



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

**“DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES FRENTE A RIESGOS DE INUNDACIÓN Y HUAYCOS EN LA ZONA ALEDAÑA AL RÍO PACHATUSAN Y SUS PROPUESTAS DE MITIGACIÓN”**

---

**Presentado por el Bachiller:**

Christiaan Gutiérrez Baca

***PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL***

**Asesor:**

M.Sc. Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia

CUSCO – PERÚ

2018



## DEDICATORIA

*La presente tesis se la dedico a JESUCRISTO, a mi familia y especialmente a mis padres Felipe Gutierrez Mamani y Vilma Martina Baca Chamorro que gracias al apoyo incondicional pude concluir la presente tesis.*

*A mis hermanos Glisshet, Erick, Verónica y Luis Enrique. Por su apoyo y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos y ser un profesional competente.*

*A mis maestros que me influyeron con sus lecciones y experiencias profesionales en mi formación como profesional.*

*A mis amigos que me apoyaron en el transcurso de la elaboración de la tesis.*

*A todos en general por darme el tiempo para realizarme profesionalmente.*





## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a la prestigiosa Universidad Andina del Cusco. Por ser alma mater en cuyas aulas me desarrollé, desarrolle y forme como Ingeniero Civil. Así como también agradecer al M. Sc. Ing. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia, por su esfuerzo, dedicación, conocimiento, paciencia y motivación que ha sido fundamental para mi formación como investigador. Es por ello que resalto y reconozco el apoyo recibido durante el período de tiempo que ha durado esta tesis.

Asimismo, agradezco a mis docentes universitarios, Ing. Edson Salas Forton, Ing. Carlos Luna Loayza que me guiaron y enriquecieron de conocimientos plasmados en el presente documento y a mis docentes de la Universidad Andina del Cusco por su ejemplo y profesionalismo que me han ayudado a lo largo de mi formación académica.

A la empresa Ingeniería Geotecnia y Materiales E.i.r.l por ayudarme con el alcance y acceso de los instrumentos de medición donde tuve la oportunidad de aprender y culminar una parte del presente trabajo de investigación.

Asimismo, agradecer a JESUCRISTO por darme sabiduría y acompañarme a lo largo de mi vida, dándome lecciones a diario e impulsándome a seguir en la búsqueda de superación y realización.





## RESUMEN

La presente tesis identificó las áreas vulnerables frente a los distintos riesgos de inundaciones y huaycos en las zonas aledañas al río Pachatusan y así como también estableció propuestas de mitigación, para salvaguardar la vida y los bienes materiales de los pobladores de la comunidad de Choquepata.

En el desarrollo de la tesis se determinó las características fisiográficas de la cuenca del río Pachatusan, la regionalización de las precipitaciones máximas para la cuenca de estudio, y a partir de estos últimos datos se calcula la intensidad de lluvia y las características físico mecánicas del suelo, de las zonas con afloramiento de manantes.

Se realizó el cálculo de los caudales máximos para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años los cuales son de (77.40, 95.40, 147.50) m<sup>3</sup>/s correspondientemente y a partir de estos datos se estimaron los peligros, áreas vulnerables y riesgos que generan los distintos fenómenos meteorológicos como son las inundaciones y huaycos. Luego del análisis de los resultados se determina un total de 32.30 ha de áreas afectadas, dentro de las cuales hay 77 viviendas afectadas de un total de 116. Asimismo se indica que la topografía de la cuenca es accidentada media y a la vez es una de las variables que influye en el incremento de caudales y posterior formación de huaycos así como también se indica que las características físico mecánicas de las zonas con afloramientos de manantes influyen en la generación de deslizamientos y posterior formación de huaycos, y las medidas de mitigación (obras hidráulicas) existentes son insuficientes y serán superados por los caudales y se desbordara hacia las áreas aledañas del río Pachatusan.

**PALABRAS CLAVE:** Áreas Vulnerables, Caudales, Huaycos, Inundación, Mitigación, Peligro, Precipitación, Riesgos, Vulnerabilidad.





## SUMMARY

This thesis identified the vulnerable areas facing the different risks of floods and mudslides in the areas surrounding the Pachatusan River and established mitigation proposals to safeguard the life and material goods of the residents of the community of Choquepata.

In the development of the thesis the physiographic characteristics of the Pachatusan river basin, the regionalization of the maximum precipitations for the study basin were determined, and from these last data the rain intensity and the physical-mechanical characteristics of the soil are calculated, of areas with upwelling.

The calculation of the maximum flow rates for return periods of 50, 100 and 500 years was made which are (77.40, 95.40, 147.50) m<sup>3</sup> / s correspondingly and from these data were estimated the hazards, vulnerable areas and risks that generate the different meteorological phenomena such as floods and mudslides. After the analysis of the results a total of 32.30 ha of affected areas is determined, among which there are 77 affected dwellings out of a total of 116. It is also indicated that the topography of the basin is uneven and it is one of the variables that influence the increase of flows and subsequent formation of huaycos as well as it is indicated that the physical and mechanical characteristics of the areas with outcrops of springs influence the generation of landslides and subsequent formation of huaycos, and mitigation measures (hydraulic works ) existing are insufficient and will be exceeded by the flows and will overflow to the surrounding areas of the Pachatusan River.

**KEY WORDS:** Vulnerable Áreas, Floods, Huaycos, Flood, Mitigation, Danger, Precipitation, Risks, Vulnerability.



## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación determinó las áreas vulnerables frente a los riesgos de inundación y huaycos, así como también se planteó propuestas de mitigación, a lo largo de las zonas aledañas del río Pachatusan.

En la parte baja de la cuenca hay áreas ocupadas por viviendas, instituciones educativas y terrenos agrícolas, los cuales se encuentran distribuidos a lo largo del río Pachatusan. En esta zona no se tuvo identificada las áreas vulnerables que corren el riesgo de ser afectadas por huaycos e inundaciones. Estos riesgos fueron importantes estimarlos y determinarlos debido para así proponer medidas de mitigación para hacer frente a estos riesgos que inducirán a pérdidas humanas y materiales.

Con este propósito se determinó los caudales máximos utilizando fórmulas empíricas, y a partir del análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones pluviométricas de Granja Kayra, Cay-Cay y Pisac, se estimaron las curvas de intensidad duración y periodo de retorno (IDT), Asimismo se determinó las características físico mecánicas de los suelos de las zonas con afloramiento de manantes con el fin de saber si son susceptibles a deslizarse.

Con la información y los lineamientos del manual básico de riesgos del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Se determinaron las áreas vulnerables propensas a ser afectadas por huaycos e inundaciones, es así que para hacer frente a estos riesgos se plantea distintas propuestas (obras hidráulicas) de mitigación los cuales reducirán el riesgo y salvaguardará la vida humana y material de la población de la comunidad de Choquepata.



## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
RESUMEN.....	III
SUMMARY .....	IV
INTRODUCCIÓN .....	V
ÍNDICE .....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....	4
1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	4
1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD .....	4
1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA .....	4
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.3.1. LIMITACIONES DE ORDEN GEOGRÁFICO.....	5
1.3.2. LIMITACIONES DE ESTUDIO .....	6
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	6
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.5. HIPÓTESIS .....	7
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	7
1.5.2. SUB HIPÓTESIS.....	7
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES .....	8
1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES .....	8
1.6.2. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES.....	9
1.6.3. VARIABLES DEPENDIENTES .....	9



1.6.4. INDICADORES DE VARIABLES DEPENDIENTES .....10

1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....11

**CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO ..... 12**

**2. MARCO TEÓRICO ..... 12**

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN ACTUAL ..... 12

2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL .....12

2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....15

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES..... 17

2.2.1. CONCEPTO DE HIDROLOGÍA .....17

2.2.2. CICLO HIDROLÓGICO.....17

2.2.3. CUENCA HIDROLÓGICA.....18

2.2.4. CORRIENTE PRINCIPAL .....26

2.2.5. PRECIPITACIÓN .....27

2.2.6. ESTIMACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA29

2.2.7. CAUDAL .....38

2.2.8. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON (HEC- RAS) .....51

2.2.9. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON (HEC-HMS).....51

2.2.10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS .....52

2.2.11. ESTABILIDAD DE TALUDES.....57

2.2.12. INUNDACIÓN.....60

2.2.13. EL TERMINO HUAYCO EN EL PERÚ.....65

2.2.14. GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.....71

2.2.15. MITIGACIÓN .....76

**CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....81**

**3. METODOLOGÍA..... 81**

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN ..... 81

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....81

3.1.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....81

3.1.3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....82

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ..... 82

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO .....82

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA .....82

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA ..... 84

3.3.1. POBLACIÓN .....84

3.3.2. MUESTRA.....84

3.3.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....85





**3.4. INSTRUMENTOS..... 85**

**3.4.1. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS.....85**

**3.4.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA .....97**

**3.5. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... 98**

**3.5.1. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MORFOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL PACHATUSAN .....98**

