicas antes mencionadas se consideró a los depósitos de lahares como rocas impermeables y a las rocas volcánicas como rocas semi impermeables, es decir 50% permeables y 50% impermeables, porque no se conoce el estado de las mismas (si están o no fracturadas) y es preferible tomar un valor intermedio.

Los cultivos bajo invernadero, los cuerpos de agua y las áreas de nieve y hielo se consideraron como terrenos impermeables por lo que se asumió el valor de las rocas impermeables.

Las zonas urbanas se consideraron como adoquinados con el objetivo de tomar un valor intermedio entre el tipo de terreno firme granular sin pavimento y el pavimento bituminoso o de hormigón, debido a se tiene diferentes tipos de calles en dichas zonas urbanas.

Por lo tanto tienen los siguientes valores del Parámetro Umbral de Escorrentía (Po):

Tipo de terreno	Pendiente (%)	Po (mm)
Rocas volcánicas (lavas andesíticas, andesita piroxénicas, filones de basalto, etc.)	> 3	2,5
	< 3	4,5
Depósitos de lahares	> 3	2
	< 3	4
Cultivos bajo invernadero, cuerpos de agua y áreas de nieve y hielo	> 3	2
	< 3	4
Zonas Urbanas	1,5	

Tabla 3.19. Valores del Parámetro Umbral de Escorrentía adaptados a las cuencas de los ríos Pita y San Pedro  
Fuente: Adaptado de Drenaje Superficial <sup>41</sup>

Para determinar el Po de cada cuenca, se utilizó el Mapa de Suelos, Pendientes, Uso Actual y Cobertura Vegetal<sup>42</sup>, que contiene unidades que poseen un único tipo de uso actual, cobertura vegetal, suelo y pendiente. Se calculó el porcentaje que corresponde a cada unidad con respecto al área total, se calificó el Po de acuerdo a las Tabla 4.12 y 4.16 y se multiplicó dichos valores. Por último se sumó los valores productos de la multiplicación y se obtuvo el Po total.

El proceso para obtener el Po de cada cuenca se encuentra en los anexos. Anexo C15 y C16. Cálculo del Parámetro Umbral de Escorrentía de la Cuenca del Río Pita hasta la Estación Pita A.J. Salto y hasta el sitio de estudio. C17 y C18. Cálculo del Parámetro Umbral de Escorrentía de la Cuenca del Río San Pedro hasta la Estación San Pedro en Machachi y hasta el sitio de estudio.

En la siguiente tabla se indica los valores de Po:

Nombre de la Cuencas	Po (mm)
Pita AJ Salto	23,27
Pita	24,78
San Pedro en Machachi	28,42
San Pedro	26,91

Tabla 3.20. Valores del Po para las cuencas del río Pita y del San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los valores de Po (mm) y de Pd (mm) fueron reemplazados en la Ecuación 4.4 y se obtuvo los siguientes valores del coeficiente de escorrentía (C) para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años:

<sup>41</sup> Instrucción 5.2-IC "DRENAJE SUPERFICIAL", Apartado 2, Cálculo de los Caudales de Referencia, [www.carreteros.org/normativa/drenaje/5\\_2ic/apartados/2.htm](http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic/apartados/2.htm).

<sup>42</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.2.1 Determinación de los Parámetros Físicas y Morfológicos de las Cuencas Hidrográficas, Mapa de Suelos, Pendientes, Uso Actual y Cobertura Vegetal, pág. 11 y 12.

Nombre de la Cuencas	Pd <sub>10</sub>	Po	C
Pita AJ Salto	60,45	23,27	0,221
Pita	61,87	24,78	0,209
San Pedro en Machachi	49,91	28,42	0,115
San Pedro	55,68	26,91	0,157

Tabla 3.21. Valores de Pd, Pd y C para un periodo de retorno de 10 años  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Nombre de la Cuencas	Pd <sub>50</sub>	Po	C
Pita AJ Salto	84,66	23,27	0,328
Pita	86,28	24,78	0,313
San Pedro en Machachi	64,72	28,42	0,183
San Pedro	68,67	26,91	0,216

Tabla 3.22. Valores de Pd, Pd y C para un periodo de retorno de 50 años  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Nombre de la Cuencas	Pd <sub>100</sub>	Po	C
Pita AJ Salto	95,5	23,27	0,369
Pita	100,41	24,78	0,364
San Pedro en Machachi	71,48	28,42	0,212
San Pedro	74,78	26,91	0,242

Tabla 3.23. Valores de Pd, Pd y C para un periodo de retorno de 100 años  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Una vez obtenidos los datos necesarios para desarrollar la Ecuación 4.2, se calculó el caudal máximo  $\left(m^3/s\right)$  en los sitios de estudio para las cuencas de los ríos Pita y San Pedro. Los datos se presentan en la siguiente tabla:

Estación	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
Pita	223,110	338,126	398,749
San Pedro	148,062	184,877	201,475

Tabla 3.24. Valores de Caudales Máximos para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años de los ríos Pita y San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## MÉTODOS INDIRECTOS

Los métodos indirectos se utilizan cuando no existen datos de caudales máximos en una estación, por lo que se los determina a través de intensidades máximas de precipitación y de los parámetros físicos y morfométricos de la cuenca.

Para las cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás se utilizó el modelo de lluvia-escorrentía que se fundamenta en el hidrograma unitario sintético, el mismo que está considerado en el modelo de generación de caudales HYMO desarrollado por el INCYTH (Centro Regional Andino).

El programa utiliza los siguientes datos de entrada:

- Tiempo de concentración de la cuenca en horas ( $T_c$ ).
- Área de la cuenca en  $\text{km}^2$  ( $A$ ).
- Número hidrológico (CN).
- Desnivel ( $H_t$ )
- Longitud del cauce principal en km ( $L$ ).
- Curva de precipitaciones dada en mm.

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración denominada número de curva de escorrentía.

La escorrentía está en función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número hidrológico de la curva de escorrentía (CN). Este método es aplicable para cuencas menores a  $250 \text{ km}^2$  y se puede aplicar para conocer la escorrentía mensual y generar mapas de isolíneas de precipitación.

### Número hidrológico (CN):

El número hidrológico se determina a través de la tabla de Números de la Curvas de Esguerrimiento para las diferentes combinaciones de Suelo-Vegetación creada por el SCS. Esta tabla está en función del uso del suelo y la cubierta vegetal de la cuenca, métodos de cultivos, condiciones de infiltración y grupo hidrológico del suelo. Además es necesario conocer las condiciones precedentes de precipitación que son:

- Condición I: Terreno casi seco
- Condición II: Terreno en condiciones medias de humedad
- Condición III: Terreno casi saturado

Para analizar caudales máximos siempre se debe considerar que la cuenca se encuentra en condiciones medias de humedad, para que el agua de lluvia pueda escurrir y producir caudales máximos. Por lo tanto, se considera que la cuenca se encuentra en la Condición II.

Para determinar el CN se debe empleó la siguiente tabla:

Uso del suelo y cubierta	Método o tratamiento	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Hileras rectas	-	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras rectas	Mala	72	81	88	91
	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
	Por líneas de nivel	Mala	70	79	84	88
	Por líneas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Terrazas a Nivel	Mala	66	74	80	82
	Terrazas a Nivel	Buena	62	71	78	81
Granos pequeños (Cereales)	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Por líneas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Por líneas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Terrazas a Nivel	Mala	61	72	79	82
	Terrazas a Nivel	Buena	59	70	78	81
Legumbres tupidas (sembrados juntos al boleó) o rotación en pradera	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
	Hileras rectas	Buena	58	72	81	85
	Por líneas de nivel	Mala	64	75	83	85

	Por líneas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Terrazas a Nivel	Mala	63	73	80	83
	Terrazas a Nivel	Buena	51	67	76	80
Pradera o pastizal	-	Mala	68	79	86	89
	-	Regular	49	69	79	84
	-	Buena	39	61	74	80
	Por líneas de nivel	Mala	47	67	81	88
	Por líneas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Por líneas de nivel	Buena	6	35	70	79
Pradera permanente	-	-	30	58	71	78
Bosque (Lotes de bosques)	-	Mala	45	66	77	83
	-	Regular	36	60	73	79
	-	Buena	25	55	70	77
Caminos de tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos pavimentados (Incluye el derecho de vía)	-	-	74	84	90	92

Tabla 3.25. Número de las Curvas de Escurrimiento para las diferentes combinaciones Suelo-Vegetación para cuencas en Condición II  
Fuente: Apuntes Curso de Drenaje de Obras Viales<sup>43</sup>

- **Uso del suelo y cubierta vegetal**

El Mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal<sup>44</sup> de las cuencas hidrográficas tiene varias unidades que están asociados el tipo de uso de suelo y la vegetación, por lo que se dividió el área de acuerdo al porcentaje. Por ejemplo, si existe un área de 10.000 m<sup>2</sup> de la unidad 70% Bosque plantado y 30% Cereales, se obtendría 7.000 m<sup>2</sup> de Bosque plantado y 3.000 de Cereales.

Por otro lado, se adaptó dicho mapa a la Tabla 4.22, donde se agrupó dentro del barbecho a las áreas erosionadas o en proceso de erosión, dentro de los cultivos en hilera a los cultivos de ciclo corto como son la papa y el maíz, dentro de los granos pequeños a los cereales como son la cebada, trigo y avena, dentro de la pradera o pastizal al páramo, al pasto natural y al pasto cultivado, dentro de bosques al bosque natural, al bosque plantado, al bosque indiferenciado y a la vegetación arbustiva, dentro de caminos de tierra al área erosionada, a los afloramientos rocosos, gravas y minas; y por último dentro de los caminos pavimentados a los cultivos bajo invernadero, a la nieve y el hielo, a los cuerpos de agua y a la zona urbana.

- **Método o tratamiento**

Para conocer el tratamiento o método de cultivo de la cubierta vegetal de las cuencas se realizó una consulta a profesionales del MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y a algunos ingenieros agrónomos con experiencia en dichas zonas. Por consiguiente, se determinó que:

- Los cultivos en hileras se siembran en hileras rectas y por curvas de nivel; en la tabla se debe tomar valores intermedios entre estos dos métodos de cultivo.

<sup>43</sup> Apuntes Curso de Drenaje de Obras Viales, Dirección General de Obras Públicas- MOP, Sociedad Argentina de Estudios (SAE), Edición Previa, Parte I, Buenos Aires- Argentina, 1980, pág. 44.

<sup>44</sup> Propuesta de Plan de Manejo de las Cuencas de los ríos Pífa y San Pedro, Diana María Hernández Caicedo y Daniel Enrique Lara Buenaño, Anexo A6: Mapa de Uso Actual y Cobertura Vegetal, Sangolquí Ecuador, 2005.

- Los granos pequeños se siembran al boleó; por lo que se sacó un valor intermedio entre curvas de nivel y terrazas a nivel, ya que estos métodos se asemejan al boleó.
- El pasto cultivado se siembra al boleó; en la tabla se escogió los valores que no tienen método de cultivo.
- Los árboles se siembran en hileras, pero como en la tabla no hay un método de cultivo se usó dichos valores.

Cubierta Vegetal		Método
Cultivos en Hileras		Hileras Rectas
		Curvas de Nivel
Granos pequeños (Cereales)		Curvas de Nivel
		Terrazas a Nivel
Pradera o pastizal	Pastor cultivado	-
Bosques	Bosque plantado	-

Tabla 3.26. Métodos de Cultivos de la cobertura vegetal de las cuencas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

- **Condición para la infiltración**

La condición de infiltración mala, regular y buena dada en la Tabla 4.22 se refiere a la densidad de la cobertura vegetal, ya que ésta ayuda a que el agua se infiltre o quede retenida en el follaje de la vegetación impidiendo la escorrentía.

Para la cobertura vegetal de las cuencas se consideró lo siguiente:

Cubierta Vegetal		Método	Condición de infiltración
Cultivos en Hileras		Hileras Rectas	Buena
		Curvas de Nivel	Mala
Granos pequeños (Cereales)		Curvas de Nivel	Buena
		Terrazas a Nivel	Mala
Pradera o pastizal	Pastor cultivado	-	Regular/Buena
	Pastor natural	-	Buena
	Páramo	-	Buena
Bosques	Bosque plantado	-	Regular
	Bosque indiferenciado	-	Regular/Buena
	Vegetación arbustiva	-	Regular/Buena
	Bosque natural	-	Buena

Tabla 3.27. Condición de infiltración para la Cobertura Vegetal de las cuencas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Si la cubierta vegetal se encuentra entre dos tipos de infiltración se toma el valor medio entre los dos.

- **Grupo Hidrológico del Suelo**

Se usa la misma clasificación detallada en el acápite 4.1.1.2. Determinación de Caudales Máximos de Crecida, Método estadístico, Grupo de suelo.

Existen algunos suelos que pertenecen a dos grupos hidrológicos, por lo que se determina un promedio entre los dos grupos. Por ejemplo, si tenemos una unidad de bosque que tiene una

condición de infiltración buena, con un suelo Vitrandepts que tiene una clasificación A-B según la SCS, se debe tomar el valor de A (25) y de B (55) y sacar un promedio (40); como se indica en la siguiente tabla:

Uso del suelo y cubierta	Tratamiento o método	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo		
			A	B	A-B
Bosque (Lotes de bosques)	-	Mala	45	66	55,5
	-	Regular	36	60	48
	-	Buena	25	55	40

Tabla 3.28. Cálculo del CN para el Grupo Hidrológico del Suelo A-B  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

De acuerdo a las consideraciones tomadas anteriormente, con respecto a la Tabla 4.22, se obtuvo una nueva tabla adaptada a las características de las cuencas y se indica a continuación:

Uso del suelo y Cobertura Vegetal	Grupo hidrológico del suelo					
	A	A-B	B	C	C-D	D
Barbecho	77	81,5	86	91	92,5	94
Cultivos en Hileras	68,5	73,5	78,5	84,5	86,5	88,5
Granos pequeños	61	66	71	80	81,5	83
Pasto cultivado	44	54,5	65	76,5	79,25	82
Pasto natural	39	50	61	74	77	80
Páramo	39	50	61	74	77	80
Bosque plantado	36	48	60	73	76	79
Bosque indiferenciado	30,5	44	57,5	71,5	74,75	78
Vegetación arbustiva	30,5	44	57,5	71,5	74,75	78
Bosque natural	25	40	55	70	73,5	77
Afloramientos rocosos, gravas y minas	72	77	82	87	88	89
Áreas erosionadas	72	77	82	87	88	89
Cultivos bajo invernadero	74	79	84	90	91	92
Cuerpos de agua	74	79	84	90	91	92
Nieve y Hielo	74	79	84	90	91	92
Zona urbana	74	79	84	90	91	92

Tabla 3.29. Números de la curva de Escurrimiento para las cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás.  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Para determinar el número hidrológico de cada cuenca, se usó el Mapa de Suelos, Uso Actual y Cobertura Vegetal<sup>45</sup>, donde cada unidad tiene un solo tipo de uso de suelo, cobertura vegetal y tipo de suelo. Se determinó el porcentaje que corresponde cada unidad con respecto al área total, se calificó el CN de acuerdo a la Tabla 4.26 y se multiplicó estos valores. Por último, se sumó estos valores y se obtuvo el CN total.

Gran Grupo	CSC	Uso	Descripción	% Área	CN	% AREA x CN
Dystrandept	B	Cc	Cultivos de ciclo corto	0,013	78,5	1,038
Hapludoll	C	Cc	Bosque natural	0,183	70	12,803
Haplustoll	C	Pc	Pasto cultivado	0,804	76,5	61,497
Vitrandept	A-B	Ci	Granos pequeños	0,156	66	10,273

<sup>45</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.2.1 Determinación de los Parámetros Físicos y Morfológicos de las Cuencas Hidrográficas, Mapa de Suelos, Uso Actual y Cobertura Vegetal, pág. 9.

---

**CN TOTAL**

85,610

Tabla 3.30. Ejemplo para calcular el valor de CN  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

El proceso para obtener el CN de cada cuenca se encuentra en los anexos. Anexo C19, C20, C21 y C22. *Cálculo del Número Hidrológico para las Cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás.* En la siguiente tabla se indica los valores de CN para las cuencas del río Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás:

Nombre de la Cuenca	CN
Santa Clara	73.993
Sambache	66.129
Tinajillas	84.979
San Nicolás	76.499

Tabla 3.31. Valores de CN para las cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

### **Curvas de precipitación:**

Como parámetro fundamental en los datos de entrada del programa, se considera la distribución espacial de intensidades de lluvia ( $I_{TR}$ ) en las cuencas.

Las cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás están ubicadas en la zona 13 y tienen las siguientes ecuaciones:

Duración	Ecuación
5 min < 36 min	$I_{TR} = 76.96 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.2953}$
36 min < 1440 min	$I_{TR} = 642.11 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.8898}$

Tabla 3.32. Ecuaciones de Intensidad de Lluvia representativas de la Zona 13  
Fuente: Estudio de Lluvias Intensas <sup>46</sup>

Anexo E8. *Mapa de Zonificación de Intensidades de Precipitación de las cuencas de los ríos Pita y San Pedro.*

Para determinar la intensidad de precipitación promedio de las cuencas se debe emplear la Ecuación 4.7.

Con esto se obtuvo el valor de  $I_{TR}$  para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años como se indica a continuación:

Nombre de la Cuenca	$Id_{10}$	$Id_{50}$	$Id_{100}$
Santa Clara	2,73	3,33	3,87
Sambache	2,65	3,28	3,82
Tinajillas	2,90	3,29	3,66
San Nicolás	2,75	3,26	3,72

---

<sup>46</sup> Estudio de Lluvias Intensas, Ing. Luis Rodríguez Fiallos, Ministerio de Energía y Minas, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador, 1999.

Tabla 3.33. Valores de  $I_{d_{TR}}$  para las cuencas

Fuente: Rebeca Bravo Prado

Con las ecuaciones zonales y en función del tiempo de concentración correspondientes a cada una de las cuencas, se determinó las curvas de precipitación para periodos de retorno de 50 y 100 años, con los siguientes pasos:

- Fijar la duración de la lluvia  $D > T_c$
- Dividir el tiempo de concentración para 5:  $\Delta t = \frac{T_c}{5}$
- Calcular las intensidades (I) con las ecuaciones para cada  $\Delta t$ .
- Calcular las precipitaciones multiplicando  $\Delta t$  por las intensidades.
- Calcular los incrementos de precipitación  $\Delta P$  entre los intervalos de  $\Delta t$ .
- Reordenar los incrementos  $\Delta P$  trasponiendo el periodo más lluvioso (inicial) ubicándolo hacia la mitad de la tormenta.
- Calcular la precipitación acumulada sumando los incrementos  $\Delta P$ .

Anexos C23, C24, C25 y C26. Análisis de Precipitación de las Cuencas de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás.

Como datos de salida del programa se obtiene el caudal máximo para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Anexo A11, A12, A13 y A14. Reporte del Programa HYMO para el cálculo de Caudal Máximo de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Los caudales máximos ( $m^3/s$ ) se indican en la tabla a continuación:

Nombre de la cuenca	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>100</sub>
Santa Clara	41,4	67,8	95,0
Sambache	10,9	22,5	34,5
Tinajillas	4,2	5,2	6,2
San Nicolás	32,6	48,0	63,3

Tabla 3.34. Valores de Caudales Máximos para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años

Tabla 3.35. de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás

Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES MÁXIMOS DE CRECIDA

Para la determinación de los niveles máximos de crecida se empleó el Mapa de Perfiles, el cual sirve para calcular curvas de descarga con la ayuda del programa HYMO.

Este programa usa los siguientes datos de entrada:

- Número de segmentos en que se divide los perfiles transversales.
- Cota mínima del perfil transversal.
- Cota máxima del perfil transversal.
- Pendiente del cauce del río
- Pendiente de la planicie inundable.
- Valores de n y distancia en metros de los segmentos.
- Coordenadas de distancia y cota del perfil.

**Número de segmentos en que se divide los perfiles transversales**

Estos segmentos se tomaron en función de los diferentes valores de rugosidad de Manning (n) que contienen los lugares donde se trazaron los perfiles. Se admiten hasta 6 segmentos por perfil, con diferentes valores de n, y no menos de 3.