**3.5.2. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO-MECÁNICO DE LOS SUELOS.107**

**3.6. PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS. .... 125**

**3.6.1. DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA .....125**

**3.6.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA.....147**

**3.6.3. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE HUAYCOS .....169**

**3.6.4. CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DE LOS SUELOS 171**

**3.6.5. ESTIMACIÓN DE LAS SECCIONES DEL PUENTE PARA LOS CAUDALES CÁLCULOS PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE 50, 100 y 500 AÑOS. ....208**

**3.6.6. ESTIMACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES.....210**

**3.6.7. ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES.....213**

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....221**

**4. RESULTADOS ..... 221**

**4.1. RESULTADOS DEL PROCESO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS. .... 221**

**4.2. RESULTADO DE ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN Y PERÍODO DE RETORNO (IDT)..... 223**

**4.3. RESULTADO DE DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA ..... 225**

**4.4. RESULTADOS DE CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS ..... 227**

**4.5. RESULTADO DEL CÁLCULO DE CAUDALES DEL FLUJO DE HUAYCOS 230**

**4.6. RESULTADO DEL CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS SUELOS..... 230**

**4.7. RESULTADOS DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO..... 230**

**4.8. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LÍMITES DE ATTERBERG ..... 235**



4.9. RESULTADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ..... 237

4.10. RESULTADOS DE ESTRATIGRAFÍA DEL SUELO ..... 239

4.11. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO..... 240

4.12. RESULTADO DE ESTABILIDAD DE TALUDES ..... 241

4.13. ESTIMACIÓN DE NUEVAS SECCIONES DEL PUENTE ..... 242

4.14. RESULTADO DE LA ESTIMACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES ..... 243

4.14.1. MAPA DE ELEVACIONES DE LA ZONA DE ESTUDIO.....243

4.14.2. MAPA DE CALADOS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....244

4.14.3. MAPA DE VELOCIDADES DEL ÁREA DE INFLUENCIA POR LA  
INUNDACIÓN .....249

4.15. RESULTADO DEL CÁLCULO DE RIESGO..... 255

4.15.1. MAPA DE ESTRATO Y VALORACIÓN DE LAS ZONAS DE PELIGRO .....255

4.15.2. MATRIZ DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD .....256

4.15.3. MAPA TEMÁTICO DE CRITERIOS DE RIESGO .....257

4.16. PROPUESTAS PARA MITIGAR LOS RIESGOS..... 258

4.16.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURAL.....258

4.16.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURAL .....259

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....260

GLOSARIO.....263

CONCLUSIONES .....265

RECOMENDACIONES.....268

REFERENCIAS .....269

ANEXOS .....272

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA ..... 273

ANEXO B: PLANO DE PELIGROSIDAD ..... 274

ANEXO C: PLANO DE LA RED HIDROMETEROLÓGICA..... 275

ANEXO D: PLANO DEL PUENTE CHOQUEPATA..... 276

ANEXO E: PLANO DE MITIGACIÓN ..... 277

ANEXO F: GRÁFICA DEL CALADO DE CAUDALES MÁXIMOS..... 278

ANEXO G: CÁLCULO DE CAUDALES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE  
100 Y 500 AÑOS..... 279



<b>ANEXO G-1 CÁLCULO DE CAUDAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS .....</b>	<b>279</b>
<b>ANEXO G-2 CÁLCULO DE CAUDAL PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS .....</b>	<b>294</b>
<b>ANEXO I: PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>309</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1: Coeficientes de Escorrentía.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 2: Números de Curva de Escorrentía Para Usos Selectos de Tierra Agrícola, Suburbana y Urbana (Condiciones antecedentes de Humedad II, <math>I_a=0,2S</math>) .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 3: Clasificación Hidrológica de los Suelos .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 4: Condición de Humedad Antecedente Propuesto por (SCS).....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 5: Número de Curva Para Casos de Condición de Humedad Antecedente I y III.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 6: Gasto Unitario (q) (<math>m^3/s/mm/km^2</math>), en Función del Tiempo de Concentración (<math>T_c</math>) Horas.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla 7: Formato de Registro de Precipitaciones Máximas en 24 Horas ..</b>	<b>87</b>
<b>Tabla 8: Formato de Recolección de Datos Para Curvas Características de la Cuenca .....</b>	<b>88</b>
<b>Tabla 9: Formato de Recolección de Datos Para Estimación de Curvas (IDT).....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 10: Formato de Recolección de Datos Para Regionalización de Precipitaciones.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 11: Formato Recolección de Datos Contenido de Humedad .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 12: Datos Análisis Granulométrico.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 13: Formato de Límites de Consistencia .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 14: Formato de Ensayo de Peso Específico .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 15: Formato de Ensayo de Corte Directo .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 16: Formato de Registro de la Precipitación Máxima en 24 Horas (SENAMHI). .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 17: Formato de Registro de Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica de Cay-Cay.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 18: Formato de Registro de Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica de Granja Kayra. ....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 19: Formato de Recolección de Datos de Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica de Pisac.....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 20: Determinación de las Altitudes y Superficies Parciales de la Cuenca. ....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 21: Datos de las Características Fisiográficas de la Cuenca.....</b>	<b>103</b>



**Tabla 22: Formato de Recolección de Datos Para Determinar la Pendiente de la Cuenca del Río Pachatusan con la Fórmula de (TAYLOR SCHWARZ)..... 105**

**Tabla 23: Datos Para el Proceso de Regionalización de Precipitaciones Máximas en 24 Horas. .... 106**

**Tabla 24: Formato de Recolección de Datos Para Contenido de Humedad. .... 109**

**Tabla 25: Formato de Recolección de Datos Para Análisis Granulométrico. .... 111**

**Tabla 26: Formato de Recolección de Datos Para Límites de Consistencia. .... 114**

**Tabla 27: Formato de Recolección de Datos Para Clasificación Unificada de Suelos (Sucs). .... 115**

**Tabla 28: Formato de Recolección Para Ensayo de Corte Directo calicata N° -3..... 118**

**Tabla 29: Formato de Recolección para Ensayo de Corte Directo Calicata N°-2..... 120**

**Tabla 30: Formato de Recolección Para Ensayo de Corte Directo N°-1 .. 122**

**Tabla 31: Formato de Recolección Para el Ensayo de Peso Específico .. 125**

**Tabla 32: Regionalización de Precipitaciones Máximas por Distancia. ... 126**

**Tabla 33: Precipitación Máxima en 24 horas de la Estación Pluviométrica de Cay-Cay..... 127**

**Tabla 34: Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica de Kayra ..... 127**

**Tabla 35: Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica de Pisac..... 128**

**Tabla 36: Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica Regionalizada ..... 128**

**Tabla 37: Estimación de Curvas (IDT). .... 132**

**Tabla 38: Cálculo de la Duración en Minutos. .... 133**

**Tabla 39: Intensidades Máximas Ordenadas ..... 134**

**Tabla 40: Valores de Intensidad Máxima, Período de Retorno y Duración (Valores Ordenados de la Tabla 39). .... 135**



**Tabla 41: Estimación de Parámetros. (Extendiendo el Método de Mínimos Cuadrados, Caso Regresión Lineal Múltiple con 2 Variables Independientes)..... 138**

**Tabla 42: Planteó de Ecuaciones Para Determinar los Parámetros (k, a, b). ..... 142**

**Tabla 43: Determinación de la Ecuación que relaciona la Intensidad Máxima con el Período de Retorno y la Duración Para la Estación Regionalizada. .... 143**

**Tabla 44: Hietograma Para el Período de Retorno de 50 Años..... 145**

**Tabla 45: Hietograma Para el Período de Retorno de 100 Años..... 146**

**Tabla 46: Hietograma Para el Período de Retorno de 500 Años..... 146**

**Tabla 47: Determinación de las Curvas Características de la Cuenca Pachatusan. .... 148**

**Tabla 48: Características Fisiográficas ..... 149**

**Tabla 49: Método del Número de Curva Para Cálculo de Caudal..... 152**

**Tabla 50: Cálculo de Tiempo de Concentración por Distintas Fórmulas Empíricas..... 155**

**Tabla 51: Cálculo de Precipitación Máxima Corregida sobre la Cuenca (Método Racional Modificado)..... 158**

**Tabla 52: Determinación de la Intensidad de Lluvia (Método Racional) .. 158**

**Tabla 53: Coeficiente de Escorrentía (Método Mac-Math) ..... 160**

**Tabla 54: Cálculo de Caudal por los Distintos Métodos Empíricos ..... 160**

**Tabla 55: Cálculo del Hidrograma Unitario Triangular ..... 164**

**Tabla 56: Resumen de Resultados del Cálculo de Caudales (Qmax). .... 167**

**Tabla 57: Determinación del Caudal de Huaycos. .... 169**

**Tabla 58: Ensayo de Peso Específico Calicatas N<sup>o</sup>-1, N<sup>o</sup>-2, N<sup>o</sup>-3 ..... 183**

**Tabla 59: Estimación de la Sección del Puente T=50 AÑOS.....208**

**Tabla 60: Estimación de la Sección del Puente T=100 AÑOS.....209**

**Tabla 61: Estimación de la Sección del Puente T=500 AÑOS.....209**

**Tabla 62: Valoración del Peligro Progresiva 00+000 - 00-300 Metros .....213**

**Tabla 63: Valoración del Peligro Progresiva 00+300 – 00+600 Metros.....214**

**Tabla 64: Valoración del Peligro Progresiva 00+600 - 00-900 Metros .....215**

**Tabla 65: Valoración de la Vulnerabilidad Progresiva 0+000 - 0+300 Metros .....216**



**Tabla 66: Valoración de la Vulnerabilidad Progresiva 0+300 - 0+600 Metros**  
.....217

**Tabla 67: Valoración de la Vulnerabilidad Progresiva 0+600 – 0+900 Metros** .....218

**Tabla 68: Estimación del Riesgo Progresiva 0+00 - 0+300** .....219

**Tabla 69: Estimación del Riesgo Progresiva 0+300 - 0+600.** .....219

**Tabla 70: Estimación del Riesgo Progresiva 0+600 - 0+900** .....220

**Tabla 71: Estación Pluviométrica Regionalizada.**.....221

**Tabla 72: Resultados de Estimación de Curvas Intensidad-Duración y Período de Retorno (IDT)** .....223

**Tabla 73: Resultados de Caudales Máximos Período de Retorno de 50 Años.**.....227

**Tabla 74: Resultados de Caudales Máximos Período de Retorno de 100 Años.**.....228

**Tabla 75: Resultados de Caudales Máximos Período de Retorno de 500 Años.**.....229

**Tabla 76: Resultado de Caudales de Flujo de Huaycos** .....230

**Tabla 77: Resultado de Análisis Granulométrico Calicata N°-1**.....231

**Tabla 78: Resultado de Análisis Granulométrico Calicata N°-2**.....232

**Tabla 79: Resultado de Análisis Granulométrico Calicata N°-3**.....234

**Tabla 80: Resultado del Ensayo de límites de Atterberg Calicata N°-1**....235

**Tabla 81: Resultado del Ensayo de límites de Atterberg Calicata N°-2**....235

**Tabla 82: Resultado del Ensayo de límites de Atterberg Calicata N°-3**....236

**Tabla 83: Resultado de clasificación de Suelos (SUCS) Calicata N°-1** ....237

**Tabla 84: Resultado de clasificación de Suelos (SUCS) Calicata N°-2** ....237

**Tabla 85: Resultado de clasificación de Suelos (SUCS) Calicata N°-3** ....238

**Tabla 86: Estimación de Nuevas Secciones del Puente** .....242

**Tabla 87: Resumen de Resultados por Sección** .....254

**Tabla 88: Resultado Matriz de Peligro Vulnerabilidad Progresiva 0+00 - 0+300 Metros** .....256

**Tabla 89: Resultado Matriz de Peligro Vulnerabilidad Progresiva 0+300 - 0+600 Metros** .....256

**Tabla 90: Resultado de la Estimación de Daños o Impactos del Riesgo por Peligros Identificados.** .....257



**Tabla 91: Método del Número de Curva Para Cálculo de Caudal.....279**

**Tabla 92: Cálculo de Tiempo de Concentración por Distintas Fórmulas  
Empíricas.....282**

**Tabla 93: Cálculo de Precipitación Máxima Corregida sobre la Cuenca  
(Método Racional Modificado).....284**

**Tabla 94: Determinación de la Intensidad de Lluvia (Método Racional) ..285**

**Tabla 95: Coeficiente de Escorrentía (Método Mac-Math) .....286**

**Tabla 96: Cálculo de Caudal por los Distintos Métodos Empíricos .....287**

**Tabla 97: Cálculo del Hidrograma Unitario Triangular .....290**

**Tabla 98: Método del Número de Curva Para Cálculo de Caudal.....294**

**Tabla 99: Cálculo de Tiempo de Concentración por Distintas Fórmulas  
Empíricas.....297**

**Tabla 100: Cálculo de Precipitación Máxima Corregida sobre la Cuenca  
(Método Racional Modificado).....299**

**Tabla 101: Determinación de la Intensidad de Lluvia (Método Racional) 300**

**Tabla 102: Coeficiente de Escorrentía (Método Mac-Math) .....301**

**Tabla 103: Cálculo de Caudal por los Distintos Métodos Empíricos .....302**

**Tabla 104: Cálculo del Hidrograma Unitario Triangular .....305**





## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA Nº 1: Fotografía Punto de Interés .....</b>	<b>1</b>
<b>FIGURA Nº 2: Ubicación Geográfica del Estudio.....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA Nº 3: Zona de Estudio .....</b>	<b>2</b>
<b>FIGURA Nº 4: Delimitación Geográfica de la Cuenca del Río Pachatusan ..</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA Nº 5: Ciclo Hidrológico.....</b>	<b>17</b>
<b>FIGURA Nº 6: Curvas Características.....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA Nº 7: Características de la Curva Hipsométrica .....</b>	<b>20</b>
<b>FIGURA Nº 8: Pendiente de Acuerdo al Criterio de Alvord .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA Nº 9: Pendiente de Cauce Principal.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA Nº 10: Divisorias de Corrientes .....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA Nº 11: Precipitación Orográfica .....</b>	<b>28</b>
<b>FIGURA Nº 12: Precipitación Ciclónica .....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA Nº 13: Precipitación Total .....</b>	<b>29</b>
<b>FIGURA Nº 14: Tiempo de Concentración.....</b>	<b>30</b>
<b>FIGURA Nº 15: Cálculo de la Escorrentía en Función de la Precipitación y el Número de Curva N en (Pulgadas).....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA Nº 16: Cálculo de la Escorrentía en Función de la Precipitaciones y el Número de Curva N en (Cm).....</b>	<b>44</b>
<b>FIGURA Nº 17: Correlación de Tipo de Suelos .....</b>	<b>52</b>
<b>FIGURA Nº 18: Signos Convencionales Para Perfil de Calicatas, Clasificación (SUCS).....</b>	<b>53</b>
<b>FIGURA Nº 19: Muestra Según el Tamaño Máximo Nominal .....</b>	<b>54</b>
<b>FIGURA Nº 20: Serie de Tamices Para el Ensayo por Tamizado Según la Norma ASTM – 422.....</b>	<b>55</b>
<b>FIGURA Nº 21: Falla de un Talud .....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA Nº 22: Clasificación Básica de los Tipos de Inundación de Acuerdo al Origen .....</b>	<b>62</b>
<b>FIGURA Nº 23: Análisis de la Peligrosidad de Inundación o Inundabilidad .....</b>	<b>64</b>
<b>FIGURA Nº 24: Iniciación de Flujos en los Depósitos de Materiales.....</b>	<b>66</b>
<b>FIGURA Nº 25: Composición de Flujo de Escombros.....</b>	<b>67</b>
<b>FIGURA Nº 26: Estratigrafía de los Tipos de Suelos y el Tipo de Flujo. ....</b>	<b>68</b>



**FIGURA Nº 28: Clasificación según COSTA (1988) .....69**

**FIGURA Nº 29: Relación Altura v/s Distancia de Flujo .....69**

**FIGURA Nº 30: Clasificación de los Principales Peligros .....72**

**FIGURA Nº 31: Estratificación del Peligro.....73**

**FIGURA Nº 32: Cuadro de Vulnerabilidad Física .....74**

**FIGURA Nº 33: Estrato, Descripción y Valor de la Vulnerabilidad.....75**

**FIGURA Nº 34: Matriz de Peligro y Vulnerabilidad .....76**

**FIGURA Nº 35: Mapa Temático de Uso de Suelos .....80**

**FIGURA Nº 36: Zona de Estudio, Punto de Análisis. ....107**

**FIGURA Nº 37: Realización de la Zanja de Inspección.....108**

**FIGURA Nº 38: Fotografía del Lavado del Material.....110**

**FIGURA Nº 39: Fotografía del Tamizado del Material. ....110**

**FIGURA Nº 40: Fotografía del Tamizado del Material. ....111**

**FIGURA Nº 41: Proceso de Amasado .....113**

**FIGURA Nº 42: Fotografía del Moldeo de Muestras.....116**

**FIGURA Nº 43: Fotografía de Ensamblaje de la caja de Corte. ....116**

**FIGURA Nº 44: Fotografía de la Maquina de Corte. ....117**

**FIGURA Nº 45: Muestra Después de Realizado el Corte .....117**

**FIGURA Nº 46: Secado de la Muestra .....124**

**FIGURA Nº 47: Precipitación Máxima en 24 horas Estación de Cay-Cay 129**

**FIGURA Nº 48: Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica  
Kayra. ....129**

**FIGURA Nº 49 Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica  
Pisac.....130**

**FIGURA Nº 50: Precipitación Máxima en 24 Horas Estación Pluviométrica  
Regionalizada. ....130**

**FIGURA Nº 51: Comparación de las Precipitaciones Máximas de la  
Estación Regionalizada, con las Precipitaciones Máximas de las  
Estaciones Pluviométricas de (Kayra, Cay-Cay, Pisac).....131**