### **Cota mínima y cota máxima del perfil vertical**

Son las cotas mínimas y máximas de los puntos trazados en el perfil. La cota mínima indica la elevación con respecto al nivel del mar del espejo de aguas del río y la cota máxima indica la elevación más alta del perfil, la cual tiene que ser mayor a la cota de inundación obtenida en el trabajo de campo.

### **Pendiente del cauce del río y de la planicie inundable**

Se determinó la pendiente del río a través de la variación de curvas de nivel y las distancias del río entre dichas curvas. Se tomó una distancia mínima de 50 metros aguas arriba y 50 metros aguas abajo del sitio donde se trazó el perfil transversal para determinar la pendiente del río. Se asumió que la pendiente del cauce era igual a la pendiente de la planicie inundable.

### **Valores de n y distancia en metros de los segmentos**

Para determinar los valores de n se realizó un reconocimiento en campo de los sitios donde se establecieron los perfiles con el fin de indicar las características de las zonas cercanas a los ríos, y se determinó en campo el material del lecho del río.

Para la aplicación del valor de n se usó la siguiente tabla:

<b>Tipo de material</b>	<b>n</b>
Viviendas	0,120
Bosque	0,100
Viviendas escasas y vegetación densa	0,075
Arbustos densos	0,070
Arbustos y llano	0,060
Llano medio alto y maleza	0,050
Cantos rodados grandes	0,046
Cantos rodados medianos	0,043
Cantos rodados pequeños	0,041
Cantos rodados pequeños y arena	0,040
Talud de tierra con raíces	0,038
Tierra de relleno	0,035
Llanos	0,030
Construcción de hormigón	0,013

Tabla 3.36. Coeficientes de rugosidad de Manning  
Fuente: Estudios de Modelación Hidráulicos<sup>47</sup>

Si las características de las zonas aledañas al río o el material del lecho se encontraban entre dos tipos de materiales se tomó el valor promedio de los dos. Los valores del lecho del río deben ir precedidos por el signo menos.

1.1.1 <sup>47</sup> Estudios de Modelación, Hidráulicos, Aplicación del modelo hec ras a los ríos en estudio, <http://rai.ucuenca.edu.ec/proyectos/margenes/informe5/modelo%20hec%20ras.html>

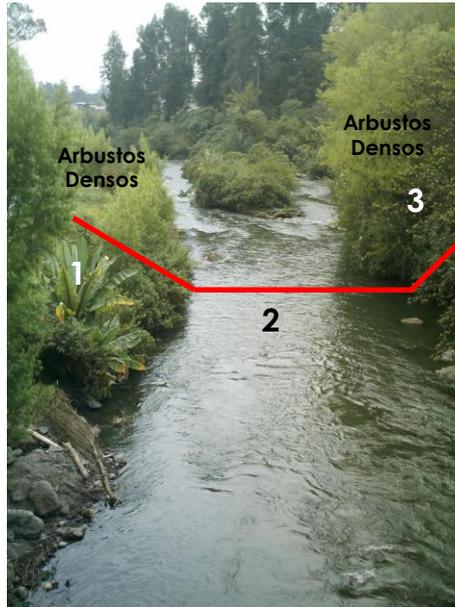


Foto 4.1. Perfil Transversal al Río San Pedro  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Se ingresa la distancia en metros desde el punto que se toma como origen de coordenadas de la sección (0, cota inicial), hasta donde termina el segmento que tiene el valor de  $n$ .

Por ejemplo:

Valores de $n$	Distancia (m)
0,50	200
-0,43	210
0,12	300

Tabla 3.37. Ejemplo para la determinación de las distancias y los valores de  $n$   
Fuente: Rebeca Bravo Prado

La tabla indica que se dividió al perfil en tres segmentos. El primer segmento va desde el origen del perfil 0 m hasta los 200 m de distancia (orilla derecha del río) donde el valor de  $n$  es de 0,05, que corresponde a llano medio alto y maleza. El segundo segmento va desde los 200 m hasta los 210 metros (ancho del río) y tiene un valor de -0,043, es decir el lecho del río esta conformado por cantos rodados medianos. Por último, el tercer segmento esta comprendido entre los 210 m hasta los 300 m (orilla izquierda del río) y tiene un valor de  $n$  de 0,12, lo que significa que existen viviendas cerca del río.

### **Coordenadas de distancia y cota del perfil**

Son las coordenadas de distancia y elevación del perfil transversal. Entre estos puntos deben estar incluidos los que limitan los segmentos de diferentes valores de  $n$ . En el programa se admite el ingreso de hasta 40 puntos.

Como datos de salida del programa se obtuvo las cotas, las áreas hidráulicas y los caudales que sirven para determinar la curva de descarga. Anexo A13. Reporte del Programa HYMO de la Curva de Descarga del perfil 1 del Río Santa Clara.

### **Curvas de Descarga y caudal máximo de crecida**

Se ingresó los valores de los caudales y de las cotas en Excel con el fin de realizar una gráfica que represente la curva de descarga. Anexo B14, B15, B16, B17, B18 y B19. Curvas de Descarga de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro.

Una vez realizadas las gráficas de las curvas de descarga para los diferentes perfiles trazados en los ríos, se interpoló el valor del caudal máximo de crecida de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, con el objetivo de obtener las respectivas cotas de inundación. Éstas se redondearon al número decimal superior.

Para una mejor comprensión de lo antes expuesto se va a realizar un ejemplo. A continuación se muestra una tabla que contiene los datos de salida y la curva de descarga graficada en Excel:

Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)
0	2535,00
5,472	2535,37
18,773	2535,74
38,699	2536,11
65,437	2536,47
100,358	2536,84
144,212	2537,21
197,490	2537,58
260,673	2537,95

Tabla 3.38. Valores de caudales y cotas de la curva de descarga del Río Santa Clara en el perfil 1  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

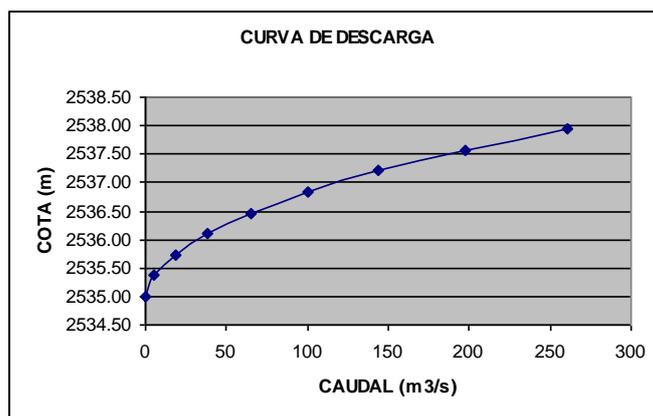


Figura 1.30. Curva de descarga del Río Santa Clara en el perfil 1  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

El caudal máximo de crecida del río Santa Clara para un periodo de retorno de 10 años es de 41,4 (m<sup>3</sup>/s), el caudal para un periodo de retorno de 50 años es de 67,8 (m<sup>3</sup>/s) y el caudal para un periodo de retorno de 100 años es de 95,0(m<sup>3</sup>/s). Como los caudales máximos no coinciden con los mostrados en la tabla, éstos se tuvieron que interpolar en la curva de descarga como indica la siguiente figura:

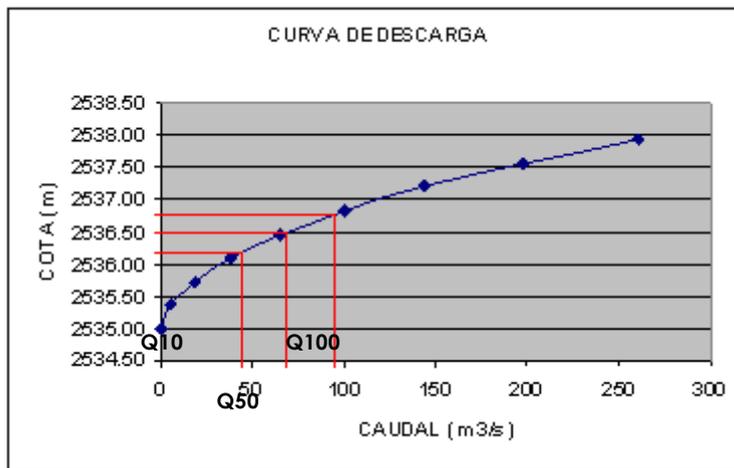


Figura 1.31. Interpolación de los valores de Caudal, en la Curva de descarga, para determinar la Cota de Inundación del Río Santa Clara en el perfil 1  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Se coloca en el eje de las X los caudales del río Santa Clara y se traza una recta perpendicular hasta que se interseque con la curva de descarga, y desde esa intersección se traza una recta perpendicular al eje Y para determinar la cota de inundación para los diferentes periodos de retorno. Para este ejemplo, la cota de inundación para un periodo de retorno de 50 años es 2536,50 m y para un periodo de retorno de 100 años es 2536,80 m.

Los valores de las cotas de inundación obtenidos se presentan en los anexos, donde se presentan además, las cotas dadas en las encuestas realizadas a los moradores de los sectores aledaños a los ríos y en el caso del Río Pita, las cotas de inundación obtenidas son del estudio titulado "La Crecida Hidrológica del Río Pita ocurrida el 24 de marzo de 1997"<sup>48</sup>. Anexo C9. Cotas de Inundación de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Las cotas de inundación calculadas en su mayoría coinciden con los datos de las encuestas. Los datos que no coinciden se deben a una mala percepción de las personas encuestadas o a que el caudal de crecida corresponde a un periodo de retorno diferente al calculado en este Proyecto de Tesis.

## DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA

Para generar el mapa de amenazas de inundaciones se delimitó tres zonas con diferente grado de exposición a la amenaza, detalladas a continuación:

**AMENAZA ALTA:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno de 10 años, causado por fenómenos naturales o antrópicos, con una duración, caudal y velocidad que pueden causar efectos dañinos graves.

**MEDIANA AMENAZA:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno 50 años, causado por fenómenos naturales o antrópicos, con una duración, caudal y velocidad que pueden causar efectos dañinos moderados.

<sup>48</sup> La Crecida Hidrológica del Río Pita ocurrida el 24 de marzo de 1997, Escuela Politécnica del Ejército, 1997.

**BAJA AMENAZA:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno de 100 años.

## DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

### MÉTODOS PARA DETERMINAR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

Existen varios métodos para determinar la probabilidad de ocurrencia de las inundaciones, los cuales se indican a continuación:

### CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA INUNDACIÓN PARA OBRAS VIALES

En el documento Apuntes Curso de Drenaje de Obras Viales, elaborado por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, para determinar la probabilidad de que una crecida ocurra una vez en  $N$  años en un periodo de retorno dado, se emplea la siguiente ecuación:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^N \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde:

$J$  = Probabilidad de que una crecida ocurra una vez en  $N$  años

$N$  = Periodo de años dentro de los cuales se puede producir una crecida

$Tr$  = Periodo de retorno

En base a la ecuación antes citada se elaboró la siguiente tabla:

TR	N	1	5	10	25	50	100	200	500
		PROBABILIDAD J							
	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	2	0,5	0,97	0,999	*	*	*	*	*
	5	0,2	0,67	0,89	0,996	*	*	*	*
	10	0,1	0,41	0,65	0,93	0,995	*	*	*
	50	0,02	0,10	0,18	0,40	0,64	0,87	0,98	-
	100	0,01	0,05	0,10	0,22	0,40	0,63	0,87	0,993
	200	0,005	0,02	0,05	0,12	0,22	0,39	0,63	0,92

Tabla 3.39. Probabilidad de que un Evento de un intervalo determinado de recurrencia se igualado o excedido, durante periodos de diversas longitudes.

Fuente: Apuntes Curso de Drenaje de Obras Viales<sup>49</sup>

**Nota:** Los valores que poseen un asterisco no son exactamente 1, pero para propósitos prácticos pueden ser tomados como la unidad.

Se debe tomar en cuenta que para obras viales se considera que la destrucción de un tramo de camino o su inundación durante un periodo de tiempo, por falta de obras de

<sup>49</sup> Apuntes Curso de Drenaje de Obras Viales, Dirección General de Obras Públicas- MOP, Sociedad Argentina de Estudios (SAE), Edición Previa, Parte I, Buenos Aires- Argentina, 1980, pág. 12.

drenaje es un riesgo admisible, y que en términos generales no produce pérdidas de vidas humanas o provoca perjuicios económicos excepcionales.

### **CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA INUNDACIÓN SEGÚN LA USGS Y LA EPA**

USGS y la EPA (por sus siglas en inglés, United States Geological Survey y Environmental Protection Agency, respectivamente) usan una tabla para determinar la probabilidad de ocurrencia de una inundación en un periodo de retorno dado, y es la siguiente:

<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Probabilidad de recurrencia, en cualquier año</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia en cualquier año dado (%)</b>
100	1 en 100	1
50	1 en 50	2
25	1 en 25	4
10	1 en 10	10
5	1 en 5	20
2	1 en 2	50

Tabla 3.40. Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia de una inundación según USGS y la EPA  
Fuente: La Ciencia del Agua para Escuelas<sup>50</sup>

Esto significa que una inundación con un periodo de retorno de  $N$  años tiene un porcentaje de probabilidad determinado de que ocurra en un año en específico. Por ejemplo, la probabilidad de que ocurra en un año una inundación que tiene un caudal para un periodo de retorno de 100 años, es de 1 en 100.

### **CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UNA INUNDACIÓN SEGÚN DATOS HISTÓRICOS**

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de una inundación se necesita datos históricos de caudales máximos registrados durante un periodo de tiempo. Estos datos se procesan mediante métodos estadísticos. Por ejemplo, si se tiene una serie de datos hidrológicos recolectados durante un periodo de 50 años, se debe determinar primero cual es el mayor caudal registrado y de ahí establecer cual es la probabilidad de que éste caudal se iguale o se supere en un número determinado de años.

Debido a la inexistencia de datos históricos para los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás, y a la escasa cantidad de datos históricos de los ríos Pita y San Pedro no se puede usar este método.

### **SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA CALCULAR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA**

Como se espera contar con un sistema de alerta temprana en caso de crecidas hidrológicas de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, la pérdida de vidas humanas sería nula y los daños económicos no serían excepcionales. Por lo tanto, se va a emplear la Tabla 4.35 para calcular la probabilidad de ocurrencia de acuerdo al método para obras viales.

<sup>50</sup> Preguntas y Respuestas sobre Agua: Información y medidas del agua, La Ciencia del Agua para Escuelas, USGS y EPA, <http://water.usgs.gov/gofita/qausgs.html>.

Se considera que el periodo de años ( $N$ ) es igual a 10, debido a que la zona de amenaza alta se determinó en función de un periodo de retorno de 10 años. Por consiguiente la probabilidad de ocurrencia de que se produzca una inundación en los lugares aledaños a los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, con un caudal máximo de crecida igual o superior al mostrado en las Tablas 4.21 y 4.31, para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, es la siguiente:

Zonas de Amenazas	Periodos de Retorno (años)	Probabilidad de ocurrencia
Amenaza Alta	10	65%
Amenaza Media	50	18%
Amenaza Baja	100	10%

Tabla 3.41. Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia de una Inundación  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD

Al igual que la amenaza, se definió tres zonas de peligrosidad las cuales se detalla a continuación:

**ALTA PELIGROSIDAD:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno de 10 años, causado por fenómenos naturales o antrópicos, con una duración, caudal y velocidad que pueden causar efectos dañinos graves. Esta zona tiene la probabilidad de estar inundada por lo menos una vez cada 10 años, es decir tiene el 65% de probabilidad de ocurrencia.

**MEDIANA PELIGROSIDAD:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno 50 años, causado por fenómenos naturales o antrópicos, con una duración, caudal y velocidad que pueden causar efectos dañinos moderados. Esta zona tiene el 18% de probabilidad de que una inundación con un periodo de retorno de 50 años se produzca en 10 años consecutivos.

**BAJA PELIGROSIDAD:** Es la zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del río calculado para el caudal de crecida para un periodo de retorno de 100 años, causado por fenómenos naturales o antrópicos, con una duración, caudal y velocidad que pueden causar efectos dañinos moderados. Esta zona tiene el 10% de probabilidad de que una inundación con un periodo de retorno de 100 años se produzca en 10 años consecutivos.

## ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA

### DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

La variable vulnerabilidad de la construcción, tanto en el ámbito de las inundaciones como de los incendios (para este Proyecto de Grado), se la determinará en función de ciertas características constructivas. Como el trabajo de evaluar todas las construcciones de la ciudad sería demasiado extenso, ya que se enlazaron 23.278 centroides de la construcción

a la base de datos del Departamento de Catastro<sup>51</sup>, se procederá a realizar un muestreo estadístico con un nivel de confianza adecuado.

Lo primero que se requiere, entonces, es determinar el tamaño de la muestra, para lo que se trabajará con un nivel de confianza  $1 - \alpha = 0,95$ . Como la variable a determinar, que es la vulnerabilidad de la construcción, es de naturaleza intangible, se utilizará la fórmula de tamaño de muestra para variables cualitativas, con la condición de población finita (23.278).

$$n = \frac{N \hat{\Pi} (1 - \hat{\Pi}) \left( z_{\alpha/2} \right)^2}{(N - 1)\tau^2 + \hat{\Pi} (1 - \hat{\Pi}) \left( z_{\alpha/2} \right)^2} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Tamaño de la población

$\hat{\Pi}$  = Estimación de probabilidad o proporción poblacional

$z_{\alpha/2}$  = Factor de confianza, obtenido de la tabla de Distribución normal estandarizada para

un nivel de confianza  $1 - \alpha$

$\alpha$  = Nivel de confianza

$\tau$  = Error permitido o tolerado en el proceso

Una vez que se haya determinado el tamaño de la muestra  $n$ , se procederá a comprobar la condición de población finita, dada por  $\frac{n}{N} > 0,05$ .

El tamaño de la población es  $N = 23.278$ .

La estimación de probabilidad depende del número de posibles resultados que puede tener la variable vulnerabilidad, como se espera tener tres zonas de vulnerabilidad (alta, mediana y baja), la estimación de la probabilidad es la siguiente  $\hat{\sigma} = \frac{1}{3} = 0,333$ .

Con el nivel de confianza de 0,95 se procede al calcular el valor de  $\alpha/2$ :

$$1 - \alpha = 0,99$$

$$\alpha = 0,01$$

$$\alpha/2 = 0,005$$

Por lo tanto el valor de  $z_{\alpha/2}$  obtenido de la tabla es 2,576.

<sup>51</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.6 Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones, pág. 39.

El error tolerado en el procedo va a ser del 5%, es decir  $\tau = 0,05$

Reemplazando estos valores en la Ecuación 4.9 da como resultado que el tamaño de muestra es 575,211.

Por consiguiente, no cumple la condición para ser finita:

$$\frac{575,211}{23.278} > 0,05$$
$$0,025 > 0,05$$

Para calcular el tamaño de muestra se debe usar la ecuación para variables cualitativas con población infinita.

$$n = \frac{\Pi \cdot (1 - \Pi) \cdot z_{\alpha/2}^2}{\tau^2} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Donde:

$n$  = Tamaño de la muestra

$N$  = Tamaño de la población

$\hat{\Pi}$  = Estimación de probabilidad o proporción poblacional

$z_{\alpha/2}$  = Factor de confianza, obtenido de la tabla de Distribución normal estandarizada para

un nivel de confianza  $1 - \alpha$

$\alpha$  = Nivel de confianza

$\tau$  = Error permitido o tolerado en el proceso

Esta ecuación se reemplaza con los mismos valores empleados en la Ecuación 4.9, por lo tanto, el tamaño de la muestra es 589,769.

El tamaño de la muestra indica que se debe evaluar la vulnerabilidad de 590 construcciones. Se va a emplear el método de distribución en forma aleatoria de la muestra para no sesgar la información.

Se enlazó la Base de Datos Catastral<sup>52</sup> con la cartografía base de la ciudad de Sangolquí<sup>53</sup> según la metodología usada en el Capítulo III<sup>54</sup>, con el fin de determinar el número de construcciones que poseen la información de los materiales empleados en la estructura y en los acabados, los cuales van a servir para evaluar la vulnerabilidad de la construcción. Así, quedaron 5.609<sup>55</sup> construcciones, de esta forma, se superó al tamaño de la muestra calculado anteriormente.

## ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción está compuesta esencialmente por la estructura y por los acabados.

<sup>52</sup> Capítulo III, acápite 3.3.2.3 Base de Datos de Departamento de Catastro, pág. 51.

<sup>53</sup> Capítulo III, acápite 3.2.1 Cartografía Base de la ciudad de Sangolquí, pág. 20 y 21.

<sup>54</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.6 Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones, pág. 39-41.

<sup>55</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.6 Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones, pág. 39.

La estructura es la parte principal de la construcción, es la que soporta su peso propio, la carga viva (personas, mobiliario, maquinaria, entre otros), las fuerzas de viento y las fuerzas sísmicas. Dentro de la estructura están contemplados los cimientos, la mampostería soportante, las columnas, las vigas, el entrepiso, las paredes, la cubierta y las escaleras. A continuación se hará una explicación breve de los componentes de la estructura:

**Cimientos:** Es la base de la estructura, la que recibe el peso y las cargas de la construcción y la transmite al suelo. Por lo general, puede ser de piedra, pilotes, hormigón armado y en pequeñas edificaciones de hormigón ciclópeo.

**Mampostería soportante:** Puede ser de adobe, piedra, hormigón armado, ladrillo o bloque, este último especialmente diseñado para absorber cargas. La mampostería se diferencia de las paredes de relleno en que absorben por lo menos 1/3 de la carga del edificio, el mismo que esta exento de columnas.

**Columnas:** Son las que reciben la carga de las vigas, losas y entrepisos. Las columnas se asientan en la planta baja en los cimientos. Pueden ser de hormigón armado, de estructura metálica o madera.

**Vigas:** Las vigas pueden ser inferiores (cadena de amarre), intermedias o superiores, éstas dos últimas sirven como apoyo del entrepiso, sea cual fuere el material de éste. Pueden ser de hormigón armado, de estructura metálica o madera.

**Entrepiso:** Es la división entre el nivel inferior y el superior de una construcción. Pueden ser de madera, madera- ladrillo, hierro o de hormigón armado.

**Paredes:** Sirven para dividir o limitar los diferentes ambientes de una construcción. Deben estar unidos a las columnas. Pueden ser de varios materiales: caña, adobe-tapia, bahareque, madera, bloque, prefabricados, ladrillo, etc.

**Cubierta:** Es la parte superior de la construcción. La cubierta debe ser impermeable. Pueden ser de varios materiales como paja, zinc, teja, madera- ladrillo, asbesto cemento, hormigón armado, losa, estilpanel, entre otros.

**Escaleras:** Deben tener su propia cimentación y encontrarse unidas a los entrepisos. Existen escaleras internas, externas y de emergencia. Puede ser de ladrillo, madera, hierro y hormigón armado.

Los acabados son los componentes o materiales que le dan la apariencia a la construcción. Dentro de los acabados están los pisos, las puertas, las ventanas, los vidrios, los enlucidos, la pintura, los baños, la cocina, los clósets, la cerrajería, el tumbado y los elementos decorativos. A continuación se hará una explicación breve de los acabados que se va a evaluar para la vulnerabilidad:

**Pisos:** Pueden ser de tierra, ladrillo, cemento, baldosa, tabla, parquet vinil, mármol, entre otros materiales.

**Puertas:** Pueden ser de madera, hierro, aluminio, etc.

**Ventanas:** Son los marcos de las ventanas y están hechos de fibra de vidrio, madera, hierro y aluminio.

**Enlucidos:** Son los recubrimientos interiores y exteriores, verticales o horizontales de paredes, losas y entrepisos.

**Pintura:** Es la capa que recubre por lo general el enlucido, o en ocasiones cubre directamente a las paredes, losas y entrepisos.

**Clóset:** Son los armarios que están empotrados en las paredes. Pueden ser de madera, hierro y aluminio.

**Tumbado:** Es el cielo raso de un entrepiso o de la cubierta.

**Elementos decorativos:** Son los que adornan a la construcción dándole mayor vistosidad o alegría. Tales como chimeneas, revestimientos especiales de las paredes en madera, paredes decorativas, entre otros.

A continuación se presenta una explicación de los compuestos que forman ciertos de los materiales poco comunes que se nombraron anteriormente:

**Hormigón ciclópeo:** Está compuesto por hormigón y piedras grandes que están encofrados.

**Hormigón armado:** Está compuesto por hormigón (mezcla de ripio, cemento, agua y la arena) y hierro.

**Bahareque:** Es un material usado para construir las paredes de una construcción, ésta compuesto por tierra mezclada compactada con paja.

**Tapial:** Es tierra compactada usada para construir las paredes de una construcción.

**Adobe:** Son ladrillos de tierra hechos al horno que sirve para construir las paredes.

**Asbesto cemento:** Es la unión de asbesto con cemento que se usa para elaborar planchas en tumbados, cubiertas o paredes.

**Estilpanel:** Es una cubierta hecha de aluminio y zinc.

**Calcimina:** Es cal viva que sirve para preparar la pintura.

**Graniplast:** Es un compuesto hecho de cemento blanco, colorantes, piedras pequeñas de vidrio, cemento y pegantes, que sirve como recubrimiento para interiores y especialmente para exteriores.

**Estuco:** Es la mezcla de yeso, carrizo y otros materiales que se utiliza para la elaboración de cielos rasos falsos por lo general.

Los materiales empleados en la construcción están codificados en la tabla 4.2 llamada Principales materiales empleados en la construcción/bloque perteneciente a la Ficha Predial Urbana del Departamento de Catastros. Esta tabla tiene tres divisiones: estructuras, acabados e instalaciones, ésta última categoría no se va a emplear. Cada elemento que conforma las estructuras y los acabados, tiene los respectivos materiales que se emplean para construirlos, los cuales están colocados en nueve casilleros, numerados del 0 al 8. No todos los elementos de la construcción tienen nueve tipos de materiales. Anexo A1. *Ficha Predial Urbana del Departamento de Catastros.*

## EVALUACIÓN DE LA VUNERABILIDAD SEGÚN EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO

Para determinar la vulnerabilidad de la construcción se va a elaborar un modelo que ayude a conocer cuales de los elementos de la estructura y de los acabados de la construcción afectan en mayor o menor grado a su vulnerabilidad.

La vulnerabilidad es un criterio de naturaleza intangible al igual que la salud, el bienestar, el confort, la corrupción, entre otros. El Proceso Analítico Jerárquico (AHP en sus siglas en inglés por Analytic Hierarchy Process) propone una metodología especialmente útil para este efecto, ya que se basa en el principio de la experiencia y el conocimiento de los actores o especialistas en el tema. Por esta razón se va a emplear el AHP, que es un método matemático de decisión multicriterio propuesto por el Dr. Thomas Saaty, el cual permite sistematizar y ordenar varios criterios, estructurando los atributos de una variable en forma jerárquica.

Para aplicar este método, primero se debe identificar todos las variables que intervienen en el proceso de toma de decisiones y también los niveles en que estos pueden ser agrupados en forma jerárquica; por lo que se debe estructurar en niveles jerárquicos el problema, es decir se debe identificar el objetivo principal, los criterios, subcriterios y alternativas como se presenta en la siguiente figura:

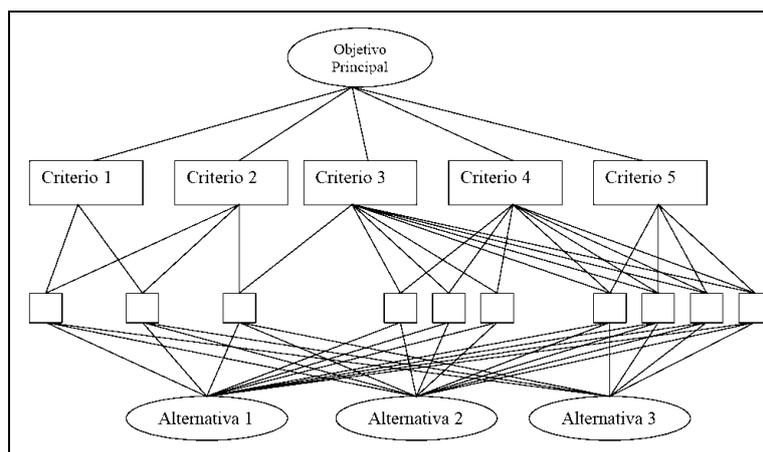


Figura 1.32. Árbol de Problemas  
Fuente: La toma de Decisiones con Múltiples Criterios <sup>56</sup>

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realiza las comparaciones de pares ordenados entre dichos elementos (criterios, subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señalados por los especialistas.

“Para estas comparaciones se utiliza escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9”<sup>57</sup> Esta escala se indica en la siguiente tabla:

Escala numérica	Escala Verbal	Escala Verbal
1	Igual importancia de	Los dos elementos contribuyen de

<sup>56</sup> La toma de Decisiones con Múltiples Criterios: Un resumen conceptual teórico, Ramiro Sánchez L., CEPLAG-UMSS, <http://www.umss.edu.bo/Academia/Centros/Ceplag/ResuMCDA.PDF>.

<sup>57</sup> El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los Usos de las Tierras, el caso de Brasil, Ruth Maritza Ávila Mogollón, Proyecto Regional “Información sobre tierras ya aguas para un desarrollo agrícola sostenible” (Proyecto GCP/RLA/126/JPN), Santiago - Chile, 2000.

	ambos elementos	igual forma al objetivo
3	Moderada importancia de un elemento sobre el otro.	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un elemento sobre el otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre el otro	Uno de los elementos es fuertemente favorecido
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre el otro	Uno de los electos es fuertemente dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre el otro	Uno de los elementos es el de mayor orden de afirmación
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados para juicios intermedios

Tabla 3.42. Escala de Saaty  
Fuente: Adaptado de La toma de Decisiones con Múltiples Criterios<sup>58</sup>

Los especialistas deben calificar cada criterio en una matriz asignándole el valor numérico de la escala de Saaty de acuerdo a su conocimiento y experiencia, como se indica en la siguiente matriz:

<b>Criterios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>C<sub>n</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub>	...	C <sub>1</sub> /C <sub>n</sub>
<b>C<sub>2</sub></b>	C <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	1	...	C <sub>2</sub> /C <sub>n</sub>
<b>...</b>	...	...	1	...
<b>C<sub>n</sub></b>	C <sub>n</sub> /C <sub>1</sub>	C <sub>n</sub> /C <sub>2</sub>	...	1

Tabla 3.43. Matriz de Comparación de los Criterios  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>59</sup>

En esta matriz los criterios (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, ..., C<sub>n</sub>) están ubicados en la primera columna y primera fila. Las demás celdas son para hacer las comparaciones entre los criterios, es decir en la segunda columna se comparan los criterios desde C<sub>1</sub> hasta C<sub>n</sub>, con respecto a C<sub>1</sub>, en la tercera columna se comparan los criterios desde C<sub>1</sub> hasta C<sub>n</sub>, con respecto a C<sub>2</sub>, y así sucesivamente. Los valores de la diagonal principal son igual a uno, ya que es el resultado de comparar cada criterio consigo mismo. Los valores de las celdas que están sobre la diagonal principal son igual al inverso de los valores que están bajo la misma.

Una vez obtenida la matriz de comparación, se calcula el autovector (W) de la siguiente manera:

<b>Criterios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>C<sub>n</sub></b>	<b>W<sub>i</sub></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub>	...	C <sub>1</sub> /C <sub>n</sub>	$W_1 = (1 * C_1/C_2 * \dots * C_1/C_n)^{1/n}$
<b>C<sub>2</sub></b>	C <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	1	...	C <sub>2</sub> /C <sub>n</sub>	$W_2 = (C_2/C_1 * 1 * \dots * C_2/C_n)^{1/n}$
<b>...</b>	...	...	1	...	...
<b>C<sub>n</sub></b>	C <sub>n</sub> /C <sub>1</sub>	C <sub>n</sub> /C <sub>2</sub>	...	1	$W_n = (C_n/C_1 * C_n/C_2 * \dots * 1)^{1/n}$

Tabla 3.44. Matriz de Cálculo del Autovector  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>38</sup>

Por lo tanto, el autovector es igual al producto de las comparaciones realizadas por fila, elevado al inverso del número de criterios que participan en la evaluación. De esta forma se da prioridad a los criterios.

<sup>58</sup> La toma de Decisiones con Múltiples Criterios: Un resumen conceptual teórico, Ramiro Sánchez L., CEPLAG-UMSS, <http://www.umss.edu.bo/Academia/Centros/Ceplag/ResuMCDA.PDF>.

<sup>59</sup> Elaboración y Aplicación de una Guía Metodológica para el Manejo Integral de los Recursos Naturales en la cuenca Hidrográfica del Río Santiaguillo, Rosa Gabriela Regalado León y Paúl Eduardo Peñafiel Lozada, Sangolquí-Ecuador, 2005, pág.34 y 35.

Además de los autovectores, se calcula los pesos parciales ( $w$ ), los cuales son igual a la suma de las comparaciones realizadas por columna.

<b>Criterios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>C<sub>n</sub></b>	<b>W</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	$C_1/C_2$	...	$C_1/C_n$	$W_1$
<b>C<sub>2</sub></b>	$C_2/C_1$	1	...	$C_2/C_n$	$W_2$
<b>...</b>	...	...	1	...	...
<b>C<sub>n</sub></b>	$C_n/C_1$	$C_n/C_2$	...	1	$W_n$
<b>w</b>	$w_1 = 1 + C_2/C_1 + \dots + C_n/C_1$	$w_2 = C_1/C_2 + 1 + \dots + C_n/C_2$	...	$w_3 = C_1/C_n + C_2/C_n + \dots + 1$	$W = W_1 + W_2 + \dots + W_n$

Tabla 3.45. Matriz de Cálculo de los pesos parciales y del autovector final  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>60</sup>

El autovector se debe normalizar de manera que la suma de los autovectores sea igual a 1. Por lo tanto, se divide los pesos parciales ( $W_1, W_2, \dots, W_n$ ), para la suma de los autovectores ( $W$ ), dando como resultado los autovectores normalizados ( $T_1, T_2, \dots, T_n$ ). Los valores de los autovectores normalizados son los pesos de los criterios.

<b>Criterios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>C<sub>n</sub></b>	<b>W</b>	<b>T</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	$C_1/C_2$	...	$C_1/C_n$	$W_1$	$T_1 = W_1/W$
<b>C<sub>2</sub></b>	$C_2/C_1$	1	...	$C_2/C_n$	$W_2$	$T_2 = W_2/W$
<b>...</b>	...	...	1	...	...	...
<b>C<sub>n</sub></b>	$C_n/C_1$	$C_n/C_2$	...	1	$W_n$	$T_n = W_n/W$
<b>w</b>	$w_1$	$w_2$		$w_3$	$W_i$	$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = 1$

Tabla 3.46. Matriz de Normalización del Autovector o Matriz de Pesos  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>31</sup>

Es importante evaluar la consistencia de la matriz de pesos para determinar que tan bien equilibrado está el peso de un criterio con respecto a los demás. Para lo cual se calcula el vector lambda ( $\lambda$ ) mediante la multiplicación de los autovectores normalizados por los pesos parciales de cada criterio. La suma de estos productos es el vector lambda máximo ( $\lambda_{m\acute{a}x}$ ).

<b>Criterios</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>C<sub>n</sub></b>	<b>W</b>	<b>T</b>	<b><math>\lambda</math></b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1	$C_1/C_2$	...	$C_1/C_n$	$W_1$	$T_1$	$\lambda_1 = T_1 * W_1$
<b>C<sub>2</sub></b>	$C_2/C_1$	1	...	$C_2/C_n$	$W_2$	$T_2$	$\lambda_2 = T_2 * W_2$
<b>...</b>	...	...	1	...	...	...	...
<b>C<sub>n</sub></b>	$C_n/C_1$	$C_n/C_2$	...	1	$W_n$	$T_n$	$\lambda_n = T_n * W_n$
<b>w</b>	$w_1$	$w_2$		$w_3$	$W_i$	1	$\lambda_{m\acute{a}x} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = n$

Tabla 3.47. Matriz de Cálculo del Vector Lambda  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>31</sup>

Si la matriz es consistente el valor del vector lambda máximo debe ser igual al número de criterios que intervinieron en la evaluación ( $\lambda_{m\acute{a}x} = n$ ).

Los cambios pequeños en la valoración de los criterios generan cambios de igual magnitud en el vector lambda máximo. La desviación de este vector con respecto al número de

<sup>60</sup> Elaboración y Aplicación de una Guía Metodológica para el Manejo Integral de los Recursos Naturales en la cuenca Hidrográfica del Río Santiaguillo, Rosa Gabriela Regalado León y Paúl Eduardo Peñafiel Lozada, Sangolquí-Ecuador, 2005, pág.35 y 36.

criterios evaluados es una desviación de consistencia, y se la conoce como índice de consistencia (CI). Se calcula de la siguiente manera:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Donde:

$CI$  = Índice de Consistencia

$\lambda_{\max}$  = Vector lambda máximo

$n$  = Número de criterios evaluados

Existe otro índice de consistencia llamado índice de consistencia aleatoria (RCI), realizado por Saaty, el cual se obtuvo mediante el promedio de una muestra de 500 matrices positivas, para un número de hasta 16 criterios.

n	RCI	n	RCI	n	RCI	n	RCI
1	0	5	1,12	9	1,45	13	1,54
2	0	6	1,24	10	1,49	14	1,58
3	0,58	7	1,32	11	1,51	15	1,59
4	0,90	8	1,41	12	1,55	16	1,61

Tabla 3.48. Valores del Índice de Consistencia Aleatoria  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005 <sup>61</sup>

Algunos autores sugieren la siguiente estimación para el RCI:

$$RCI = \frac{1,98 \cdot (n - 2)}{n} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Donde:

$RCI$  = Índice de Consistencia Aleatorio

$n$  = Número de criterios evaluados

Con estos dos índices se calcula la relación de consistencia (CR) mediante la siguiente expresión:

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Donde:

$CI$  = Índice de Consistencia

$RCI$  = Índice de Consistencia Aleatorio

<sup>61</sup> Elaboración y Aplicación de una Guía Metodológica para el Manejo Integral de los Recursos Naturales en la cuenca Hidrográfica del Río Santiaguillo, Rosa Gabriela Regalado León y Paúl Eduardo Peñafiel Lozada, Sangolquí-Ecuador, 2005, pág.36.

Criterios	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	...	C <sub>n</sub>	W	T	λ	CI	CR
C <sub>1</sub>	1	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub>	...	C <sub>1</sub> /C <sub>n</sub>	W <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	λ <sub>1</sub>	$\frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$	$\frac{CI}{RCI}$
C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> /C <sub>1</sub>	1	...	C <sub>2</sub> /C <sub>n</sub>	W <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	λ <sub>2</sub>		
...	...	...	1	...	...	...	...		
C <sub>n</sub>	C <sub>n</sub> /C <sub>1</sub>	C <sub>n</sub> /C <sub>2</sub>	...	1	W <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>	λ <sub>n</sub>		
W	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>		w <sub>3</sub>	W <sub>i</sub>	1	n		

Tabla 3.49. Matriz de Cálculo del Índice de Consistencia y de la Relación de Consistencia  
Fuente: Rosa Regalado y Paúl Peñafiel, 2005<sup>62</sup>

Si la relación de consistencia es menor o igual que 0,10 esto significa que la consistencia es razonable y que los juicios realizados por los especialistas están adecuados, es decir se puede usar los valores de prioridad obtenidos (matriz de pesos). Si la relación de consistencia es mayor a 0,10 esto significa que los criterios son inconsistentes y se los debe verificar.

En este caso el problema a evaluar es la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones y los criterios son los elementos que forman parte de la misma, como son: cimientos, mampostería soportante, columnas, vigas, entepiso, paredes, cubiertas, escaleras, pisos, puertas, ventanas, vidrios, enlucido, pintura, baños, cocina, closet, cerrajería tumbado y elementos decorativos. Se realizó una evaluación general de la vulnerabilidad de cada elemento de la construcción sin analizar el tipo de material que se empleó para construirlo.

Para la calificación de los criterios se realizó tres matrices de comparación de criterios, para lo cual se consultó a algunos especialistas relacionados con el tema de la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones. Se consultó a un Ingeniero Civil, especialista en Estructuras, a un ingeniero Geólogo, especialista en Riesgos y a mi persona.

*Anexo C27. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones realizada por el Ingeniero Civil, especialista en Estructuras. Anexo C28. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones realizada por el Ingeniero Geólogo, especialista en Riesgos. Anexo C29. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones realizada por la Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.*

El especialista es quien decide cuales de los elementos de la construcción (criterios) intervienen en la vulnerabilidad según su conocimiento y experiencia. No es necesario emplear todos los criterios.

Cada uno de los especialistas comparó los criterios según la Escala de Saaty. Posteriormente, se determinó el autovector, el autovector normalizado (pesos de los criterios), el vector lambda, el índice de consistencia, el índice de consistencia aleatorio y la relación de consistencia para determinar cuál de estas matrices se va a emplear para crear el modelo de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones.

Los valores de la relación de consistencia de cada una de las matrices son los siguientes:

Especialista	Relación de Consistencia
Ing. Civil, especialista en Estructuras	0,08
Ing. Geólogo, especialista en Riesgos	0,11

<sup>62</sup> Elaboración y Aplicación de una Guía Metodológica para el Manejo Integral de los Recursos Naturales en la cuenca Hidrográfica del Río Santiaguillo, Rosa Gabriela Regalado León y Paúl Eduardo Peñafiel Lozada, Sangolquí-Ecuador, 2005, pág.37.

Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente	0,11
--	------

Tabla 3.50. Relación de Consistencia de la Matriz AHP elaborada por cada Especialista  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los pesos de los criterios que se va a emplear en el modelo son los de la matriz elaborada por el Ing. Civil, ya que tienen una relación de consistencia menor a 0,10.

Criterios	Pesos
Cubiertas	0,012
Vigas	0,013
Entrepiso	0,013
Columnas	0,018
Escaleras	0,022
Cimientos	0,023
Tumbado	0,025
Mampostería Soportante	0,046
Ventanas	0,048
Paredes	0,068
Enlucido	0,077
Pisos	0,125
Puertas	0,159
Close	0,164
Pintura	0,186

Tabla 3.51. Pesos de los Criterios obtenidos de la Matriz AHP  
Fuente: Guido Bravo Cortés, Ing. Civil, especialista en Estructuras

Por lo tanto, la ecuación del modelo de la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones es la siguiente:

$$V_{INUNDACIONES} = 0,012 \cdot Cub + 0,013 \cdot (Vig + Ent) + 0,018 \cdot Col + 0,022 \cdot Esc + 0,023 \cdot Cim + 0,025 \cdot Tumb + 0,046 \cdot Mamp + 0,048 \cdot Ven + 0,068 \cdot Par + 0,077 \cdot Enl + 0,125 \cdot Piso + 0,159 \cdot Puer + 0,164 \cdot Clos + 0,186 \cdot Pint \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Donde:

$V_{INUNDACIONES}$  = Vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones

$Cub$  = Peso del criterio Cubierta

$Vig$  = Peso del criterio Viga

$Ent$  = Peso del criterio Entrepiso

$Col$  = Peso del criterio Columna

$Esc$  = Peso del criterio Escaleras

$Cim$  = Peso del criterio Cimientos

$Tumb$  = Peso del criterio Tumbado

$Mamp$  = Peso del criterio Mampostería Soportante

$Ven$  = Peso del criterio Ventanas

$Par$  = Peso del criterio Paredes

$Enl$  = Peso del criterio Enlucidos

$Piso$  = Peso del criterio Pisos

$Puer$  = Peso del criterio Puertas

*Clos* = Peso del criterio Closet

*Pint* = Peso del criterio Pintura

## CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION SEGÚN SU VULNERABILIDAD

Se clasificó los materiales empleados en la construcción según su grado de vulnerabilidad (de menor a mayor) frente a inundaciones. Para lo cual se creó una escala que va del 0 al 9, donde el 0 significa que no existe vulnerabilidad y el 9 significa una máxima vulnerabilidad frente a una inundación.

Se realizó una regla de tres, relacionando los pesos de los criterios (tabla) con la escala de 0-9. Por lo tanto, los materiales de los elementos de la construcción que menor vulnerabilidad tienen son las cubiertas, las vigas y los entresijos; y los materiales de mayor vulnerabilidad son los pisos, puertas, clóset y pinturas.

Los materiales se ubicaron en esta escala de acuerdo al grado de resistencia al agua. Es decir, mientras más resistentes son al agua son menos vulnerables cuando hay una inundación y viceversa. Por ejemplo, si se clasifican en orden de vulnerabilidad (de menor a mayor) a los materiales empleados en la construcción de las columnas, primero es el hormigón armado, seguido del aluminio, la madera y la caña.

La escala de vulnerabilidad de los materiales empleados en la construcción frente a inundaciones se muestra en los anexos.

*Anexo C30. Escala de Vulnerabilidad de los Materiales empleados en la Construcción frente a Inundaciones.*

## CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Para calcular la vulnerabilidad de la construcción se debe reemplazar los valores dados en la escala correspondiente al material empleado en la Ecuación 4.14, para obtener así los valores de vulnerabilidad particulares para cada tipo de material empleado en la construcción de la estructura y de los acabados.

Lo antes expuesto se va a explicar con el siguiente ejemplo de una construcción tomada de la base de datos del Departamento de Catastros:

### ESTRUCTURA

Cimientos  
Mampostería Soportante  
Columnas  
Vigas  
Entrepiso  
Paredes

Código	Material	Escala	Pesos	Vulnerabilidad
3	H. Armado	0,5	0,023	0,012
0	No tiene	0	0,046	0
3	H. Armado	0,5	0,018	0,009
2	H. Armado	0,5	0,013	0,006
4	H. Armado	0,5	0,013	0,006
6	Ladrillo	3	0,068	0,205

Cubiertas	6	Losa H. Armado	0,5	0,012	0,006
Escaleras	4	H. Armado	0,5	0,022	0,011
		<b>Subtotal</b>			0,256
<b>ACABADOS</b>					
	<b>Código</b>	<b>Material</b>	<b>Escala</b>	<b>Pesos</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
Pisos	5	Parquet Vinil	6,5	0,125	0,810
Puertas	4	Metálicas	3,5	0,159	0,556
Ventanas	3	Hierro	3,5	0,048	0,167
Enlucido	3	Arena-Cemento	3	0,077	0,231
Pintura	4	Óleo	6,5	0,186	1,207
Close	1	Madera Común	6	0,164	0,987
Tumbado	5	Arena-Cemento	3	0,025	0,076
		<b>Subtotal</b>			4,035
		<b>Total</b>			4,291

Tabla 3.52. Cálculo de la Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

En la primera columna se indican los elementos de la construcción, en la segunda columna se indica el código empleado en la Ficha Predial Urbana, en la tercera columna el nombre del material que corresponde al código, en la cuarta columna el valor de la escala que le corresponde a ese material, en la quinta los pesos de los elementos de la construcción (criterios) y en la sexta columna la vulnerabilidad de cada elemento de la construcción dado por la multiplicación entre el valor de la escala por el peso.

Se hizo una división entre la estructura y los acabados de la construcción en este ejemplo solo por comodidad, ya que en la base de datos del Departamento de Catastros los códigos se encuentran ubicados en campos diferentes, es decir existe un campo con un código de 8 dígitos para la estructura y otro campo con un código de 12 dígitos para los acabados.

Se sumó las vulnerabilidades de los elementos que forman parte de la estructura más los elementos que forman parte de los acabados de la construcción y se obtuvo la vulnerabilidad total de la construcción.

Este cálculo se realizó de forma automática en ArcView, determinando así, la vulnerabilidad de todas las construcciones dadas en el muestreo frente a inundaciones.<sup>63</sup>

Se realizó varios ejemplos con diferentes tipos de construcción (construcciones con estructura de hormigón armado, estructura de hierro, estructura de madera y estructuras mixtas), los cuales permitieron realizar ajustes en los criterios y en la escala con el fin de obtener valores más reales de la vulnerabilidad frente a inundaciones. Los valores de los criterios mostrados en la Tabla 4.47 y la escala mostrada en los anexos son los definitivos.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para evaluar el riesgo derivado de inundaciones se debe usar la siguiente ecuación:

$$R = P \times V \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Donde:

<sup>63</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.6 Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción, pág. 22-24.

*R* = Riesgo  
*P* = Peligrosidad  
*V* = Vulnerabilidad

Para lo cual se va a multiplicar el Mapa de Peligrosidad de Inundaciones por el Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones según la metodología usada en el Capítulo III.<sup>64</sup>

*Anexo E16. Mapa de Riesgo derivado de Inundaciones de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.*

## EVALUACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE FENÓMENOS ANTRÓPICOS

### EVALUACIÓN DEL RIESGO DERIVADO DE INCENDIOS

#### IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

En la ciudad de Sangolquí existen lugares de amenaza de incendios, como son: distribuidoras y centros de acopio de gas, estaciones de servicio, ferreterías, locales de pinturas, lubricadoras e industrias. A pesar de que estos lugares deben cumplir con normas de seguridad para minimizar su peligro, éste no se descarta.

Se realizó visitas a los lugares mencionados con el fin de conocer la cantidad y el tipo de combustibles que poseen, cómo son y en qué condiciones están las instalaciones eléctricas, si poseen o no equipo contra incendios como extintores (cantidad, tipo y estado), hidrantes de agua cercanos al lugar y sistemas detectores de incendios. *Anexo A16. Ficha de Captura de Información para Incendios.*

Con las visitas de campo se constató que existen 9 estaciones de servicio, 8 distribuidoras de gas, un centro de acopio de gas, 25 lubricadoras, 8 locales de pinturas, 18 ferreterías y 35 industrias; en total existen 104 lugares de amenaza de incendio en Sangolquí. Se conoció la cantidad aproximada y el tipo de combustible que posee cada uno de estos lugares. En el caso de las industrias, además, se conoció cuáles son los materiales que producen, entre los cuales están: fibras sintéticas, prendas de vestir, calzado, muebles, alimentos, filtros para vehículos, plásticos, productos derivados del asfalto, municiones, entre otros.

La gran mayoría de estos lugares posee instalaciones eléctricas internas y en buen estado; sólo una mecánica (tomada como lubricadora, porque trabaja con lubricantes) tiene las instalaciones eléctricas externas y en mal estado.

Todas las estaciones de servicio poseen equipo contra incendio con el fin de cumplir la exigencia de las normas de seguridad. Tienen extintores de acuerdo a la necesidad (CO<sub>2</sub>, PQS, Agua, etc.) y están ubicados en diferentes lugares como en las islas cerca de los surtidores que expenden gasolina, oficinas, tiendas, restaurantes, entre otros. No existen hidrantes de agua cercanos a ninguna de las estaciones de servicio. De las 9 estaciones de servicio; 4 de ellas tienen tomas de agua con alta presión y mangueras para tener un mayor alcance, una tiene una cisterna con agua, otra no tiene agua y las dos restantes no se conoce si posee o no agua. Sólo una de las estaciones de servicio cuenta con un sistema detector de incendios ubicado en las oficinas.

---

<sup>64</sup> Capítulo III, acápite 3.3.1.1.7 Mapa de Riesgo derivado de Inundaciones, pág.42 y 43.

De las 8 distribuidoras de gas, una no posee extintores. No existen hidrantes de agua cercanos a estos lugares. La mayoría de estas distribuidoras de gas se encuentran ubicadas en los patios de las casas de los dueños del negocio, y ninguna de éstas cuenta con un sistema detector de incendios.

El centro de acopio de gas Rumiñahui si posee extintores, pero no tiene ningún hidrante de agua cerca. Los tanques de gas se encuentran en un lugar con bastante aireación cubiertos por un techo, por lo que no se necesita de un sistema detector de incendios.

La mayoría de lubricadoras poseen extintores, por lo general se encuentran ubicados en los locales, en las bodegas y en los talleres, sólo cinco de éstas no poseen extintores. Existen sólo dos hidrantes de agua cercanos a las lubricadoras. Ninguna de las lubricadoras tiene un sistema detector de incendios.

Cinco de los ocho locales de pinturas poseen extintores, los cuales están ubicados, por lo general, en la parte frontal del local y en la bodega. Existe un solo hidrante cercano a los locales. Ninguno de éstos cuenta con un sistema detector de incendios.

De las 18 ferreterías, cinco de éstas no poseen extintores. Las ferreterías que poseen extintores, por lo general, ubican los mismos en la parte frontal del local y en la bodega. Existen tres hidrantes de agua cercanos a las ferreterías. Sólo una de éstas tiene un sistema detector de incendios.

Todas las industrias poseen extintores. No existe ningún hidrante municipal cercano a las industrias, pero siete de éstas tienen tomas de agua alrededor de la fábrica. De las 35 industrias, siete tienen sistemas detectores de incendios en las bodegas donde se encuentra acumulada la materia prima y los productos, y en los lugares donde se encuentra almacenado el combustible.

A continuación se muestra una tabla que resume lo antes mencionado:

Lugares de amenaza	Extintores		Hidrantes de Agua cercanos		Detector de Incendios	
	Si	No	Si	No	Si	No
Estaciones de Servicio	9	-	-	9	1	8
Distribuidoras de Gas	6	2	-	8	-	8
Centros de Acopio de Gas	1	-	-	1	-	1
Lubricadoras	20	5	2	23	-	25
Locales de Pinturas	5	3	1	7	-	8
Ferreterías	10	8	3	15	2	16
Industrias	35	-	-	35	13	22

Tabla 3.53. Equipo contra Incendios según las Fuentes de Amenaza  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

El equipo contra incendio puede ayudar en caso de un incendio pequeño, pero si se produce un incendio grande o una explosión en los lugares de amenaza, se necesita conocer cual sería el área de afectación alrededor de este lugar.

## CÁLCULO DEL ÁREA DE AFECTACIÓN

Para determinar el área de afectación producida por un incendio se va a emplear la siguiente tabla que permite conocer el impacto espacial que se tendrá en función del combustible almacenado en el lugar de amenaza:

Nivel de peligro decreciente	Fuentes de Amenazas		Impacto espacial	
	Almacenamiento de gas*	Almacenamiento de combustibles líquidos*	Radio nivel de alto peligro (m)	Radio nivel de peligros moderado a bajo ( m)
Nivel 1	15000 m <sup>3</sup> (Itulcachi)	No representado	500	1500
Nivel 2	No representado	No representado	400	1200
Nivel 3	800-3500 m <sup>3</sup>	80000 m <sup>3</sup> (El Beaterio)	300	900
Nivel 4	50-100 m <sup>3</sup>	5000 m <sup>3</sup> (Itulcachi)	200	600
Nivel 5	15-50 m <sup>3</sup>	50-120 m <sup>3</sup>	100	300
Nivel 6	5-10 m <sup>3</sup>	20-50 m <sup>3</sup>	50	150

Tabla 3.54. Distancias consideradas para la elaboración del mapa de amenazas vinculadas a la presencia de combustibles

Fuente: La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito<sup>65</sup>

\* **Nota:** No se consideraron los lugares de almacenamiento de menos de 5 m<sup>3</sup> de gas y de menos de 20 m<sup>3</sup> de combustibles líquidos.

Esta tabla fue elaborada por D'Ercole y Metzger con el fin de generar el *Mapa de exposición del DMQ a amenazas relacionadas con la presencia de productos peligrosos*, es por eso que las fuentes de amenaza están relacionadas a los lugares de almacenamiento de combustibles del Distrito Metropolitano de Quito. Las distancias (radios de nivel de peligro alto y de moderado a bajo) adoptadas en relación a las fuentes de amenaza fueron determinados en base a las siguientes fuentes de información:

- “Las distancias que fueron afectadas al producirse accidentes en diferentes países y los perímetros de protección establecidos alrededor de los establecimientos peligrosos;
- El uso de la versión en software (Canutec Ergo V 2.5) de la Guía Norteamericana de Emergencia en Casos de Emergencia, versión 2000, que proporciona informaciones para operativos de emergencia durante la fase inicial de un incidente relacionado con materiales peligrosos y ofrece en particular una tabla de aislamiento inicial y distancias de acción protectora, distancias útiles para salvaguardar a la población en las áreas de derrame que involucran materiales peligrosos de diversos tipos;
- Las conclusiones de entrevistas a expertos, en especial en la Fundación Natura.”<sup>1</sup>

Se clasificaron los combustibles líquidos y gaseosos encontrados en los lugares de amenaza con el fin de tener un volumen total de los mismos. Por lo tanto, se usó la Guía Norteamericana de Respuesta en Casos de Emergencia, versión 2000, para clasificar a los combustibles según las características químicas y toxicológicas similares que poseen. La clasificación se indica a continuación:

<sup>65</sup> La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Robert D'Ercole y Pascale Metzger, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Institut de Recherche pour le Développement, 2004, pág. 75.

Lugares de Amenaza	Tipo de combustible	Clasificación	Número de Guía
Estaciones de Servicio y Gasolineras	Gasolina	Líquidos inflamables (No polar/No mezclables con agua)	Guía 128
	Diesel		
	Aceites		
Distribuidoras y Centros de acopio de gas	Gas Licuado de Petróleo (GLP)	Gases inflamables (Incluyendo líquidos refrigerados)	Guía 115
Lubricadoras	Aceites	Líquidos inflamables (No polar/No mezclables con agua)	Guía 128
Locales de Pinturas y Ferreterías	GLP	Gases inflamables (Incluyendo líquidos refrigerados)	Guía 115
	Oxígeno Comprimido	Gases Oxidantes (Incluyendo líquidos refrigerados)	Guía 122
	Pinturas	Líquidos inflamables (No polar/Nocivo)	Guía 128
	Tinner	Líquidos inflamables (No polar/No mezclables con agua)	Guía 128 *
	Alcohol	Líquidos inflamables (Polar mezclables/Nocivo)	Guía 129
Industrias	GLP	Gases inflamables (Incluyendo líquidos refrigerados)	Guía 115
	Acetileno	Gases inflamables (Inestables)	Guía 116
	Argón	Gases inertes	Guía 121
	Oxígeno Comprimido	Gases Oxidantes (Incluyendo líquidos refrigerados)	Guía 122
	Gasolina	Líquidos inflamables (No polar/No mezclables con agua)	Guía 128
	Diesel		
	Bunker		
	Aceites		
	Pinturas		
	Laca	Líquidos inflamables (Polar mezclables con agua)	Guía 129
	Alcohol Isopropílico		
	Asfalto	Líquidos inflamables (No polar/No mezclables con agua/Nocivo)	Guía 130
		Pólvora	Sólidos inflamables

Tabla 3.55. Clasificación del combustible contenido en los lugares de amenazas según sus características químicas y toxicológicas similares  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

**\*Nota:** El thinner no se encuentra en la lista de materiales peligrosos de esta guía pero posee características similares a los líquidos inflamables correspondientes a la Guía 128.

El contenido de las guías para los diferentes combustibles se muestra en los anexos. Anexo A17. Guías de Respuesta en caso de Emergencia.

Como en los lugares de amenaza existía más de un tipo de combustible, se sumó el volumen de los combustibles que tienen la misma clasificación según la Guía Norteamericana de Respuesta en Caso de Emergencia, con el fin de obtener un volumen total. Según los conocimientos de los bomberos, si el lugar tiene más de un tipo de combustible se debe

escoger el mayor volumen para determinar el impacto espacial que ocasionaría en caso de un incendio. Si existe además una cantidad importante de algún otro combustible, se debe tomar el 50% del impacto espacial de éste y adicionarle al antes determinado. Es decir, si existen 8000 m<sup>3</sup> de gas y 5000 m<sup>3</sup> de gasolina, se tendrá un radio de afectación alto de 400 m (300+100) y un radio de afectación de moderado a bajo de 1200 m.