**FIGURA Nº 52: Curva (IDT) de la Estación Regionalizada.....144**

**FIGURA Nº 53: Curva Hipsométrica.....149**

**FIGURA Nº 54: Curva de Frecuencia de Altitudes. ....149**

**FIGURA Nº 55: Hidrograma Triangular .....165**

**FIGURA Nº 56: Datos Fisiográficos de la Cuenca Pachatusan .....165**



**FIGURA Nº 57: Ingreso del Número de Curva y la Abstracción Inicial... 166**

**FIGURA Nº 58: Dato de Transformación de la Precipitación en Caudal  
(Valor de Tiempo de Retardo)- ..... 166**

**FIGURA Nº 59: Ingreso de Datos de Intensidad Para el Período Retorno de  
50 Años..... 166**

**FIGURA Nº 60: Cálculo de Caudal Para un Periodo Retorno 50 Años ..... 167**

**FIGURA Nº 61: Curva Granulométrica Calicata Nº-1 ..... 173**

**FIGURA Nº 62: Curva Granulométrica Calicata Nº -2 ..... 175**

**FIGURA Nº 63: Curva Granulométrica Calicata Nº-3 ..... 177**

**FIGURA Nº 64: Límite Líquido Calicata Nº-1 ..... 179**

**FIGURA Nº 65: Límite Líquido Calicata Nº-2 ..... 180**

**FIGURA Nº 66: Criterios de Asignación de Símbolos de Grupo y Nombre  
con el Uso de Ensayos de Laboratorio (ASTM D 2487). ..... 185**

**FIGURA Nº 67: Carta de Plasticidad ..... 186**

**FIGURA Nº 68: Criterios de Asignación de Símbolos de Grupo y Nombre  
con el Uso de Ensayos de Laboratorio (ASTM D 2487). ..... 189**

**FIGURA Nº 69: Carta de Plasticidad ..... 190**

**FIGURA Nº 70: Criterios de Asignación de Símbolos de Grupo y Nombre  
con el Uso de Ensayos de Laboratorio..... 193**

**FIGURA Nº 71: Cartas de Plasticidad ..... 194**

**FIGURA Nº 72: Esfuerzo Cortante v/s Deformación Calicata Nº-1..... 201**

**FIGURA Nº 73: Esfuerzo Normal v/s Esfuerzo Cortante Calicata Nº-1 ..... 201**

**FIGURA Nº 74: Esfuerzo Cortante v/s Deformación Calicata Nº-2..... 204**

**FIGURA Nº 75: Esfuerzo Normal v/s Esfuerzo Cortante Calicata Nº-2 ..... 204**

**FIGURA Nº 76: Esfuerzo Cortante v/s Deformación Calicata Nº-3..... 207**

**FIGURA Nº 77: Esfuerzo Normal v/s Esfuerzo Cortante Calicata Nº-3 ..... 207**

**FIGURA Nº 78: Imagen Satelital de la Zona de Estudio Talud Nº-1 ..... 210**

**FIGURA Nº 79: Puntos de Interfaz del Talud Nº-1 ..... 210**

**FIGURA Nº 80: Cálculo del Factor de Seguridad del Talud Nº-1 ..... 211**

**FIGURA Nº 81: Imagen Satelital del Talud Nº-2..... 211**

**FIGURA Nº 82: Puntos de Interfaz del Talud Nº-2..... 211**

**FIGURA Nº 83: Cálculo del Factor de Seguridad del Talud Nº-2 ..... 212**

**FIGURA Nº 84: Imagen Satelital del Talud Nº-3..... 212**

**FIGURA Nº 85: Puntos de Interfaz del Talud Nº 3 ..... 212**



**FIGURA Nº 86: Cálculo del Factor de Seguridad del Talud Nº-3 .....213**

**FIGURA Nº 87: Dispersión de los Datos de Precipitación Regionalizada  
con Respecto a las Estaciones Pluviométricas Analizadas .....222**

**FIGURA Nº 88: Curva (IDT) Estación Regionalizada.....224**

**FIGURA Nº 89: Curva Hipsométrica.....225**

**FIGURA Nº 90: Curva Granulométrica Calicata Nº-1 .....231**

**FIGURA Nº 91: Curva Granulométrica Calicata Nº-2 .....233**

**FIGURA Nº 92: Curva Granulométrica Calicata Nº-3 .....234**

**FIGURA Nº 93: Mapa de Elevaciones del Área de Estudio.....243**

**FIGURA Nº 94: Mapa de Calados del Área de Estudio. ....244**

**FIGURA Nº 95: Sección Transversal Progresiva 00+915.....245**

**FIGURA Nº 96: Sección Transversal Progresiva 00+700.....245**

**FIGURA Nº 97: Sección Transversal Progresiva 00+650.....246**

**FIGURA Nº 98: Sección Transversal Progresiva 00+565.....246**

**FIGURA Nº 99: Sección Transversal Progresiva 00+334.....247**

**FIGURA Nº 100: Sección Transversal Progresiva 00+120.....247**

**FIGURA Nº 101: Sección Transversal Progresiva 00+20.....248**

**FIGURA Nº 102: Sección Transversal Progresiva 00+005 .....248**

**FIGURA Nº 103: Mapa de Velocidades del Área de Estudio .....249**

**FIGURA Nº 104: Sección Transversal Progresiva 00+875.....250**

**FIGURA Nº 105: Sección Transversal Progresiva 00+720.....250**

**FIGURA Nº 106: Sección Transversal Progresiva 00+600.....251**

**FIGURA Nº 107: Sección Transversal Progresiva 00+505.....251**

**FIGURA Nº 108: Sección Transversal Progresiva 00+225.....252**

**FIGURA Nº 109: Sección Transversal Progresiva 00+200.....252**

**FIGURA Nº 110 Sección Transversal Progresiva 00+120.....253**

**FIGURA Nº 111: Sección Transversal Progresiva 00+60.....253**

**FIGURA Nº 112: Mapa de Valoración de las Zonas de Peligro .....255**

**FIGURA Nº 113: Datos Fisiográficos de la Cuenca Pachatusan.....292**

**FIGURA Nº 114: Ingreso del Número de Curva y la Abstracción Inicial.292**

**FIGURA Nº 115: Dato de Transformación de la Precipitación en Caudal  
(Valor de Tiempo de Retardo).....293**

**FIGURA Nº 116: Ingreso de Datos de Intensidad Para el Período Retorno  
de 100 Años. ....293**



**FIGURA N° 117: Cálculo de Caudal Para un Periodo Retorno 100 Años .293**  
**FIGURA N° 118: Datos Fisiográficos de la Cuenca.....307**  
**FIGURA N° 119: Ingreso del Número de Curva y la Abstracción Inicial.307**  
**FIGURA N° 120: Dato de Transformación de la Precipitación en Caudal  
(Valor de Tiempo de Retardo).....308**  
**FIGURA N° 121: Ingreso de Datos de Intensidad Para el Período Retorno  
de 500 Años. ....308**  
**FIGURA N° 122: Cálculo de Caudal Para un Periodo Retorno 500 Años .308**

## CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

##### 1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el departamento del Cusco, provincia de Quispicanchis, distrito de Oropesa, se encuentra la cuenca del río Pachatusan, En esta cuenca en temporada de lluvias extraordinarias los caudales se incrementan y se desbordan provocando inundaciones a lo largo del río. Es por ello que se indica que en la parte baja de la cuenca hay áreas vulnerables que son afectadas por inundaciones o huaycos. Es más, las propuestas (obras hidráulicas) de mitigación son insuficientes y son superadas por los máximos caudales. Asimismo, en esta cuenca no se realizó estudios relacionados a la Geomorfología de la cuenca ni de estabilidad de taludes de las zonas con presencia de afloramientos de manantes propensos a deslizarse y provocar huaycos.

**FIGURA N° 1: Fotografía Punto de Interés**



Fuente: Elaboración Propia

### 1.1.1.1. Ubicación Geográfica

- DEPARTAMENTO : CUSCO
- PROVINCIA : QUISPICANCHIS
- DISTRITO : OROPESA
- COMUNIDAD : CHOQUEPATA

**FIGURA Nº 2: Ubicación Geográfica del Estudio**



Fuente: Adaptado de Google.

**FIGURA Nº 3: Zona de Estudio**



## **1.1.2. FORMULACIÓN INTERROGATIVA DEL PROBLEMA**

### **1.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General**

¿En la comunidad de Choquepata hay áreas vulnerables y propuestas de mitigación (obras hidráulicas) aledañas al río Pachatusan en riesgo de ser afectadas por inundaciones y huaycos?

### **1.1.2.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos.**

#### **1.1.2.2.1. Problema Específico N° 1**

¿Cuál será la influencia de la Geomorfología de la cuenca en la variación de los caudales máximos del río Pachatusan?

#### **1.1.2.2.2. Problema Específico N° 2**

¿De qué manera influye el factor de seguridad de estabilidad de taludes con respecto a la resistencia de los suelos de las zonas con afloramientos de manantes, a lo largo de la cuenca del río Pachatusan?

#### **1.1.2.2.3. Problema Específico N° 3**

¿De qué manera la variación de las precipitaciones máximas influye en la generación de huaycos e inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Pachatusan?

#### **1.1.2.2.4. Problema Específico N° 4**

¿De qué manera el régimen de escorrentía del río (Caudales máximos), afecta a las zonas de la parte baja de la cuenca del río Pachatusan?

#### **1.1.2.2.5. Problema Específico N° 5**

¿Cuáles serán las áreas vulnerables y de riesgo que puedan ser afectadas por huaycos e inundaciones generadas por los máximos caudales?

#### **1.1.2.2.6. Problema Específico N° 6**

¿Qué propuestas (obras hidráulicas) de mitigación se propondrán para hacer frente a los riesgos de inundación y huayco?





## **1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

Para la determinación de las áreas vulnerables frente a riesgos de inundación y huaycos en la zona aledaña al río Pachatusan. Se dispone de los instrumentos necesarios para determinar el perfil longitudinal del río y las características topográficas de la zona de interés, así como de la información meteorológica de 3 estaciones próximas, se cuenta con el acceso a los equipos de laboratorio de mecánica de suelos de la empresa “Ingeniería Geotecnia y Materiales E.i.r.l”. Se dispone también del software necesario para las evaluaciones y análisis en la investigación.

### **1.2.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

La investigación se justifica porque favorece a los pobladores de la comunidad de Choquepata. A quienes se les hará llegar las propuestas necesarias para mitigar los efectos de las inundaciones y huaycos que se presentan en las zonas aledañas al río Pachatusan, específicamente para proteger las viviendas, terrenos de cultivo y colegios.

### **1.2.3. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD**

Para esta investigación se tiene acceso a los datos hidrometeorológicos, y al laboratorio de mecánica de suelos de la Empresa Ingeniería Geotecnia y Materiales E.I.R.L, que cuenta con los equipos necesarios, así como también se tiene la accesibilidad al área de estudio y se cuenta con la disponibilidad económica para realizar la investigación.

### **1.2.4. JUSTIFICACIÓN POR RELEVANCIA**

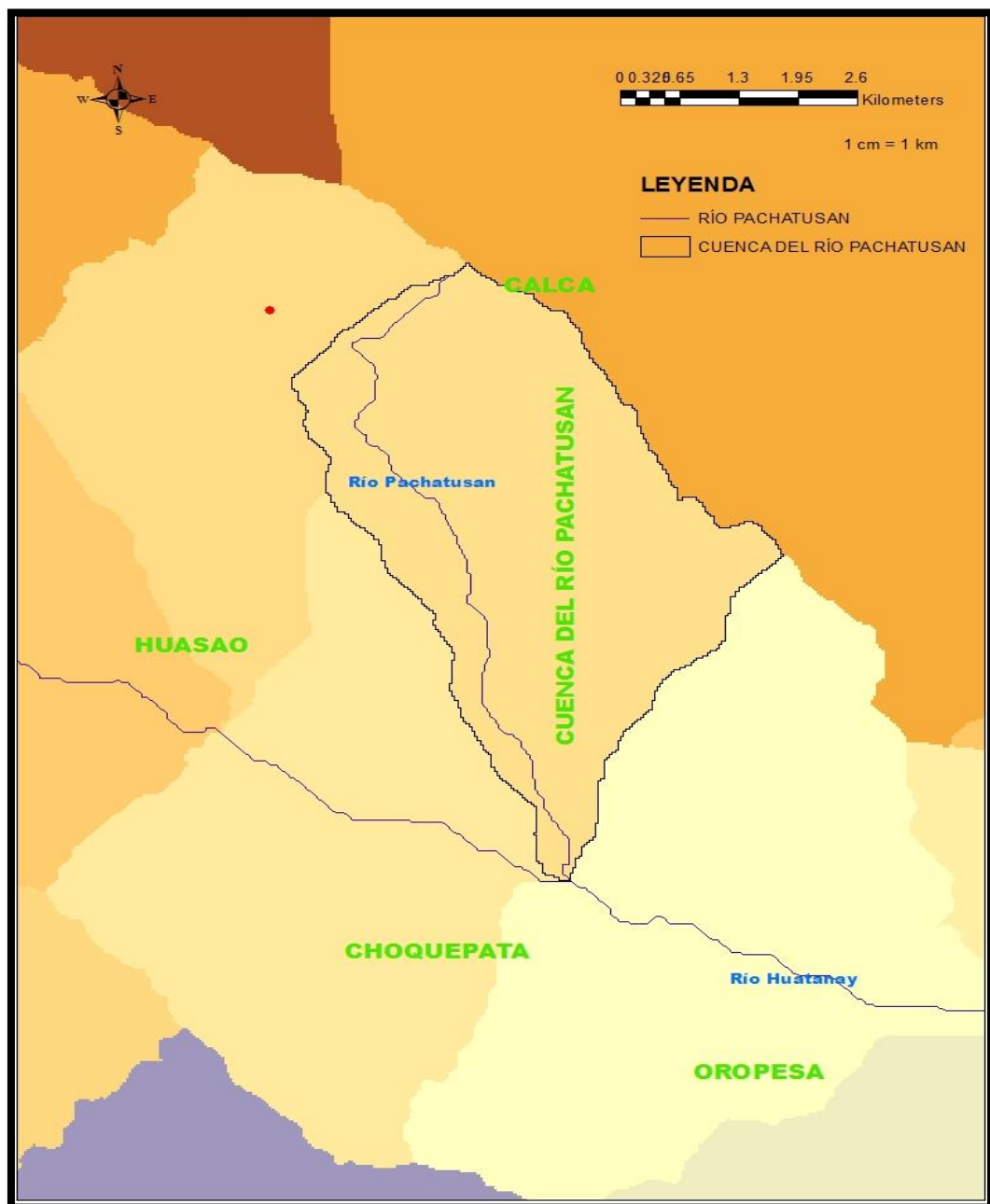
La investigación es relevante porque conlleva a salvaguardar la vida humana y material de los pobladores de la comunidad de Choquepata y así como también se protegerá el medio ambiente.

### 1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.3.1. LIMITACIONES DE ORDEN GEOGRÁFICO

La presente investigación se limita al área de la cuenca del río Pachatusan y a las zonas aledañas que podrían ser afectadas por inundaciones o huaycos.

**FIGURA Nº 4: Delimitación Geográfica de la Cuenca del Río Pachatusan**



Fuente: Elaboración Propia

### **1.3.2. LIMITACIONES DE ESTUDIO**

La investigación se limita a:

- Los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de los años comprendidos entre 1990 – 2014, de las estaciones meteorológicas de Pisac, Granja Kayra y Cay-Cay).
- Realizar la estimación de las curvas (IDT), a partir del análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas.
- La utilización del programa computacional denominado (HEC – RAS, Arc-Map).
- Determinar la característica física mecánicas del suelo, de las zonas con presencia de afloramiento de manantes.
- Se realiza el análisis de estabilidad de taludes con el programa Geo-5.

## **1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar los caudales máximos generados e identificar las áreas vulnerables, las características Geomorfológicas y proponer propuestas (Obras Hidráulicas) de mitigación frente a riesgos de inundaciones y huaycos en las zonas aledañas al río Pachatusan.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

#### **1.4.2.1. Objetivo Específico N° 1**

Identificar cuáles son las características Geomorfológicas que influyen en la variación del caudal máximo en el río Pachatusan.

#### **1.4.2.2. Objetivo Específico N° 2**

Determinar el factor de seguridad de estabilidad de taludes respecto a la resistencia de los suelos de las zonas con afloramiento de manantes, a lo largo de la cuenca del río Pachatusan.

#### **1.4.2.3. Objetivo Específico N° 3**

Analizar las precipitaciones máximas generadas dentro de la cuenca del río Pachatusan.

#### **1.4.2.4. Objetivo Específico N° 4**

Determinar los caudales máximos del río Pachatusan, para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años. Así como el tipo de régimen de escorrentía del río.

#### **1.4.2.5. Objetivo Específico N° 5**

Identificar las áreas vulnerables y de riesgo que puedan ser afectadas por huaycos e inundaciones. En las zonas aledañas al río Pachatusan.