En vista de que se obtuvo diferentes cantidades del combustible almacenado en los lugares de amenaza y que se va a considerar tres zonas de exposición a la amenaza, se modificó la tabla 5.2 y se obtuvo la siguiente:

Nivel de peligro decreciente	Fuentes de Amenazas		Impacto espacial		
	Almacenamiento de gas*	Almacenamiento de combustibles líquidos*	Radio de Amenaza Alta (m)	Radio de Amenaza Media (m)	Radio de Amenaza Baja (m)
Nivel 1	15000 m <sup>3</sup> (Itulcachi)	No representado	500	1000	1500
Nivel 2	No representado	No representado	400	800	1200
Nivel 3	800-3500 m <sup>3</sup>	80000 m <sup>3</sup> (El Beaterio)	300	600	900
Nivel 4	50-100 m <sup>3</sup>	5000 m <sup>3</sup> (Itulcachi)	200	400	600
Nivel 5	-	120-5000 m <sup>3</sup>	150	300	450
Nivel 6	15-50 m <sup>3</sup>	50-120 m <sup>3</sup>	100	200	300
Nivel 7	5-10 m <sup>3</sup>	20-50 m <sup>3</sup>	50	100	150
Nivel 8	0-5 m <sup>3</sup>	1-20 m <sup>3</sup>	25	50	75
Nivel 9	-	0-1 m <sup>3</sup>	10	20	30

Tabla 3.56. Impacto Espacial ocasionado por la presencia de combustibles en los Lugares de Amenaza  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los radios de amenaza fueron calculados en base a la lógica presentada en la tabla 5.2. Se incluye además en la tabla 5.4, valores menores a los 5 m<sup>3</sup> en combustibles gaseosos y a los 20 m<sup>3</sup> en combustibles líquidos, debido a que muchos de los lugares de amenaza de Sangolquí tienen almacenados esas cantidades de combustibles y si se llegan a incendiarse igual tendrán un impacto espacial en sus alrededores.

## DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE AMENAZA

Para generar el mapa de amenaza de incendios se delimitó tres zonas con diferente grado de exposición a la amenaza, detalladas a continuación:

**ALTA AMENAZA:** Es la zona delimitada por el radio de amenaza alto, dentro del cual las construcciones aledañas se verían altamente afectadas por estar más cercanas al incendio ocurrido en el lugar de amenaza.

**MEDIANA AMENAZA:** Es la zona delimitada por el radio de amenaza media, dentro del cual las construcciones se verían medianamente afectadas por estar ni ser tan cercanas ni tan alejadas al incendio ocurrido en el lugar de amenaza.

**BAJA AMENAZA:** Es la zona delimitada por el radio de amenaza bajo, dentro del cual las construcciones se verían afectadas en una baja proporción por estar más alejadas al incendio ocurrido en el lugar de amenaza.

Este mapa tendrá algunas limitaciones debido a que "las distancias se basan en eventos acaecidos en otros contextos, sin un verdadero análisis de los efectos posibles de los productos y de la asociación de los productos existentes en cada una de las empresas geográficamente cercanas, capaces de generar efectos en cadena. Por otro lado, se

estableció una diferenciación entre los combustibles líquidos y gaseosos (GLP), considerando que los espacios potencialmente afectados por estos últimos son más extensos.”<sup>66</sup>

*Anexos E17, E18, E19, E20 y E21. Mapa de Amenaza de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.*

## **DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LOS INCENDIOS**

### **MÉTODOS PARA DETERMINAR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA**

Existen varios métodos para determinar la probabilidad de ocurrencia de los incendios los cuales se indican a continuación:

#### **1.6.1.1.1**

### **CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE UN INCENDIO SEGÚN DATOS HISTÓRICOS**

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de un incendio según datos históricos se necesita conocer las estadísticas de incendios ocurridos en la ciudad de Sangolquí durante un periodo de tiempo.

El Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui realiza cada año un cuadro estadístico de los trabajos ejecutados, en el que detalla el número de incendios estructurales, amagos de incendios, incendios declarados, fugas de gas, incendios forestales, entre otros, ocurridos en cada mes del año. Los incendios estructurales se refieren a incendios en casas, edificios y otras estructuras. Los amagos de incendios son pequeños incendios que se puede apagar utilizando extintores comunes. Los incendios declarados son aquellos que no han sido controlados a tiempo y necesitan varios vehículos cisterna para apagarlos. Las fugas de gas se refieren al escape de una sustancia gaseosa, en especial de GLP. Los incendios forestales se refieren a incendios que se propagan sin control, consumiendo superficies cubiertas con material vegetal.

Anexo A18. Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos de Sangolquí desde el año 2000 al 2004.

A continuación se muestran unos gráficos circulares que indican el número de incendios ocurridos durante los años 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004:

---

<sup>66</sup> La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito, Robert D'Ercole y Pascale Metzger, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Institut de Recherche pour le Développement, 2004, pág. 75 y 76.

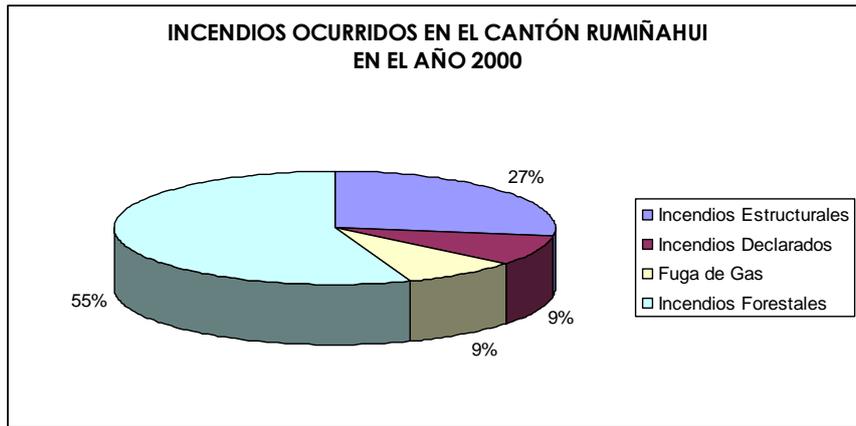


Figura 1.33. Gráfico que indica el número de incendios ocurridos en el Cantón Rumiñahui, en el año 2000  
Fuente: Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

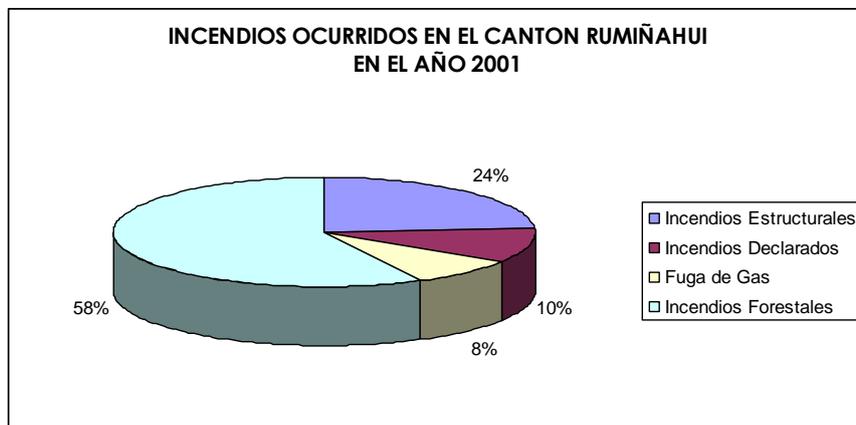


Figura 1.34. Gráfico que indica el número de incendios ocurridos en el Cantón Rumiñahui, en el año 2001  
Fuente: Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

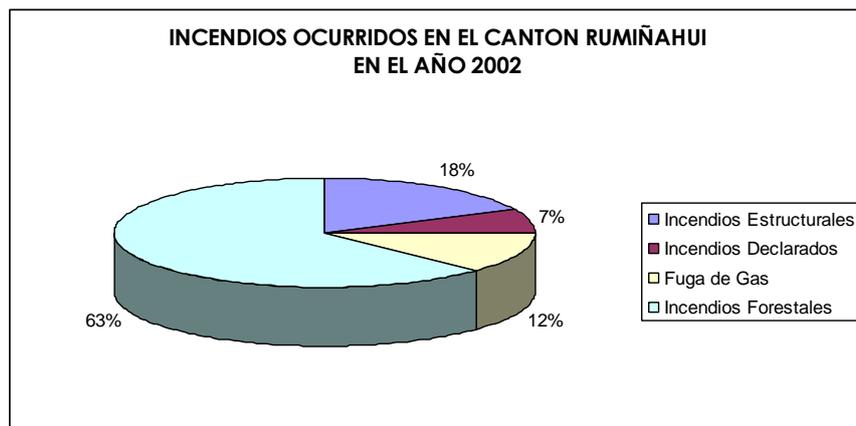


Figura 1.35. Gráfico que indica el número de incendios ocurridos en el Cantón Rumiñahui, en el año 2002  
Fuente: Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

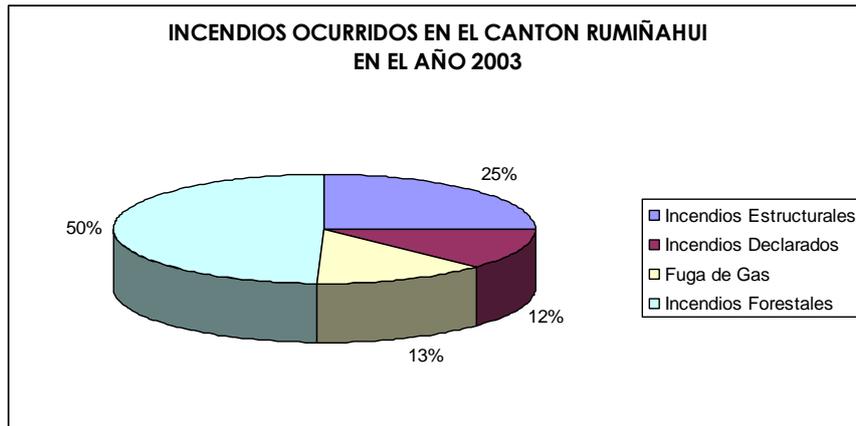


Figura 1.36. Gráfico que indica el número de incendios ocurridos en el Cantón Rumiñahui, en el año 2003  
Fuente: Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

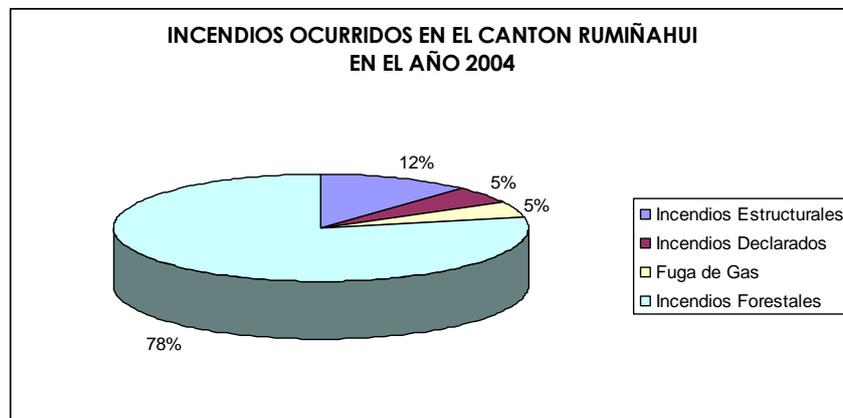


Figura 1.37. Gráfico que indica el número de incendios ocurridos en el Cantón Rumiñahui, en el año 2004  
Fuente: Cuadro Estadístico de los Trabajos realizados por el Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

En todos los años, los incendios forestales son los que tienen mayor ocurrencia. Se producen en áreas rurales en el verano, desde junio hasta octubre. Pero estos no se los analizará, ya que el área de estudio de este trabajo se centra en el área urbana.

Los incendios que interesan para este proyecto son los incendios estructurales especialmente, los ocurridos en los lugares de amenaza (estaciones de servicio, gasolineras, distribuidoras y centros de acopio de gas, lubricadoras, locales de pinturas, ferreterías e industrias). Pero este tipo de incendios no se han producido en la ciudad de Sangolquí. Por lo que se recurrió al Cuerpo de Bomberos del Cantón Quito, con el fin de obtener las estadísticas de los incendios acontecidos en esta ciudad, para determinar la probabilidad de ocurrencia de incendios de los lugares de amenaza, y tomarlos como referencia para Sangolquí, ya que las dos ciudades tienen características similares (condiciones meteorológicas, tipología de la construcción, entre otras).

Se obtuvo una información más detallada de los incendios ocurridos, durante los años 2000 y 2001, donde se detalla la naturaleza y la causa de los mismos. La naturaleza se refiere al lugar donde ocurrió y la causa se refiere al motivo por el cual se produjo el incendio. No se procesó la información de los otros años porque está incompleta.

En las estadísticas del año 2000, no se incluye la información de los incendios ocurridos en los meses de agosto y septiembre, pero se analizó la información restante mediante los siguientes gráficos circulares:

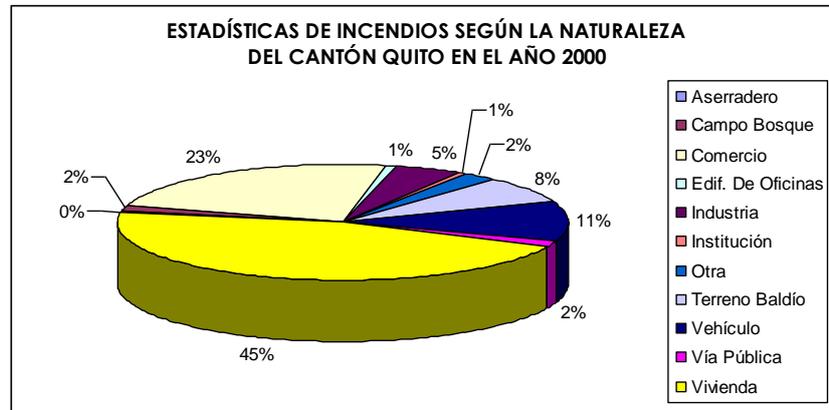


Figura 1.38. Número de Incendios según la Naturaleza ocurridos en el Cantón Quito, en el año 2000  
Fuente: Estadísticas del Cuerpo de Bomberos del Cantón Quito

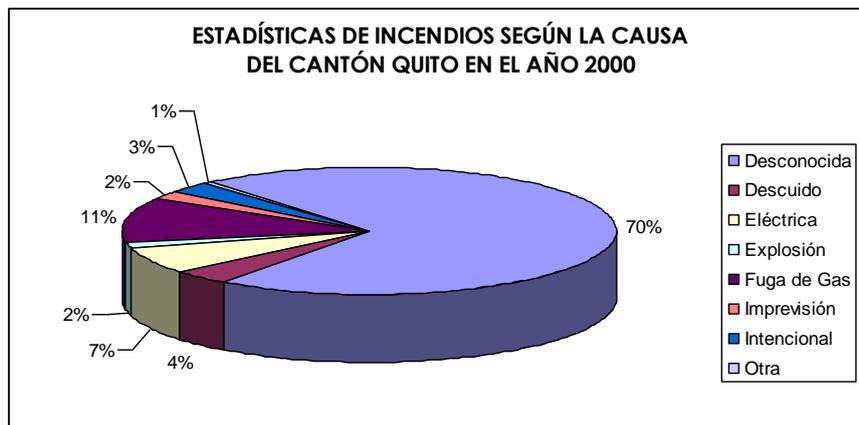


Figura 1.39. Número de incendios según la Causa ocurridos en el Cantón Quito, en el año 2000  
Fuente: Estadísticas del Cuerpo de Bomberos del Cantón Quito

Los incendios que tienen más incidencia en el año 2000, son los producidos en las viviendas ya que tienen el 45%, seguido de los locales comerciales con el 23% y los vehículos con el 11%. No se conoce si dentro de la clasificación de locales comerciales se incluyeron a las lubricadoras, ferreterías y locales de pinturas. Se produjeron 14 incendios (5%) en las industrias. No se tiene más información de los demás lugares de amenaza.

Las causas más comunes por las que se producen los incendios son por fugas de gas y por falla eléctrica.

En las estadísticas del año 2001, no se incluye la información de los incendios ocurridos en el mes de septiembre, pero se analizó la información restante mediante los siguientes gráficos circulares:

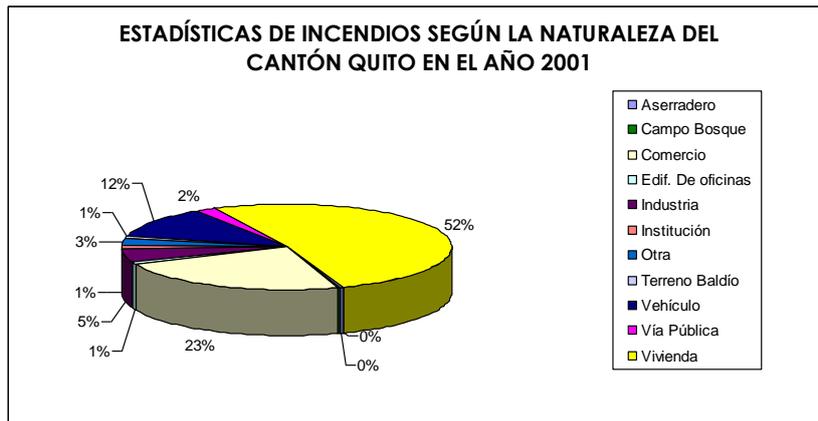


Figura 1.40. Número de Incendios según la Naturaleza ocurridos en el Cantón Quito, en el año 2000  
Fuente: Estadísticas del Cuerpo de Bomberos del Cantón Quito

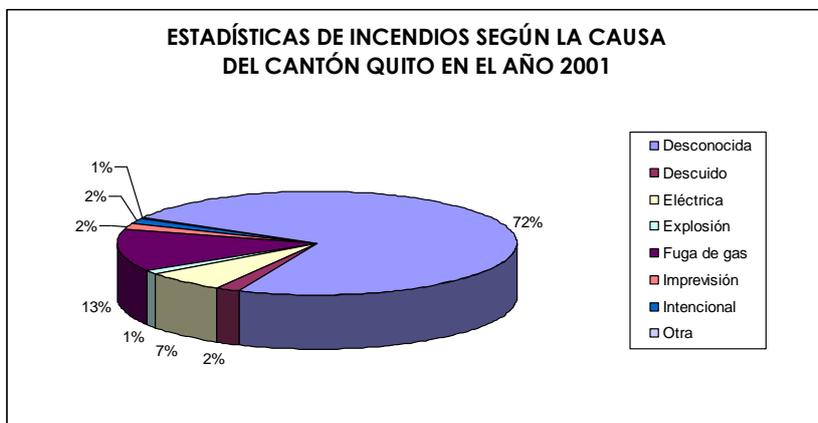


Figura 1.41. Número de Incendios según la Causa ocurridos en el Cantón Quito, en el año 2001  
Fuente: Estadísticas del Cuerpo de Bomberos del Cantón Quito

Los incendios que tienen más incidencia en el año 2001, son los producidos en las viviendas ya que tienen el 52%, seguido de los locales comerciales con el 23% y los vehículos con el 12%. No se conoce si dentro de la categoría de locales comerciales se incluyeron a las lubricadoras, ferreterías y locales de pinturas. Se produjeron 17 incendios (5%) en las industrias. No se tiene más información de demás lugares de amenaza.

Las causas más comunes por las que se producen los incendios son por fugas de gas y por falla eléctrica.

### **DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD SUBJETIVA DE OCURRENCIA DE UN INCENDIO**

La probabilidad subjetiva o personal se refiere al grado de confianza o de creencia que tiene una persona en la ocurrencia de un fenómeno, es el resultado de un estado del conocimiento individual acerca del mundo y de su experiencia.

Se consultó al Cml. Jorge Ayala, Jefe del Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui, con el objetivo de conocer la probabilidad de ocurrencia, según su criterio, que tiene cada lugar de amenaza y se obtuvo la siguiente tabla:

Lugar de Amenaza	Probabilidad Subjetiva
------------------	------------------------

Estaciones de Servicio y Gasolineras	3
Distribuidoras de Gas	2
Centros de Acopio de Gas	1
Lubricadoras	3
Locales de Pinturas	3
Ferreterías	3
Industrias	2

Tabla 3.57. Probabilidad de Ocurrencia Subjetiva de que ocurra un Incendio en los Lugares de Amenaza  
Fuente: Crnl. Jorge Ayala, Jefe del Cuerpo de Bomberos del Cantón Rumiñahui

La probabilidad subjetiva se calificó en base a una escala numérica que va del 1 al 4, donde 1 significa que existe una probabilidad alta de ocurrencia de un incendio (75-100%), 2 significa que existe una probabilidad medianamente alta de ocurrencia de un incendio (50-75%), 3 significa que existe una probabilidad medianamente baja de ocurrencia de un incendio (25-50%) y por último, 4 significa que existe una probabilidad baja de ocurrencia de un incendio (1-25%).