#### **1.4.2.6. Objetivo Específico N° 6**

Plantear propuestas (Obras Hidráulicas) de mitigación para hacer frente a los riesgos de inundaciones y huaycos.

### **1.5. HIPÓTESIS**

#### **1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL**

En la zona baja de la cuenca del río Pachatusan hay áreas vulnerables menores a un 40% en riesgo de ser afectadas por huaycos e inundaciones. Asimismo, las propuestas (obras hidráulicas) de mitigación son insuficientes y son superados por los eventos meteorológicos antes mencionados.

#### **1.5.2. SUB HIPÓTESIS**

##### **1.5.2.1. Sub Hipótesis N° 1**

La Geomorfología y pendientes superiores a 10% de la cuenca del río Pachatusan Influyen en la variación del caudal máximo y genera inundaciones en la zona baja y aledaña al río Pachatusan.

##### **1.5.2.2. Sub Hipótesis N° 2**

Los factores de seguridad de estabilidad de taludes con respecto a la resistencia de los suelos de las zonas con presencia de afloramiento de manantes son menores a 1.5, esta característica influye en la generación de deslizamientos y posterior formación de huaycos.

##### **1.5.2.3. Sub Hipótesis N° 3**

Precipitaciones con intensidades superiores a 20 mm/hr, con periodos de retorno de 100 años y duraciones menores a 35 minutos generan inundaciones y huaycos en la parte baja de la cuenca del río Pachatusan.



#### **1.5.2.4. Sub Hipótesis N° 4**

Caudales superiores a 90 m<sup>3</sup>/s con períodos de retorno superiores a 100 años induce a la generación de huaycos e inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Pachatusan.

#### **1.5.2.5. Sub Hipótesis N° 5**

En la parte baja de la cuenca del río Pachatusan hay áreas vulnerables (viviendas, Instituciones educativas y terrenos agrícolas) menores a 40 % que son afectadas por la generación de huaycos e inundaciones.

#### **1.5.2.6. Sub hipótesis N° 6**

Las propuestas (obras hidráulicas) de mitigación existentes en la zona baja de la cuenca del río Pachatusan son insuficientes y son superados por caudales superiores a 58 m<sup>3</sup>/s que se genera para períodos de retorno mayores a 20 años, estos caudales generan riesgos de inundaciones y huaycos.

### **1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

#### **1.6.1. VARIABLES INDEPENDIENTES**

##### **1.6.1.1. Geomorfología**

Es la ciencia que estudia el relieve del terreno y su distribución en un espacio geográfico.

##### **1.6.1.2. Factor de Seguridad con Respecto a la Resistencia de los suelos**

Relación existente entre la resistencia cortante promedio del suelo y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

##### **1.6.1.3. Régimen de Lluvias**

Distribución de las alturas de lluvia en (mm), a lo largo del año.

## 1.6.2. INDICADORES DE VARIABLES INDEPENDIENTES

VARIABLE	INDICADOR
GEOMORFOLOGÍA	Área (Ha) Longitud (km) Altura (msnm) Pendiente (%) Curva Hipsométrica Coeficiente de Escorrentía
(FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES) con respecto a la resistencia de los suelos.	Tipo de suelo. Granulometría Contenido de agua (W) Límite líquido (%W) Límite plástico(%W) Índice plástico(%W) Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> ) Ángulo de fricción (°) Índice de Plasticidad (Ip)
RÉGIMEN DE LLUVIAS	Altura (mm) Período de Retorno (tiempo) Intensidad

## 1.6.3. VARIABLES DEPENDIENTES

### 1.6.3.1. Áreas Vulnerables

Zona de posible riesgo de ser afectada por uno de los fenómenos naturales como son huaycos e inundaciones.

### 1.6.3.2. Caudal del Río Pachatusan

Se refiere al volumen de agua que fluye a través del cauce del río en determinado momento.

### 1.6.3.3. Propuestas de Mitigación

Se refiere al conjunto de obras hidráulicas que tienen el fin de disminuir o reducir el riesgo generado por inundaciones o huaycos.



#### 1.6.4. INDICADORES DE VARIABLES DEPENDIENTES

VARIABLE	INDICADOR
ÁREAS VULNERABLES (HA)	Área (Ha) Longitud (km) Vulnerabilidad (muy alto, alto, medio, bajo) Peligro (%)
CAUDAL DEL RÍO PACHATUSAN	Caudal (m <sup>3</sup> /s) Tipo de flujo (permanente, no permanente)
PROPUESTAS (OBRAS HIDRÁULICAS) DE MITIGACIÓN	Estructurales y no Estructurales



**1.6.5. CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES					
TEMA DE LA INVESTIGACIÓN		“DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS VULNERABLES FRENTE A RIESGOS DE INUNDACIÓN Y HUAYCOS EN LA ZONA ALEDAÑA AL RÍO PACHATUSAN Y SUS PROPUESTAS DE MITIGACIÓN”			
TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
X1 INDEPENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA	Estudio de Aspectos Relacionados al relieve y la representación gráfica de la superficie terrestre.	Pendiente de la cuenca (ondulada, plana, empinada)	Área, (Ha) Longitud (Km) Alturas (Msnm)	Estación Total GPS
X2 INDEPENDIENTE	FACTOR DE SEGURIDAD DE TALUDES (CON RESPECTO A LA RESISTENCIA DE SUELOS)	Relación existente entre la resistencia cortante promedio del suelo y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.	Cohesión Ángulo de fricción Tipo de suelo Límite líquido Límite plástico	Tipo De Suelo, Cohesión Ángulo de fricción Límite líquido Límite plástico	Juego De Tamices Balanzas Hornos Equipo de consolidación
X3 INDEPENDIENTE	RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS	Cantidad de agua medida en volumen (mm), etc.	Máximas precipitaciones en 24 horas	Período de Retorno, Altura pluviométrica (mm) Intensidad	Datos pluviométricos
Y1 DEPENDIENTE	CAUDAL DEL RÍO PACHATUSAN	Se refiere al volumen de agua que fluye a través del cauce del río en determinado momento.	Máximos	Caudal (m3/s)	(Software ) Hec-Hms
Y2 DEPENDIENTE	ÁREAS VULNERABLES	Área de Influencia de la Inundación y el Huayco	Área vulnerable	Área (Ha) Longitud (Km) Peligro (%) Vulnerabilidad	Estación Total (Hec-Ras)
Y3 DEPENDIENTE	PROPUESTAS DE MITIGACIÓN	Son acciones que tienen el fin de disminuir o reducir el riesgo	Alto Medio Bajo	Estructurales No estructurales	Acciones de mitigación propuestas por (INDECI)



## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS O INVESTIGACIÓN

##### ACTUAL

##### 2.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

###### TEMA 1:

**“APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REGIONALIZACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE CAUDALES EN EL PUENTE CARRASQUILLO”**

**AUTOR:** Ariadna del socorro Chávez Jiménez

**UNIVERSIDAD:** Universidad de Piura

**AÑO:** 2009

###### RESUMEN:

Esta investigación tiene como propósito determinar los caudales que pasan por el puente Carrasquillo, a partir de información pluviométrica e hidrométrica de estaciones cercanas a la zona de estudio y determinar las características pluviométricas de dicha cuenca, logrando con ello caracterizar la región y relacionarla con la fisiografía de la zona de estudio así como calcular los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, Este análisis ayuda a realizar medidas adecuadas en el diseño de obras hidráulicas.

###### CONCLUSIONES:

El estudio llega a la conclusión de que para períodos de retorno menores a 15 años, los caudales estimados en la sección del puente Carrasquillo son mayores que los registrados en la sección del puente Ñacara, ubicado 27 km aguas abajo; para períodos superiores a 15 años el caudal en Carrasquillo es inferior al de Ñacara, comportamiento que se espera tomando en cuenta el concepto de “A mayor aportante, mayor caudal”.

La regionalización no solo permite conocer el comportamiento hidrológico en un punto determinado de una región, por medio de la transferencia de información de otro punto de la misma región, sino que brinda información respecto al,



número de estaciones que se tiene en la región o de la información almacenada, respecto a si es suficiente o no.

En el diseño de obras hidráulicas, se requiere la participación de varias ciencias, entre ellas se encuentran la hidrología e hidráulica, como base para los diseños hidráulicos. La investigación muestra una metodología para evaluar la hidrología en zonas donde la información hidrometeorológica es escasa para luego poder determinar así los caudales de diseño adecuados para el diseño hidráulico.

### **COMENTARIO:**

El estudio hace hincapié en obtener parámetros hidrometeorológicos y determinar las características morfológicas del río que permitan calcular caudales en la sección del puente Carrasquillo, a partir de información escasa con el fin de poder realizar el diseño adecuado de las obras hidráulicas.