Se determinó que las estaciones de servicio y las gasolineras tienen una probabilidad medianamente baja de ocurrencia de un incendio debido a que para que éstas entren en funcionamiento tienen que cumplir ciertas normas de seguridad. Podría producirse un incendio en una estación de servicio y/o gasolinera el rato de la descarga de combustible, por el uso de celulares o tabacos, entre otras causas.

Las distribuidoras de gas tienen una probabilidad medianamente alta de ocurrencia de un incendio, ya que por lo general los tanques de gas no tienen una buena aireación y existe mal manipuleo por parte de los dueños de las distribuidoras, por lo que puede producirse un incendio.

Los centros de acopio de gas tienen una probabilidad alta de ocurrencia de un incendio, ya que además de la mala aireación y el mal manipuleo de los tanques, existen grandes cantidad de tanques de gas almacenados (más de 1000), lo que puede ocasionar un gran incendio debido a la reacción en cadena.

Las lubricadoras, locales de pinturas y ferreterías tienen una probabilidad medianamente baja de ocurrencia de un incendio, ya que no poseen grandes cantidades de combustibles. Pero no se descarta la ocurrencia de un incendio ya se que se podría dar un cortocircuito en el local o alguna fuente externa podría generar la chispa inicial y desencadenarse así, un incendio.

Las industrias manejan grandes cantidades de combustibles como gasolina, diesel, bunker, entre otros, para hacer funcionar su maquinaria, pero no todas cumplen con las normas de seguridad industrial, por lo que tienen una probabilidad medianamente alta de ocurrencia de un incendio.

### **DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA A TRAVÉS DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO**

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de un incendio en los lugares de amenaza de incendio se realizó un modelo de probabilidad de ocurrencia determinado a través del Proceso Analítico Jerárquico, para lo cual se usó como variables las instalaciones eléctricas, el equipo contra incendios y el sistema detector de incendios.

Para la calificación de los criterios se realizó tres matrices de comparación de criterios, para lo cual se consultó a algunos especialistas relacionados con el tema de la probabilidad de ocurrencia de incendios. Se consultó a un Ingeniero Geógrafo, al Jefe de Bomberos del Cantón Rumiñahui y a mi persona.

Anexo C31. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para determinar la Probabilidad de Ocurrencia de Incendios realizada por el Ingeniero Geógrafo. Anexo C32. Matriz del Proceso Analítico para determinar la Probabilidad de Ocurrencia de Incendios realizada por el Jefe de Bomberos del Cantón Rumiñahui. Anexo C33. Matriz del Proceso Analítico para determinar la Probabilidad de Ocurrencia de Incendios realizada por la Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

Cada uno de los especialistas comparó los criterios según la Escala de Saaty. Posteriormente, se determinó el autovector, el autovector normalizado (pesos de los criterios), el vector lambda, el índice de consistencia, el índice de consistencia aleatorio y la relación de consistencia para determinar cuál de estas matrices se va a emplear para crear el modelo de probabilidad de ocurrencia de incendios.

Los valores de la relación de consistencia de cada una de las matrices son los siguientes:

Especialista	Relación de Consistencia
Ing. Geógrafo	0,061
Jefe de Bomberos del Cantón Rumiñahui	0,117
Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente	0,187

Tabla 3.58. Relación de Consistencia de la Matriz AHP elaborada por cada Especialista  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los pesos de los criterios que se va a emplear en el modelo son los de la matriz elaborada por el Ing. Geógrafo, ya que tienen una relación de consistencia menor a 0,10.

CRITERIOS	PESOS
Sistema Detector de Incendios	0,060
Instalaciones Eléctricas	0,709
Equipo contra Incendios	0,231

Tabla 3.59. Pesos de los Criterios obtenidos de la Matriz AHP  
Fuente: Iván Medina, Ing. Geógrafo

Por lo tanto, la ecuación del modelo de la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones es la siguiente:

$$P_{INCENDIOS} = 0,006 \cdot Sist + 0,709 \cdot Inst + 0,231 \cdot Equi \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Donde:

$P_{INCENDIOS}$  = Probabilidad de Ocurrencia de Incendios

$Sist$  = Sistema Detector de Incendios

$Inst$  = Instalaciones Eléctricas

$Equi$  = Equipo contra Incendios

Se realizó una escala de probabilidad de ocurrencia de incendios para cada lugar de amenaza (distribuidoras y centros de acopio de gas, estaciones de servicio, ferreterías y locales de pinturas, industrias y lubricadoras), con el objetivo de obtener un valor de probabilidad de ocurrencia para cada variable.

Anexo C34, C35, C36, C37 y C38. Escala de Probabilidad de Ocurrencia de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.

## **SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA CALCULAR LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA**

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de incendios se escogió un método de cálculo subjetivo, AHP, debido a que no se tiene una información estadística completa, detallada y de un largo periodo de tiempo acerca de los incendios ocurridos en la ciudad de Sangolquí. Además, que en ciertos lugares como las gasolineras y estaciones de servicio, hasta la actualidad, no se ha producido ningún incendio, pero esto no significa que la probabilidad de ocurrencia sea nula.

Por lo tanto, se determinó la probabilidad de ocurrencia de incendios a través del modelo (Ecuación 5.1) y de las escalas de probabilidad de ocurrencia de incendios para cada lugar de amenaza. Así se obtuvo la probabilidad de que ocurra un incendio en cada uno de los lugares de amenaza.

Anexo C39, C40, C41, C42 y C43. Cálculo de la de Probabilidad de Ocurrencia de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.

## **DETERMINACIÓN DE LA PELIGROSIDAD**

Para determinar la peligrosidad de incendios se multiplicó los valores de amenaza de incendios por la probabilidad de ocurrencia de los mismos, así se obtuvo el valor de la peligrosidad. Al igual que las amenazas, se definió tres zonas de peligrosidad (alta, mediana y baja).

Anexos E22, E23, E24, E25 y E26. Mapa de Peligrosidad de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.

## **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA**

### **DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA**

El tamaño de la muestra que se va a usar para evaluar la vulnerabilidad de la construcción frente a un incendio, va a ser la misma que se usó para evaluar la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones.<sup>67</sup> Por lo tanto, el tamaño de muestra será de 5.609 construcciones que se encuentran ubicadas aleatoriamente.

### **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SEGÚN EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO**

Para la calificación de los criterios se realizaron tres matrices de comparación de criterios, para lo cual se consultó a algunos especialistas relacionados con el tema de la vulnerabilidad de la construcción frente a incendios. Se consultó a un Ingeniero Civil, especialista en Estructuras, al Jefe de Bomberos del Cantón Rumiñahui y a mi persona.

---

<sup>67</sup> Capítulo IV, acápite 4.1.4.1 Determinación del Tamaño de la Muestra, pág.91-93.

Anexo C44. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios realizada por el Ingeniero Civil, especialista en Estructuras.  
 Anexo C45. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios realizada por el Ingeniero Geólogo, especialista en Riesgos.  
 Anexo C46. Matriz del Proceso Analítico Jerárquico para evaluar la vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios realizada por la Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

El especialista es quien decide cuales de los elementos de la construcción (criterios) intervienen en la vulnerabilidad según su conocimiento y experiencia. No es necesario emplear todos los criterios.

Cada uno de los especialistas comparó los criterios según la Escala de Saaty. Posteriormente, se determinó el autovector, el autovector normalizado (pesos de los criterios), el vector lambda, el índice de consistencia, el índice de consistencia aleatorio y la relación de consistencia para determinar cuál de estas matrices se va a emplear para crear el modelo de vulnerabilidad de la construcción frente a incendios. Los valores de la relación de consistencia de cada una de las matrices son los siguientes:

<b>Especialista</b>	<b>Relación de Consistencia</b>
Ing. Civil, especialista en Estructuras	0,06
Jefe del Cuerpo de Bomberos del Cantó Rumiñahui	0,11
Egresada de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente	0,11

Tabla 3.60. Relación de Consistencia de la Matriz AHP elaborada por cada Especialista  
 Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los pesos de los criterios que se van a emplear en el modelo son los de la matriz elaborada por el Ing. Civil, ya que tienen una relación de consistencia menor a 0,10.

<b>Criterios</b>	<b>Pesos</b>
Cimientos	0.009
Columnas	0.012
Vigas	0.013
Mampostería Soportante	0.016
Paredes	0.021
Entrepiso	0.023
Escaleras	0.029
Enlucido	0.041
Pisos	0.042

<b>Criterios</b>	<b>Pesos</b>
Cubiertas	0.045
Tumbado	0.078
Pintura	0.116
Ventanas	0.161
Puertas	0.197
Close	0.199

Tabla 3.61. Pesos de los Criterios obtenidos de la Matriz AHP  
 Fuente: Guido Bravo Cortés, Ing. Civil, especialista en Estructuras

Por lo tanto, la ecuación del modelo de la vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones es la siguiente:

$$V_{\text{INCENDIOS}} = 0,009 \cdot Cim + 0,012 \cdot Col + 0,013 \cdot Vig + 0,016 \cdot Mamp + 0,021 \cdot Par + 0,023 \cdot Ent + 0,029 \cdot Esc + 0,041 \cdot Enl + 0,042 \cdot Piso + 0,045 \cdot Cub + 0,078 \cdot Tumb + 0,116 \cdot Pint + 0,161 \cdot Vent + 0,197 \cdot Puert + 0,199 \cdot Clos \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Donde:

$V_{\text{INCENDIOS}}$  = Vulnerabilidad de la construcción frente a incendios

$Cim$  = Peso del criterio Cimientos

$Col$  = Peso del criterio Columna

$Vig$  = Peso del criterio Viga

$Mamp$  = Peso del criterio Mampostería Soportante

$Par$  = Peso del criterio Paredes

$Ent$  = Peso del criterio Entrepiso

$Esc$  = Peso del criterio Escaleras

$Enl$  = Peso del criterio Enlucidos

$Piso$  = Peso del criterio Pisos

$Cub$  = Peso del criterio Cubierta

$Tumb$  = Peso del criterio Tumbado

$Pint$  = Peso del criterio Pintura

$Ven$  = Peso del criterio Ventanas

$Puert$  = Peso del criterio Puertas

$Clos$  = Peso del criterio Closet

## CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION SEGÚN SU VULNERABILIDAD

Para evaluar la vulnerabilidad física de la construcción frente a un incendio se debe conocer primero la clasificación de las construcciones según el material empleado y la resistencia al fuego de los componentes estructurales.

Según las normas NFPA, las construcciones se dividen en:

### Construcciones tipo I (Resistente al fuego)

La resistencia al fuego de los materiales hace que se mantenga la integridad estructural durante un incendio. Una construcción resistente al fuego está formada por paredes, columnas, vigas, suelos y tejados formados como materiales no combustibles o de combustión limitada. Debido a la combustibilidad limitada de los materiales de la construcción, el principal peligro del incendio es el contenido de la estructura.

### Construcción tipo II (No combustible o de combustión limitada)

Estas construcciones se parecen a las construcciones resistentes al fuego, pero su nivel de resistencia es menor. Todos los elementos de la estructura de una construcción no combustible tienen un rendimiento de resistencia al fuego. Los materiales sin tasas de resistencia al fuego, como la madera no tratada, pueden utilizarse en cantidades limitadas. El aumento de calor, producto del incendio, puede provocar que los sistemas de soporte estructurales se quiebren. Otro problema, puede ser el material empleado en el tejado, ya

que si el incendio se propaga al éste puede llegar a provocar en un momento dado que todo el tejado arda y se derrumbe.

### **Construcción tipo III (Normal)**

Las construcciones normales tienen paredes exteriores y elementos estructurales construidos con materiales no combustibles y de combustión limitada. Los elementos estructurales interiores (paredes, columnas, vigas, suelos, entre otros) están total o parcialmente construidos con madera. El problema principal que tienen estas construcciones es la propagación del fuego y el humo a los espacios no visibles; estos espacios se encuentran entre las paredes, el suelo y el techo. El calor, el humo y los gases de un incendio pueden transmitirse a estos espacios no visibles a través de los acabados, y así llegar a la estructura.

### **Construcción tipo IV (Armazón fuerte)**

La construcción de armazón fuerte posee paredes exteriores e interiores y elementos estructurales asociados, fabricados a partir de materiales no combustibles o de combustión limitada. Los demás elementos estructurales (vigas, columnas, suelos y tejados) están fabricados con madera sólida o laminada sin espacios no visibles, la cual debe ser lo suficientemente grande para considerarse de armazón fuerte.

Estas construcciones, por lo general, se usan en las fábricas, los talleres, los almacenes antiguos y en las iglesias. El problema principal de las construcciones de armazón fuerte es su gran cantidad de contenido combustible además del contenido del edificio. Aunque los armazones fuertes permanecen estable durante un largo periodo cuando existe un incendio, liberan grandes cantidades de calor y esto ocasiona daño a sus habitantes y a los bomberos.

### **Construcción tipo V (Armazón de madera)**

La construcción de armazón de madera posee paredes, mampostería soportante, suelos, tejados y sistemas de soporte fabricados completa o parcialmente con madera u otros materiales aprobados de dimensiones inferiores a los empleados en la construcción tipo IV. Este tipo de construcción presenta un potencial casi ilimitado para la propagación del incendio dentro de la misma y a otras estructuras adyacentes.

Todos los materiales reaccionan de forma diferente cuando se les expone al calor o al fuego, por lo que es necesario conocer sus efectos. Dentro de los materiales que se usa en el sistema estructural de la construcción se tiene los siguientes:

#### **Madera:**

La madera se usa en varios sistemas de soporte estructural. La reacción de la madera a las condiciones del fuego depende principalmente del tamaño y el nivel de humedad en la madera. Cuanto menor sea la madera, más probabilidades tienen de perder su integridad estructural. En cambio, cuanto más grandes sean los pedazos de madera, preservan más su integridad estructural, incluso después de una larga exposición al fuego. El nivel de humedad en la madera afecta la velocidad a la que arde. La madera con un alto nivel de humedad no arde tan rápido como la madera seca.

La utilización de agua para apagar el incendio minimiza el daño en la madera.

Las construcciones modernas están elaboradas con materiales de construcción completos y materiales hechos de fibras de madera, plásticos y otros materiales unidos con resina. Estos

productos pueden ser altamente combustibles y pueden producir gases tóxicos o deteriorarse rápidamente durante un incendio.

### **Albañilería:**

Se refiere a materiales como los ladrillos, las piedras y los bloques de hormigón. La albañilería se ve mínimamente afectada por el fuego y por la exposición a altas temperaturas. Los ladrillos muestran ocasionalmente signos de pérdida de integridad o grave deterioro. Las piedras pueden perder pequeñas porciones de su superficie al calentarse. Los bloques pueden romperse, pero normalmente retienen gran parte de su fuerza y estabilidad estructural básica.

Si se utiliza agua para extinguir el incendio puede ocasionar que los ladrillos, las piedras y los bloques se desquebrajen o se rompan.

### **Hierro fundido:**

El hierro fundido soporta bien el fuego y las situaciones de intenso calor. Puede romperse o quebrantarse si se utiliza agua para enfriar.

### **Acero:**

Es el principal material usado para los sistemas estructurales en la construcción moderna. Los elementos estructurales de este material se dilatan cuando se calientan. La temperatura a la cual se rompe el acero depende del tamaño del elemento, la carga que soporta, la composición del acero y su geometría.

El agua puede enfriar las estructuras de acero y disminuir el riesgo de que se rompa, y a su vez impide el hundimiento estructural.

### **Hormigón armado:**

El hormigón armado está compuesto por hormigón y por barras de acero, lo que hace que el material tenga la resistencia a la compresión del hormigón y la resistencia a la tensión del acero. El hormigón armado no reacciona bien frente a un incendio, debido a que pierde fuerza y resquebraja. El calentamiento puede producir una fractura de la unión entre el hormigón y el acero de refuerzo.

Los acabados de la construcción y el mobiliario son los elementos que más contribuyen a la propagación de un incendio y a la producción de humo. En este Proyecto de Grado no se van a evaluar los mobiliarios solo los acabados.

La resistencia al fuego y al calor de cada material determinará su vulnerabilidad frente a un incendio. Es decir, mientras más resistentes son los materiales ante al fuego y el calor son menos vulnerables cuando hay un incendio y viceversa.

De acuerdo a lo antes mencionado, se clasificaron los materiales empleados en la construcción según su grado de vulnerabilidad (de menor a mayor) frente a un incendio. Para lo cual se creó una escala que va del 0 al 20, donde el 0 significa que no existe vulnerabilidad y el 20 significa una máxima vulnerabilidad frente a un incendio. Para lo cual, se realizó una regla de tres, relacionando los pesos de los criterios (Tabla 5.9) con la escala de 0-20. Por lo tanto, los materiales de los elementos de la construcción que menor vulnerabilidad tienen, son los cimientos, las columnas y las vigas; y los materiales de mayor vulnerabilidad son la pintura, las ventanas, las puertas y los clóset.

La escala de vulnerabilidad de los materiales empleados en la construcción frente a un incendio se muestra en el Anexo C47. *Escala de Vulnerabilidad de los Materiales empleados en la Construcción frente a Inundaciones.*

## CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD

Para calcular la vulnerabilidad de la construcción frente a un incendio se deben reemplazar los valores dados en la escala correspondiente al material empleado en la Ecuación 5.2, para obtener así los valores de vulnerabilidad particulares para cada tipo de material empleado en la construcción de la estructura y de los acabados.

Lo antes expuesto se va a explicar con el siguiente ejemplo de una construcción tomada de la base de datos del Departamento de Catastros:

### ESTRUCTURA

	Código	Material	Escala	Pesos	Vulnerabilidad
Cimientos	2	H. Ciclópeo	2,5	0,009	0,023
Mampostería Soportante	3	Ladrillo	6	0,016	0,097
Columnas	0	No tiene	0	0,012	0
Vigas	0	Madera	17,5	0,013	0,221
Entrepiso	1	Madera	17,5	0,023	0,403
Paredes	6	Ladrillo	6	0,021	0,124
Cubiertas	2	Teja Ordinaria	7	0,045	0,312
Escaleras	2	Madera	17,5	0,029	0,504
<b>Subtotal</b>					1,683

### ACABADOS

	Código	Material	Escala	Pesos	Vulnerabilidad
Pisos	5	Parquet Vinil	17,5	0,042	0,733
Puertas	0	Madera Común	17,5	0,197	3,441
Ventanas	1	Madera Común	17,5	0,161	2,821
Enlucido	3	Arena- Cemento	4	0,041	0,165
Pintura	3	Caucho	9,5	0,116	1,104
Closest	1	Madera Común	17,5	0,199	3,481
Tumbado	6	Madera Común	17,5	0,078	1,357
<b>Subtotal</b>					13,102

**Total** 14,785

Tabla 3.62. Cálculo de la Vulnerabilidad de la Construcción frente a Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

En la primera columna se indican los elementos de la construcción, en la segunda columna se indica el código empleado en la Ficha Predial Urbana, en la tercera columna el nombre del material que corresponde al código, en la cuarta columna el valor de la escala que le corresponde a ese material, en la quinta los pesos de los elementos de la construcción (criterios) y en la sexta columna la vulnerabilidad de cada elemento de la construcción frente a un incendio, dado por la multiplicación entre el valor de la escala por el peso.

Se hizo una división entre la estructura y los acabados de la construcción en este ejemplo solo por comodidad, ya que en la base de datos del Departamento de Catastros los códigos se encuentran ubicados en campos diferentes, es decir existe un campo con un código de 8 dígitos para la estructura y otro campo con un código de 12 dígitos para los acabados.

Se sumó las vulnerabilidades de los elementos que forman parte de la estructura más los elementos que forman parte de los acabados y se obtuvo la vulnerabilidad total de la construcción.

Este cálculo se realizó de forma automática en ArcView, determinando así, la vulnerabilidad de todas las construcciones dadas en el muestreo frente a inundaciones. El nombre del campo en la tabla de la vulnerabilidad total se llama vul\_total.

Se realizó varios ejemplos con diferentes tipos de construcción (construcciones con estructura de hormigón armado, estructura de hierro, estructura de madera y estructuras mixtas), los cuales permitieron realizar ajustes en los criterios y en la escala con el fin de obtener valores más reales de la vulnerabilidad frente a inundaciones. Los valores de los criterios mostrados en la Tabla 5.9 y la escala mostrada en los anexos, son los definitivos.

## EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para evaluar el riesgo derivado de inundaciones se debe usar la siguiente ecuación:

$$R = P \times V \quad \text{Ecuación 4.15}$$

Donde:

$R$  = Riesgo  
 $P$  = Peligrosidad  
 $V$  = Vulnerabilidad

Para lo cual se va a multiplicar el Mapa de Peligrosidad de Incendios por el Mapa de Vulnerabilidad de la Construcción frente a Incendios según la metodología usada en el Capítulo III.<sup>68</sup>

*Anexo E28, E29, E30, E31 y E32. Mapa de Riesgo derivado de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas, Estaciones de Servicio, Ferreterías y Locales de Pinturas, Industrias y Lubricadoras.*

### DISEÑO DE LA APLICACIÓN SIG PARA RIESGOS

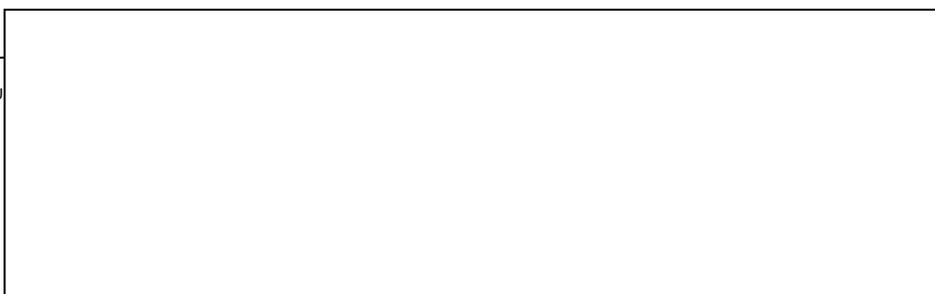
## DISEÑO DE LA APLICACIÓN SIG PARA RIESGOS

### DISEÑO CONCEPTUAL

El diseño conceptual se refiere a la forma en la cual el usuario requiere ver y usar la aplicación SIG. Por lo tanto, el diseño de la aplicación se realizó de acuerdo a los requerimientos del usuario.

Al abrir el programa ejecutable de la aplicación SIG aparece la siguiente pantalla de inicio:

<sup>68</sup> Capítu





# SIG DE RIESGOS



## Zonificación de Riesgos derivados de Inundaciones e Incendios

Elaborado por

Rebeca Bravo Prado

USUARIO MUNICIPAL

USUARIO PÚBLICO

Figura 1.42. Pantalla de Inicio de la Aplicación SIG  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Esta pantalla posee dos botones, el primer botón se llama *Usuario Municipal* y el segundo botón se llama *Usuario Público*, por medio de éstos se tiene acceso a diferentes aplicaciones. Se realizó esta división ya que existen dos aplicaciones, el usuario municipal puede generar y modificar los mapas, y además realizar consultas en los mapas de peligrosidad y de riesgo; y el usuario público puede visualizar los mapas de peligrosidad.

La opción *Usuario Municipal* sólo permite el ingreso a personal autorizado del Ilustre Municipio de Rumiñahui, el cual debe ingresar con contraseña, como se indica en la siguiente pantalla:

CONTRASEÑA	
NOMBRE DE USUARIO	<input type="text"/>
CONTRASEÑA	<input type="password"/>

Figura 1.43. Pantalla de ingreso de Nombre de Usuario y Contraseña  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Si la contraseña es correcta aparecerá la siguiente pantalla:



Figura 1.44. Pantalla del Usuario Municipal para Generación de Mapas y Consultas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Si se escoge la opción *Generación de Mapas* (Figura 6.3), aparecerá un proyecto realizado en ArcView para que el usuario pueda modificar, a su gusto, los mapas que va a generar.

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW 3.2		
GENERACION DE MAPAS	MAPA DE UBICACIÓN	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">MAPAS RASTER</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">MAPAS VECTOR</div>	TEMAS	MAPA DE UBICACIÓN

Figura 1.45. Proyecto realizado en ArcView para Generar Mapas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Para generar el mapa de riesgo hay dos opciones, hay como generar mapas en formato raster y en formato vector, como se muestra en las siguientes pantallas:

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW 3.2		
GENERACION DE MAPAS	RIESGO DERIVADO DE INUNDACIONES	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">MAPAS RASTER</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">MAPAS VECTOR</div>	TEMAS	MAPA RASTER GENERADO

Figura 1.46. Pantalla de ArcView que indica el Mapa Raster Generado  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

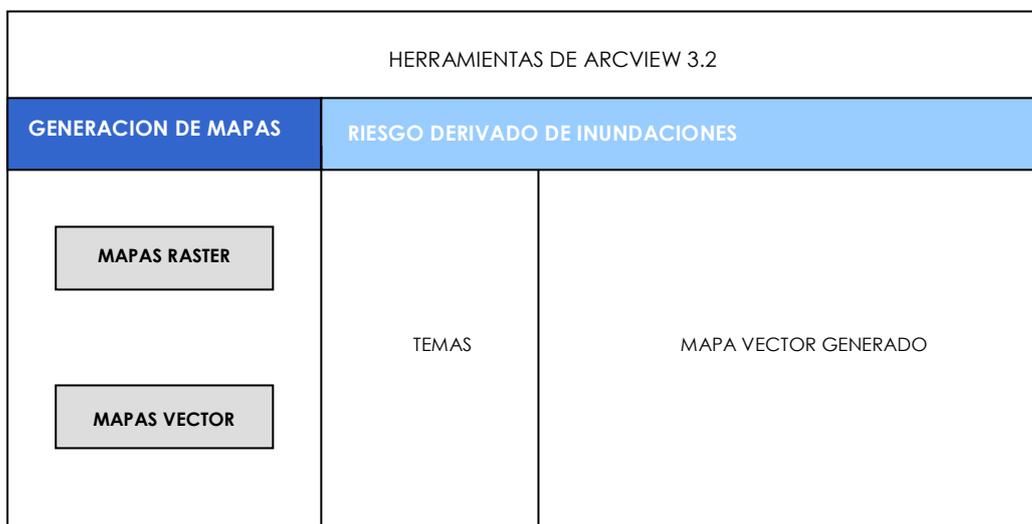


Figura 1.48. Pantalla de ArcView que indica el Mapa Vector Generado  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Al costado izquierdo de la pantalla se presenta un cuadro de dialogo *Generación de Mapas*, el cual posee dos botones, los cuales permiten generar mapas raster y mapas vector. La opción *Mapas Raster* permite generar mapas a través de la multiplicación de mapas raster y la opción *Mapas Vector* permite generar mapas vector a través de la intersección de mapas vectores. En las dos opciones se puede escoger los mapas de peligrosidad y de vulnerabilidad física de la construcción frente a inundaciones e incendios, los cuales se requiere para generar el mapa de riesgo correspondiente a cada fenómeno.

En este proyecto, el mapa de riesgo derivado de inundaciones se va a generar en formato raster y el mapa de riesgo derivado de incendios en formato vector, y se van a presentar al costado derecho de la pantalla, en las respectiva vista.

Si se escoge la opción *Consultas* (Figura 6.3), aparecerá un proyecto realizado en ArcView, el cual permite al usuario realizar consultas en los mapas de peligrosidad y de riesgo derivado de inundaciones e incendios. Las consultas se realizaron dentro de un proyecto de ArcView con el fin de que el usuario pueda manipular los mapas que necesite e incluso realizar layouts con la información obtenida de las consultas.

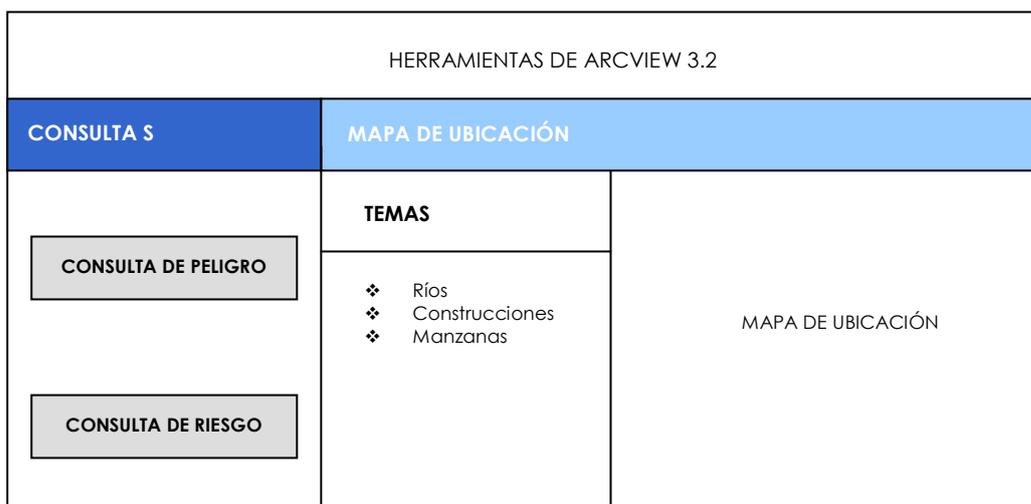


Figura 1.49. Proyecto elaborado en ArcView para generar Consultas en los Mapas de Peligrosidad y de Riesgo  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Para realizar las consultas el usuario tendrá dos opciones, podrá consultar cuantas construcciones se encuentran dentro de las diferentes zonas de peligrosidad y cuantas construcciones se encuentran dentro de las zonas de riesgo. En cada una de estas opciones aparecerá una lista la cual tendrá los diferentes fenómenos evaluados en este proyecto, es decir, inundaciones e incendios.

A continuación se indica las pantallas de Arcview para realizar consultas en los mapas de peligrosidad de inundaciones e incendios:

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW		
CONSULTAS	PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">CONSULTA DE PELIGRO</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CONSULTA DE RIESGO</div>	<p><b>TEMAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ríos</li> <li>❖ Centroides de la Construcción</li> <li>❖ Construcciones</li> <li>❖ Ejes Viales</li> <li>❖ Manzanas</li> <li>❖ Peligro de Inundaciones</li> </ul>	MAPA DE PELIGRO DE INUNDACIONES

Figura 1.50. Pantalla de ArcView para realizar Consultas en el Mapa de Peligrosidad de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW		
CONSULTAS	PELIGROSIDAD DE INCENDIOS	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">CONSULTA DE PELIGROSIDAD</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CONSULTA DE RIESGO</div>	<p><b>TEMAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Centroides de la Construcción</li> <li>❖ Construcciones</li> <li>❖ Ejes Viales</li> <li>❖ Manzanas</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en Estaciones de Servicio</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en Ferreterías y Locales de Pinturas</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en Lubricadoras</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en Industrias</li> <li>❖ Peligrosidad de Incendios en todos</li> </ul>	MAPA DE PELIGROSIDAD DE INCENDIOS

Figura 1.51. Pantalla de ArcView para realizar Consultas en el Mapa de Peligrosidad de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

A continuación se indica las pantallas de Arcview para realizar consultas en los mapas de riesgo derivado de inundaciones e incendios:

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW		
CONSULTAS	RIESGO DERIVADO DE INUNDACIONES	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">CONSULTA DE PELIGRO</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CONSULTA DE RIESGO</div>	<b>TEMAS</b>	MAPA DE RIESGO DERIVADO DE INUNDACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ríos</li> <li>❖ Centroides de la Construcción</li> <li>❖ Construcciones</li> <li>❖ Ejes Viales</li> <li>❖ Manzanas</li> <li>❖ Riesgo derivado de Inundaciones</li> </ul>	

Figura 1.52. Pantalla de ArcView para realizar Consultas en el Mapa de Riesgo derivado de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

HERRAMIENTAS DE ARCVIEW		
CONSULTAS	RIESGO DERIVADO DE INCENDIOS	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px; text-align: center;">CONSULTA DE PELIGRO</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">CONSULTA DE RIESGO</div>	<b>TEMAS</b>	MAPA DE RIESGO DERIVADO DE INCENDIOS
	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Centroides de la Construcción</li> <li>❖ Construcciones</li> <li>❖ Ejes Viales</li> <li>❖ Manzanas</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en Estaciones de Servicio</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en Ferreterías y Locales de Pinturas</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en Lubricadoras</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en Industrias</li> <li>❖ Riesgo Derivado de Incendios en todos los lugares de amenaza</li> </ul>	

Figura 1.53. Pantalla de ArcView para realizar Consultas en el Mapa de Riesgo derivado de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Los detalles de las construcciones afectadas se podrán ver a través del programa Seagate Cristal Reports, mediante un botón en esta aplicación.

Regresando a la pantalla de inicio (Figura 6.1), la opción *Usuario Público* permite realizar consultas acerca de cuantas construcciones se encuentra en las diferentes zonas de peligrosidad de inundaciones y peligrosidad de incendios. En esta aplicación el usuario no puede modificar los mapas sólo visualizarlos a través del programa ArcExplorer.



Figura 1.54. Pantalla del Usuario Público para Consultas de Peligrosidad  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Al seleccionar la opción *Peligrosidad de Inundaciones* aparecerá un proyecto de ArcExplorer donde se podrá visualizar las construcciones afectadas por la peligrosidad de inundaciones.

HERRAMIENTAS DE VISUALIZACIÓN DE ARCEXPLORER	
CONSULTA DE PELIGROSIDAD DE INUNDACIONES	
<b>TEMAS</b>	MAPA DE PELIGRO DE INUNDACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Ríos</li> <li>❖ Centroides de la Construcción</li> <li>❖ Construcciones</li> <li>❖ Ejes Viales</li> <li>❖ Manzanas</li> <li>❖ Peligro de Inundaciones</li> </ul>	

Figura 1.55. Pantalla de ArcExplorer para consulta de Peligrosidad de Inundaciones  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Al seleccionar la opción *Peligrosidad de Incendios* aparecerá una pantalla en la cual se podrá seleccionar el lugar de amenaza del cual se requiere conocer su área de peligrosidad.



Figura 1.56. Pantalla para seleccionar el Lugar de Amenaza de Incendios  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

Al escoger cualquiera de las opciones indicadas en la figura anterior, se abrirá un proyecto de ArcExplorer donde se podrá visualizar las construcciones afectadas por peligrosidad de incendios según el lugar de amenaza seleccionado.

A continuación se indica una pantalla de ejemplo, donde se va a visualizar el mapa de peligrosidad de incendios en distribuidoras y centros de acopio de gas:

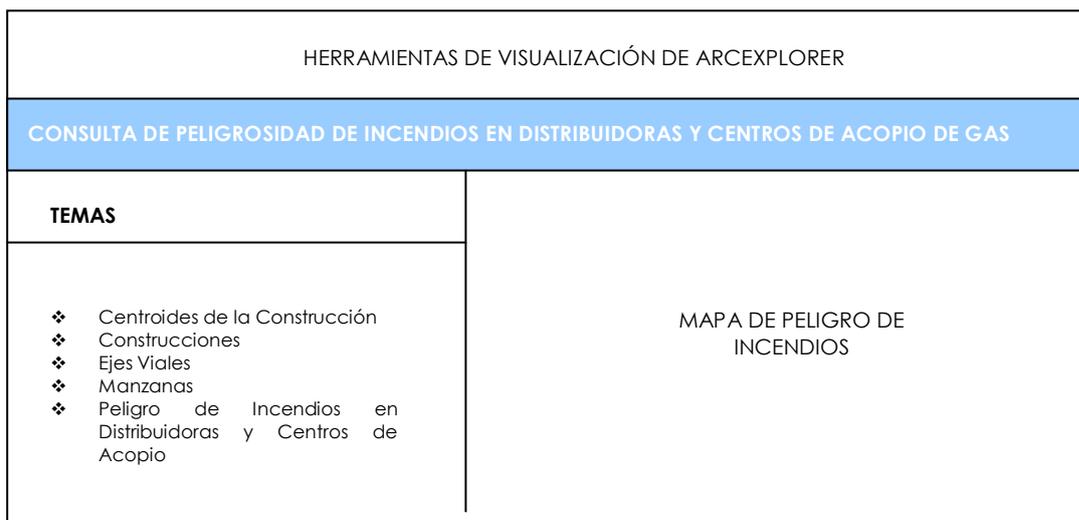


Figura 1.57. Pantalla de ArcExplorer para consulta de Peligrosidad de Incendios en Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

## DISEÑO LÓGICO

El diseño lógico se refiere a la forma como está estructurada la aplicación SIG.

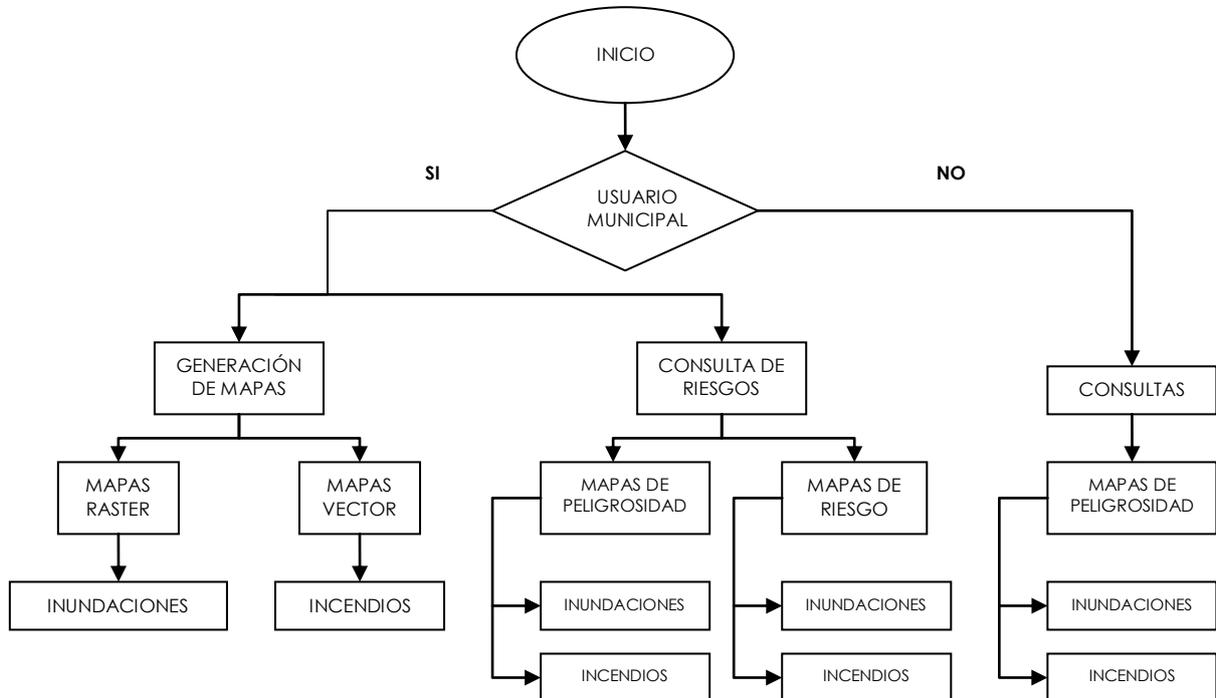


Figura 1.58. Diseño Lógico de la Aplicación SIG  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

La aplicación SIG, como se mencionó en el Diseño Conceptual, tiene una pantalla de inicio con dos aplicaciones diferentes, por lo tanto en el diseño lógico se hace esa distinción, si el usuario es del municipio entra a una aplicación donde puede generar mapas y realizar consultas, y si el usuario no es del municipio (usuario público) entra a una aplicación para realizar consultas.