### **TEMA 2:**

**“VULNERABILIDAD GEOTÉCNICA DE LAS QUEBRADAS ARROYO SECO Y PUCA PUCA EN LA CIUDAD DE AYACUCHO”**

**AUTOR:** “Roberto Narváez López”

**UNIVERSIDAD:** Universidad Nacional de Ingeniería.

**AÑO:** 2012

### **RESUMEN:**

Esta investigación tiene como principal propósito realizar mapas de vulnerabilidad para la cuenca de la Quebrada arroyo seco y sus aportantes, Puca Puca, Islachayocc, Pilacucho, que forma parte de la cuenca del río Alameda. Las altas precipitaciones, topografía, y la sismicidad constituyen los principales factores que conducen a la constante ocurrencia de colapsos del terreno que afectan a los habitantes y la infraestructura de la región. Con este análisis se realizará un proceso de planificación y gestión del riesgo en la zona.

## CONCLUSIONES:

El sector Arroyo Seco presenta un conjunto de amenazas de huaycos e inundaciones representadas principalmente por la presencia de los eventos climatológicos presentes durante los meses comprendidos entre noviembre y marzo. Y que estos afectan a las comunidades que se encuentran vulnerables frente a los riesgos de los fenómenos antes mencionados además se concluye que las características de los suelos son uno de los factores que influye en la presencia de amenazas en el sector arroyo seco y adicionalmente por la destrucción de la cobertura vegetal.

## COMENTARIO

El estudio hace hincapié en analizar de forma integral la vulnerabilidad, eventos meteorológicos, características físicas de los suelos.

Las variables antes mencionadas son uno de los factores que pueden generar huaycos en las zonas cercanas a Arroyo Seco en la ciudad de Ayacucho. Es por ello que ese debe de planificar y gestionar el riesgo en la zona.

## TEMA 3:

**Libro: "HOMENAJE A FÉLIX DENEGRÍ LUNA"**

**AUTOR:** "Francisca Denegri"

**UNIVERSIDAD:** Pontificia Universidad Católica del Perú

**AÑO:** 2000, Pág. 377

## RESUMEN

Fuentes orales señalan que en febrero de 1953 se produjo un aluvión o huayco causado por las torrenciales lluvias que azotaron la región por aquellos años, lo que causo el incremento de los caudales de manera considerable de los riachuelos Pitupujyo y Municipal Huayco, que nace en el nevado Pachatusan, ambos confluyeron en las partes altas, generaron deslizamientos las cuales se represaron y provocaron el Alud que sepulto parte de las edificaciones de la hacienda y las viviendas de los pobladores de la comunidad de Choquepata.



## 2.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

### TEMA 1:

**“DETERMINACIÓN DE ZONAS PROPENSAS A INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN EL ÁREA URBANA DE LOJA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE TERRENO”**

**AUTOR:** “Mayra Jackeline Acaro Jaramillo”

**UNIVERSIDAD:** Universidad Técnica Particular de Loja- Ecuador

**AÑO:** 2006

### RESUMEN:

La presente investigación determina cuáles son las zonas propensas a inundaciones, deslizamientos y un alto proceso erosivo mediante la utilización de modelos digitales del terreno en el área urbana de Loja. Así como también plantea un proceso y conjunto de pasos para atenuar los riesgos, y planificar en el área urbana de la ciudad de Loja. Así como también tiene el fin de proporcionar información para las distintas instituciones gubernamentales.

### CONCLUSIONES

La topografía de la zona de investigación es accidentada con alta susceptibilidad de erosión en el cual se verifica la existencia de viviendas los cuales son un peligro para los ocupantes.

Las altas precipitaciones, crecimiento y ocupación de la población de las zonas próximas al río, provocan que las inundaciones sean un riesgo y atenten contra la vida y el medio ambiente.

### COMENTARIO

El estudio hace hincapié a identificar las, áreas en las que se hayan establecido las distintas poblaciones en la ciudad de Loja, y éstas se encuentran a lo largo del río y corren el riesgo de ser afectadas por los deslizamientos e inundaciones. Así como también pone a disposición de las autoridades gubernamentales la información recopilada con el fin de realizar la planificación y gestión del riesgo.

**TEMA 1:**

**“CÁLCULO DE CAUDALES DE CRECIDA, CASO DE ESTUDIO CUENCA DEL RÍO CABRA, PANAMÁ”**

**AUTOR:** “Diego Arturo Gonzales Jaén”

**UNIVERSIDAD:** Universidad de san Carlos de Guatemala

**AÑO:** 2010

**RESUMEN:**

La presente investigación tiene por propósito analizar las características particulares de la cuenca que interfieren en el ciclo entre la precipitación y la escorrentía superficial la cual puede causar una inundación.

Esta investigación pone en énfasis las características relacionadas con el caudal aportado, especialmente con el volumen de agua y los niveles alcanzados, para luego correlacionarlos con la amenaza de inundación.

**CONCLUSIONES**

Al analizar los cálculos de caudales de crecidas de la cuenca del río cabra se encontró la relación que para un caudal de 300 m<sup>3</sup>/s en las correspondientes secciones de aforo el nivel de agua alcanza los 3 metros con lo que comienza a inundarse la parte baja de cuenca, aproximadamente donde se haya emplazada la comunidad de Nueva Esperanza.

La caracterización de la cuenca del río cabra fue indispensable para el cálculo de caudal debido a que están presentes factores desencadenantes de inundaciones como el cambio de uso de suelo que ha hecho al medio impermeable y ha facilitado el trabajo erosivo de las aguas de escurrimiento, convirtiendo el área de planicies en numerosos y dinámicos.

**COMENTARIO**

La presente investigación enfatiza en el tema de analizar los caudales de crecidas del río Cabra y ver cómo afecta las crecidas en la parte baja de cuenca y cuanta área es afectada por las crecidas, así como también realiza una

caracterización física de la cuenca y ver cuáles son los factores desencadenantes de inundaciones y posibles deslizamientos.

## 2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

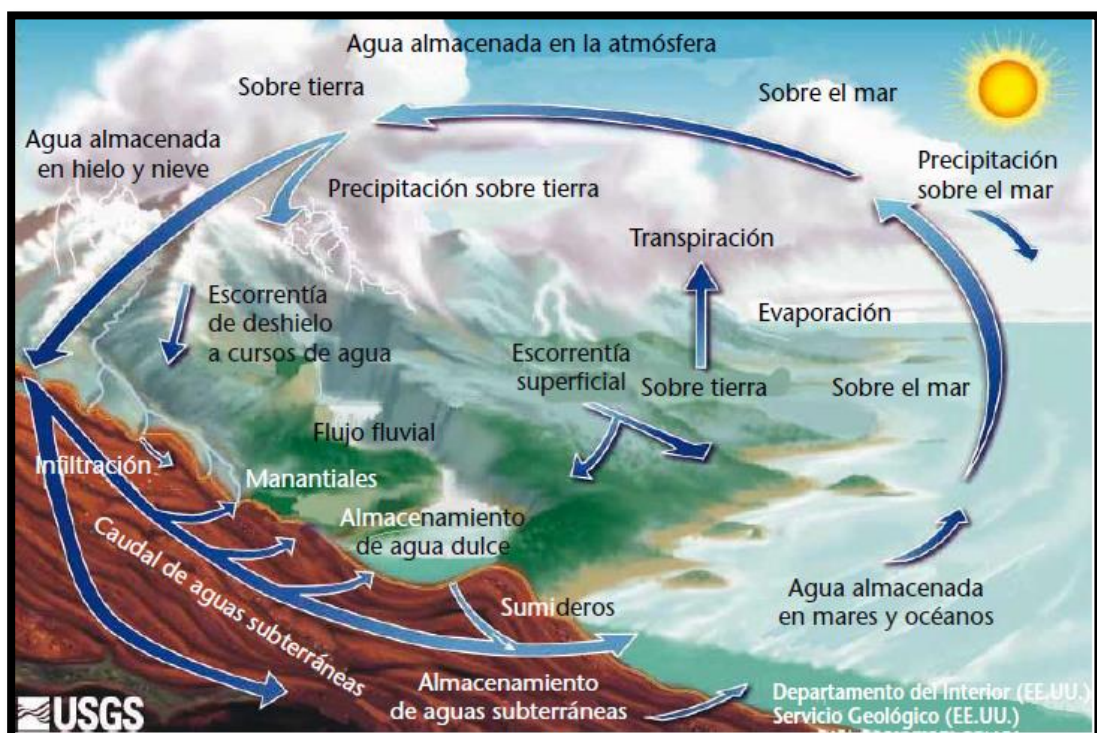
### 2.2.1. CONCEPTO DE HIDROLOGÍA

La Hidrología es la ciencia que estudia la presencia, distribución espacial y temporal del agua en la tierra, tanto por encima como por debajo de su superficie, y en particular estudia sus propiedades químicas, biológicas y físicas dentro de su interacción con el entorno físico. Es por ello que la hidrología ayuda a comprender las distintas fases del ciclo hidrológico, desde el paso del agua de la atmosfera a la tierra hasta su regreso a la atmosfera. (OMM, 2011).