## PROGRAMACIÓN

La pantalla de *Inicio* (Figura 6.1), la pantalla de *Usuario Municipal* (Figura 6.2), la pantalla de *Usuario Público* (Figura 6.12) y la pantalla de *Peligrosidad de Incendios según el Lugar de Amenaza* (Figura 6.14) fueron realizadas en el programa Visual Basic 6.0.

Visual Basic 6.0 es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de cuarta generación, es decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla. También, es un programa basado en objetos, aunque no orientado a objetos. Este programa permite crear ventanas, botones, menús y cualquier otro elemento de Windows de una forma fácil e intuitiva. El lenguaje de programación que se utiliza es el Basic. Una vez finalizada la programación de la nueva aplicación, la siguiente tarea suele consistir en la creación de un programa ejecutable para su distribución e instalación en cuantos ordenadores se desee, incluso aunque en ellos no esté instalado Visual Basic 6.0.

Se utilizó este programa con el fin de tener varias pantallas para acceder más fácilmente y de una forma más organizada a los diferentes programas (ArcView 3.2 y ArcExplorer). Además, se realizó un programa ejecutable de esta aplicación.

Para elaborar los programas que van a generar y realizar las consultas en ArcView, se recurrió al lenguaje de programación de objetos llamado Avenue, el cual está orientado a objetos, y todos los elementos que integran las operaciones en ArcView son considerados como tales. Así se pueden realizar operaciones de acuerdo al objeto, teniendo en cuenta especialmente a la Clase a la que estos pertenecen. Una Clase define un conjunto común de atributos y operaciones. Así habrá varios objetos que pertenecen a una clase en los cuales será posible realizar ciertas operaciones y otras no.

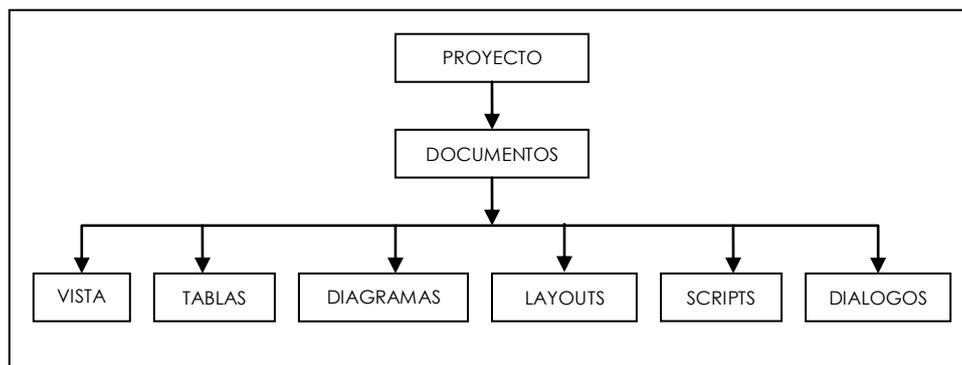


Figura 1.59. Relaciones y jerarquía entre objetos, sujetos a operaciones mediante Avenue  
Fuente: Adaptado de "Avenue Customizing and Application Development for ArcView"<sup>69</sup>

La figura anterior muestra la jerarquía con la cual se manejan los objetos en ArcView, y se desprenden las relaciones de herencia de atributos.

Los elementos de la jerarquía, que se muestran en la Figura 6.14, tienen como elemento principal, al Proyecto, el cual determina las características para todos los objetos, como la posición en la pantalla, si están activos o visibles, etc. Dentro de los elementos que dependen del Proyecto están los Documentos, que corresponden a los elementos con los cuales se maneja la información temática. Dentro de los documentos se encuentran las Vistas que contienen la información cartográfica, las Tablas que contienen la información alfanumérica, los Diagramas que sirven para el análisis estadístico de la información, los Layouts que permiten imprimir la información cartográfica contenida en las vistas, los Scripts que permiten realizar la programación en Avenue, y por último, los Diálogos que permiten realizar cuadros de dialogo, los cuales se pueden usar en la programación.

Se usó Avenue para crear varios Scripts para generar los mapas y realizar las consultas.

## DISEÑO FÍSICO

El diseño físico se refiere al hardware que se requiere para que la aplicación SIG funcione a cabalidad.

Por lo tanto, se necesita un computador de escritorio que cuente con las siguientes características:

---

<sup>69</sup> Environmental System Research Institute, Inc. 1994. Avenue, Customization and Application Development for ArcView. Introducing Avenue.

- CPU:
  - Procesador Intel Pentium IV, con velocidad de 2,8 MHz.
  - Disco duro de 100 GB.
  - Memoria RAM de 1 GB.
  
- Monitor:
  - Alta resolución BGA o pantalla plana
  - Tamaño: de 17'' en adelante

La impresora tiene que ser a color, debe tener buena resolución, preferiblemente que tenga características fotográficas; y puede ser a tinta o láser.

## **REQUISITOS MÍNIMOS PARA EL FUNCIONAMIENTO**

Como requisitos mínimos para el funcionamiento se requiere la instalación de ArcView 3.2 con las siguientes extensiones: Spatial Analysis (herramientas para análisis espacial y modelamiento de mapas raster), Dialog Designer (herramientas para crear cuadros de diálogo) y Memo Tools (herramientas de edición de temas, tablas, vistas, entre otros); la instalación de ArcExplorer (Software libre), y la instalación de Seagate Crystal Reports.

## **CONCLUSIONES**

### **INUNDACIONES**

La mayoría de inundaciones producidas sobre las cuencas de los ríos Pita y San Pedro, según las encuestas realizadas, se producen por lo general en los meses de abril y marzo debido a que los suelos se encuentran saturados de agua y, al generarse una lluvia fuerte, toda el agua se escurre y puede producir una inundación.

La inundación más fuerte producida en el cantón Rumiñahui fue la ocurrida en el Río Pita, el 24 de marzo de 1997. Esta crecida causó daños a los habitantes que viven en las cercanías a los ríos, llevándose parte de una casa en el barrio Santa Teresa y también afectó a las casas situadas en el barrio de Playa Chica. Además, la crecida se llevó parte del botadero de Cashapamba y transportó a basura aguas abajo.

Los ríos contienen desechos sólidos grandes y, en el caso de producirse una crecida anormal de los ríos, se puede generar un represamiento e inundar las zonas aledañas al mismo.

Debido a que no existen estaciones hidrométricas dentro de la ciudad de Sangolquí que monitoreen los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro, se tuvo que analizar toda el área correspondiente a las cuencas de dichos ríos, con el objetivo de determinar su caudal máximo de crecida.

Para determinar el caudal máximo de crecida de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, se empleó dos métodos de cálculo: método estadístico y método directo. El método estadístico se empleó para determinar el caudal de los ríos Pita y San Pedro hasta las estaciones hidrométricas Pita A.J. Salto y San Pedro en Machachi, y dicho caudal se trasladó hasta el área de estudio. El método indirecto se empleó para determinar el caudal de los ríos Santa Clara, Sambache, Tinajillas y San Nicolás, hasta el sitio de estudio.

Para calcular de los caudales máximos de crecida de inundación de los ríos Pita, Santa Clara, Sambache, Tinajillas, San Nicolás y San Pedro para

periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, se utilizó los mapas Base, de Uso y Cobertura Vegetal, de Suelos, de Pendientes, entre otros, a escala 1:50.000. Se empleó estos mapas sólo con el fin de determinar el valor del caudal máximo de crecida, medido en  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ .

Existen lugares donde las zonas de alta, mediana y baja amenaza de inundaciones no se diferencian, esto se debe a que la pendiente es más fuerte.

El mapa de peligrosidad de inundaciones se generó en base a las zonas de inundación delimitadas en el mapa de amenaza y a la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno. Debido a que a la amenaza de cada río y la probabilidad de ocurrencia de una inundación se determinó para los mismos periodos de retorno, el mapa de amenaza de inundaciones gráficamente es igual al mapa de peligrosidad.

Se encuentran 183 construcciones dentro de las zonas de peligrosidad de inundaciones, de las cuales 96 están dentro de la zona de alta peligrosidad, 38 dentro de la zona de mediana peligrosidad y 49 dentro de la zona de baja peligrosidad. Estos datos se obtuvieron con la ayuda de la aplicación SIG.

Se realizó un muestreo con el fin de determinar el número de centroides de la construcción que se iban a emplear en la interpolación de la variable vulnerabilidad. El tamaño de la muestra determinado a través del análisis fue de 590 centroides. En vista de que se enlazaron 5.609 centroides de la construcción con la base de datos del Departamento de Catastro, se utilizaron dichos centroides para realizar la interpolación.

La vulnerabilidad de la construcción frente a incendios se evaluó a través del Proceso Analítico Jerárquico, dando como resultado un modelo de vulnerabilidad que involucra los elementos estructurales y los acabados de la construcción.

Para generar el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones se realizó una interpolación con un radio de acción de 8 puntos, mediante el método IDW. De esta forma se logró que la variable vulnerabilidad sea más local.

Para evaluar el riesgo derivado de inundaciones se multiplicó el mapa de peligrosidad y el de vulnerabilidad de la construcción, en formato raster;

a este mapa posteriormente se lo reclasificó en tres zonas de alto, mediano y bajo riesgo.

Se encuentran 182 construcciones dentro de las zonas de riesgo derivado de inundaciones, de la cuales 80 están dentro de la zona de alto riesgo, 20 dentro de la zona de mediano riesgo y 82 dentro de la zona de bajo riesgo.

El mapa de riesgo de inundaciones se ve afectado en ciertos lugares debido a que depende de la vulnerabilidad de la construcción, es decir si existen construcciones cercanas a los ríos el riesgo se incrementa, pero si no existen construcciones éste disminuye. Pero esto no quiere decir que se puede construir en ese lugar.

El mapa de riesgo va a estar continuamente cambiando conforme la ciudad de Sangolquí se vaya poblando en las cercanías a los ríos, ya que al construir más casas el mapa de vulnerabilidad cambia, por consiguiente también cambia el mapa de riesgo. El mapa de riesgo es dinámico.

## **INCENDIOS**

Con las visitas de campo se constató que existen 9 estaciones de servicio, 8 distribuidoras de gas, 1 centro de acopio de gas, 25 lubricadoras, 8 locales de pinturas, 18 ferreterías y 35 industrias; en total existen 104 lugares de amenaza de incendio en Sangolquí. Además, se determinó la cantidad aproximada y el tipo de combustible que posee cada uno de estos lugares con el fin de determinar el área de afectación en caso de un incendio. Se conoció también cómo son y en qué condiciones están las instalaciones eléctricas, si poseen o no equipo contra incendios como extintores (cantidad, tipo y estado), hidrantes de agua cercanos al lugar y sistemas detectores de incendios, para determinar la probabilidad de ocurrencia de un incendio en cada uno de los lugares de amenaza.

Se determinó la probabilidad de ocurrencia de un incendio a través del Proceso Analítico Jerárquico usando como variables para el modelo de probabilidad, la cantidad de combustible, las instalaciones eléctricas, el equipo contra incendios y el sistema detector de incendios. Se determinó la probabilidad de ocurrencia de un incendio de forma subjetiva, ya que no existen datos estadísticos.

Se generó el mapa de peligrosidad en base al mapa de amenaza y a la probabilidad de ocurrencia de incendio en cada lugar de amenaza. Se tomó el máximo evento esperado en la ciudad de Sangolquí, es decir el que mayor área de afectación produce, y se determinó de esta manera la peligrosidad de incendios. Obteniendo así, tres zonas de peligrosidad (alta, mediana y baja).

Se encuentran 3.912 construcciones dentro de las zonas de peligrosidad de incendios, de la cuales 579 están dentro de la zona de alta peligrosidad, 1.341 dentro de la zona de mediana peligrosidad y 1.992 dentro de la zona de baja peligrosidad. En la siguiente tabla se indica la cantidad de construcciones que se encuentran en cada una de las zonas de peligrosidad:

Lugares de Amenaza de Incendios	Zonas de Peligrosidad			
	Alta	Mediana	Baja	Total
<b>Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas</b>	<b>93</b>	<b>214</b>	<b>338</b>	<b>645</b>
<b>Estaciones de Servicio</b>	<b>227</b>	<b>554</b>	<b>840</b>	<b>1621</b>
<b>Ferreterías y Locales de Pinturas</b>	<b>110</b>	<b>281</b>	<b>912</b>	<b>803</b>
<b>Lubricadoras</b>	<b>68</b>	<b>121</b>	<b>220</b>	<b>409</b>
<b>Industrias</b>	<b>104</b>	<b>394</b>	<b>596</b>	<b>1094</b>

Total **4572**

Tabla 3.63. Número de Construcciones localizadas dentro de las Zonas de Peligrosidad de Incendio  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

El número de construcciones dentro de las zonas de peligrosidad de incendios de todos los lugares de amenaza no es igual a la suma de las construcciones ubicadas dentro de las zonas de peligrosidad de incendios de cada uno de los lugares de amenaza debido a que existen 660 construcciones que están afectadas por más de un peligro de incendio.

La vulnerabilidad de la construcción frente a incendios se evaluó a través del Proceso Analítico Jerárquico, dando como resultado un modelo de vulnerabilidad que involucra los elementos estructurales y los acabados de la construcción.

Para generar el mapa de vulnerabilidad de la construcción frente a inundaciones se realizó una interpolación con un radio de acción de 10 puntos, mediante el método IDW. De esta forma se logró que la variable vulnerabilidad sea más local.

Para evaluar el riesgo derivado de incendios se multiplicó el mapa de peligrosidad y el de vulnerabilidad de la construcción, en formato raster; a este mapa posteriormente se lo reclasificó en tres zonas de alto, mediano y bajo riesgo.

Se encuentran 3.912 construcciones dentro de las zonas de riesgo derivado de incendios de todos los lugares de amenaza, de la cuales 418 están dentro de la zona de alto riesgo, 1.185 dentro de la zona de mediano riesgo y 2.309 dentro de la zona de bajo riesgo. La cantidad de construcciones en cada uno de los lugares de amenaza de incendios se indica en el siguiente cuadro:

Lugares de Amenaza de Incendios	Zonas de Riesgo			
	Alta	Mediana	Baja	Total
<b>Distribuidoras y Centros de Acopio de Gas</b>	<b>78</b>	<b>213</b>	<b>354</b>	<b>645</b>
<b>Estaciones de Servicio</b>	<b>176</b>	<b>516</b>	<b>929</b>	<b>1621</b>
<b>Ferreterías y Locales de Pinturas</b>	<b>63</b>	<b>239</b>	<b>501</b>	<b>803</b>
<b>Lubricadoras</b>	<b>32</b>	<b>108</b>	<b>269</b>	<b>409</b>
<b>Industrias</b>	<b>91</b>	<b>269</b>	<b>734</b>	<b>1094</b>

Total **4572**

Tabla 3.64. Número de Construcciones localizadas dentro de las Zonas de Peligrosidad de Incendio  
Fuente: Rebeca Bravo Prado

**El número de construcciones dentro de las zonas de riesgo derivado de incendios de todos los lugares de amenaza no es igual a la suma de las construcciones ubicadas dentro de las zonas de riesgo derivado de incendios de cada uno de los lugares de amenaza debido a que existen 660 construcciones que están afectadas por más de un riesgo de incendio.**

**El mapa de riesgo de incendios se ve afectado en ciertos lugares debido a que depende de la vulnerabilidad de la construcción, es decir, si existen construcciones cercanas a los lugares de amenaza el riesgo se incrementa, pero si no existen construcciones éste disminuye.**

**El mapa de riesgo va a estar continuamente cambiando conforme la ciudad de Sangolquí se vaya poblando en las cercanías a los lugares de amenaza, ya que al construir más casas el mapa de vulnerabilidad cambia, por consiguiente también cambia el mapa de riesgo. El mapa de riesgo es dinámico.**

## **APLICACIÓN SIG**

**La aplicación SIG diseñada para el usuario municipal sirve para generar mapas de riesgo derivado de inundaciones e incendios y para realizar consultas en los mapas de peligrosidad y riesgo derivado de inundaciones e incendios. Se realizó esta aplicación en ArcView para que el usuario tenga varias herramientas que le ayuden a modificar los mapas.**

**La aplicación SIG diseñada para el usuario público sirve para visualizar los mapas de peligrosidad de inundaciones e incendios. Se realizó esta aplicación en ArcExplorer para que el usuario no pueda modificar los mapas.**

## **AMBIENTALES**

**Los ríos de la ciudad de Sangolquí se encuentran contaminados con desechos industriales, desechos residenciales, desechos sólidos (basura,**

**animales muertos, desperdicios del camal), entre otros, lo que provoca un impacto ambiental.**

**Existe una mala ubicación del botadero de Cashamba. En la crecida hidrológica del Río Pita, el río se llevo una gran parte de la basura que fue depositado aguas abajo, por Playa Chica.**

## **RECOMENDACIONES**

### **INUNDACIONES**

**Los organismos encargados de la seguridad de la ciudad de Sangolquí deben llevar un registro técnico de las inundaciones producidas en dicha ciudad.**

**Se debe crear tablas que permitan determinar el grupo hidrológico del suelo, el parámetro umbral de escorrentía y el número hidrológico, que se adapten al uso de suelo, cobertura vegetal y tipo de suelo del Ecuador, para determinar con mayor precisión el caudal máximo de crecida.**

**Es de vital importancia que la ciudad disponga de sistemas de alerta temprana de crecidas que permitan anticipar los efectos de las lluvias, de manera que se pueda alertar a la población. Se podría instalar una estación de nivel automático en los ríos que poseen gran caudal, como los ríos Pita y San Pedro, para que determine los niveles del río de forma constante y automática, y cuando se produzca un nivel anormal se active una alarma para alertar a la población.**

**Se debería crear planes de reforestación para sembrar árboles y arbustos pequeños en las orillas de los ríos para crear una barrera protectora y así evitar inundaciones.**

**El Ilustre Municipio de Rumiñahui debería realizar limpiezas constantes de los lechos ríos y excavaciones en los lugares planos para ampliar el cauce de los mismos, y así evitar inundaciones.**

**El Ilustre Municipio de Rumiñahui debe crear una ordenanza que prohíba construir en las cercanías a los ríos, para lo cual debe establecer las distancias de retiro según el mapa de peligrosidad de inundaciones.**

**Se recomienda que el personal del Ilustre Municipio de Rumiñahui, para efectos del desarrollo urbano, se guíe según el mapa de peligrosidad de inundaciones, ya que la peligrosidad no está sujeto a cambios.**

**Los organismos encargados de la seguridad de la ciudad de Sangolquí deben crear planes de contingencia para inundaciones, para así tener planes de evacuación ante la manifestación de este fenómeno, tomar**

medidas preventivas, informar y educar a la población para que conozcan los riesgos potenciales a los que se exponen.

## **INCENDIOS**

No se especificaron los químicos que utilizan los lugares de amenaza, por lo que no se conoce ni su cantidad ni cual sería su afectación en caso de un incendio, se recomienda hacer un estudio más profundo en estos lugares debido a que no se conoce cual será su reacción frente al fuego ni en combinación con otros combustibles.

El Cuerpo de Bomberos de Rumiñahui debe controlar que los lugares de amenaza de incendios cumplan las normas de seguridad, y deben capacitar al personal para que reaccionen de una forma adecuada frente a un incendio.

Se recomienda que el personal del Ilustre Municipio de Rumiñahui, para efectos del desarrollo urbano, se guíe según el mapa de peligrosidad de incendios, ya que la peligrosidad no está sujeto a cambios.

Los organismos encargados de la seguridad de la ciudad de Sangolquí deben crear planes de contingencia para incendios, para así tener planes de evacuación ante la manifestación de este fenómeno, tomar medidas preventivas, informar y educar a la población para que conozcan los riesgos potenciales a los que se exponen.

## **APLICACIÓN SIG**

Se recomienda incorporar a la aplicación SIG, los demás riesgos a los que se ve expuesta la ciudad de Sangolquí.

## **AMBIENTALES**

**El Ilustre Municipio de Rumiñahui debe exigir a las industrias que traten sus desechos líquidos antes de emitir a los ríos.**

**El Ilustre Municipio de Rumiñahui debe educar a la población para que no arroje desechos sólidos a los ríos, ya que ellos se perjudican.**