### 2.2.2. CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es el foco central de la Hidrología, el ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. El agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmosfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmosfera hasta que se condensa y se precipita puede ser interceptada por la vegetación. (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

**FIGURA Nº 5: Ciclo Hidrológico**



Fuente: (OMM, 2011)

### **2.2.3. CUENCA HIDROLÓGICA**

Es el área del terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido. (Villón Béjar, 2002).

#### **2.2.3.1. Cuencas Exorreicas**

Las cuencas exorreicas tienen el correspondiente punto de salida en los límites de la cuenca y está en otra corriente o el mar. (Aparicio Mijares, 1992)

#### **2.2.3.2. Parteaguas**

Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. (Aparicio Mijares, 1992).

#### **2.2.3.3. Perímetro de la Cuenca**

Se refiere al borde de la forma de la cuenca proyectada en un plano horizontal, es de forma irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca. (Villón Béjar, 2002).

#### **2.2.3.4. Superficie de la Cuenca**

Se refiere al área proyectada en un plano horizontal, es de forma muy irregular, se obtiene después de delimitar la cuenca, se expresa en Km<sup>2</sup> o has. (Villón Béjar, 2002)

#### **2.2.3.5. Geomorfología**

Es la ciencia que estudia la superficie terrestre y de la relación con otras ciencias como son la hidrología, la glaciología, geología, etc.

##### **2.2.3.5.1. Características Geomorfológicas**

Son características o propiedades particulares de determinadas cuencas o espacios geográficos y que estas nos ayudan en la utilización de distintas fórmulas para el cálculo de:

Áreas, perímetro, longitud, altitud, caudal, polígono de frecuencias, curva hipsométrica, etc.



### 2.2.3.6. Topografía de la Cuenca.

Para (Chrereque , 1989) La topografía de la cuenca se refiere a la descripción del relieve de la cuenca y se puede evaluar a partir de gráficos característicos.

### 2.2.3.7. Delimitación de Cuenca

Entre dos cauces existe una línea divisoria más alta llamada Divortium Aquarum, por lo que trazando una línea por la divisoria de aguas rodea al río en estudio y todos sus afluentes se delimita el área que drena todas las aguas precipitadas hacia el río de interés. (Oñate Valdivieso, 2006).

### 2.2.3.8. Parámetros Relacionados a la Longitud

**Longitud de la cuenca:** es la longitud de una línea recta con dirección paralela al cauce principal

**Longitud de cauce principal:** es la distancia medida desde la desembocadura y el nacimiento

**Longitud máxima:** es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

### 2.2.3.9. Curva Hipsométrica

Es la curva que puesta en coordenadas rectangulares, representa la relación entre la altitud, y la superficie de la cuenca que queda sobre esa altitud. (Villón Béjar, 2002)

### 2.2.3.10. Curva de frecuencia de altitudes

Es la representación gráfica de, las superficies ocupadas por diferentes altitudes



FIGURA Nº 6: Curvas Características

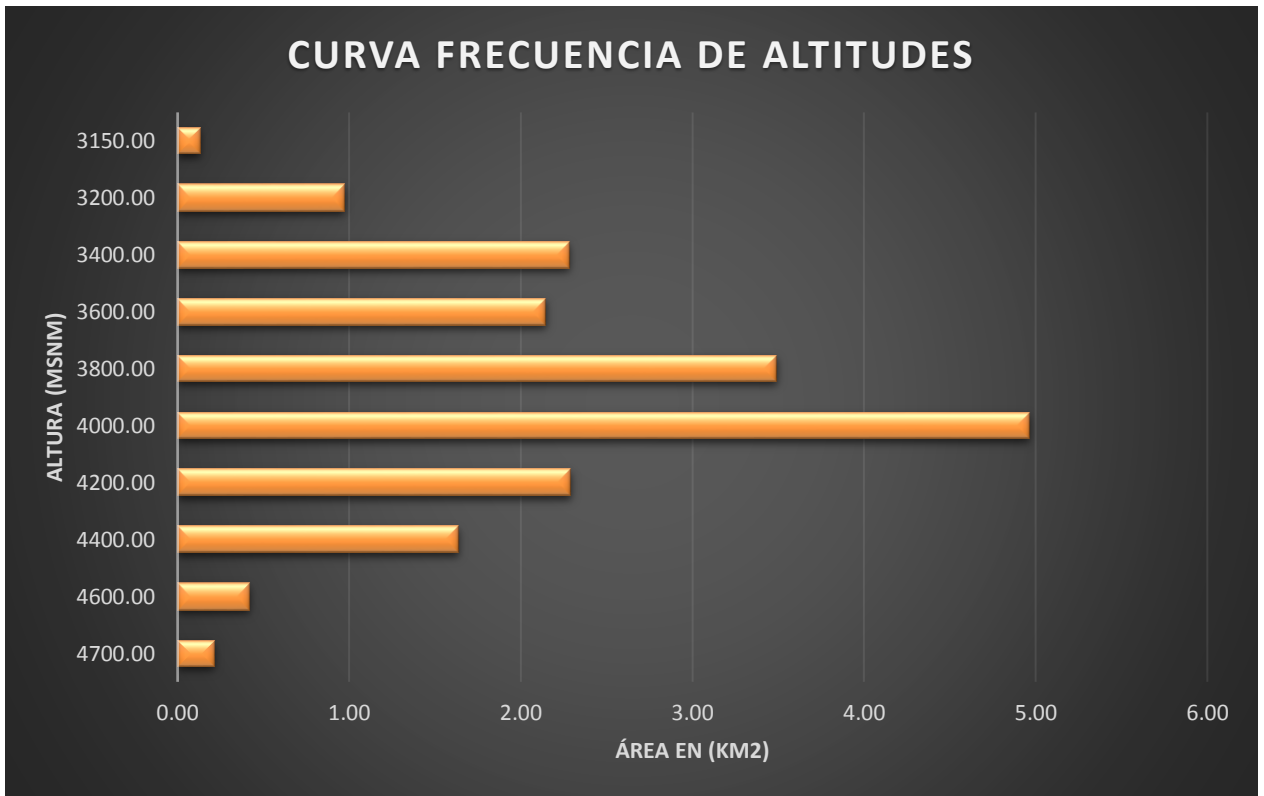
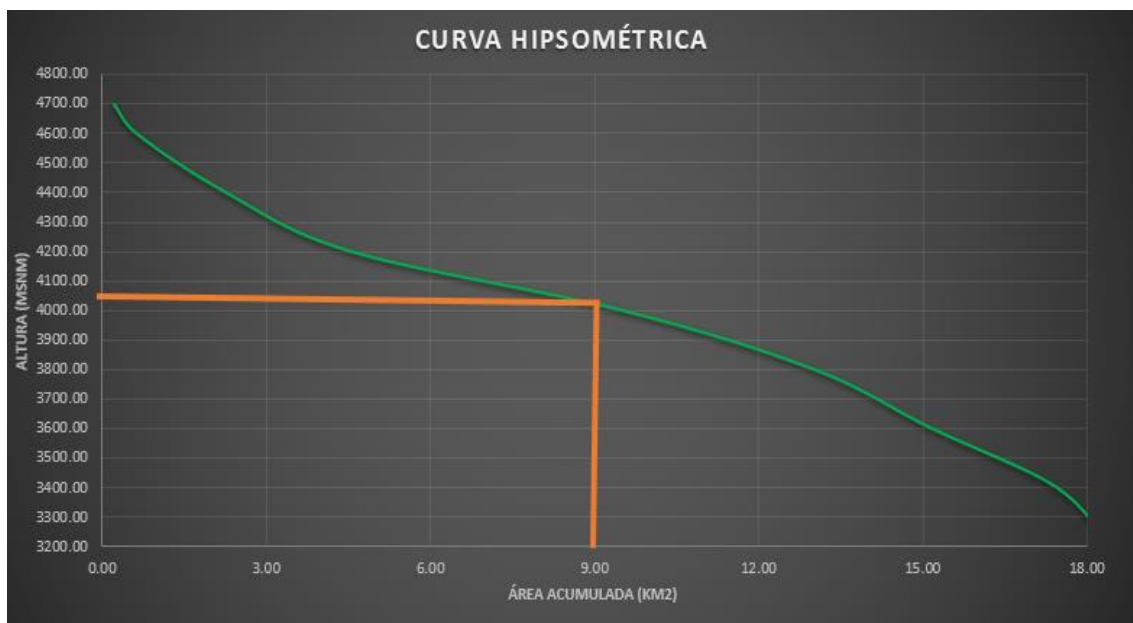


FIGURA Nº 7: Características de la Curva Hipsométrica



Curva: Refleja una cuenca en equilibrio (Fase de Madurez).

### 2.2.3.11. Altitudes Características

**Altitud media:** Es la ordenada media de la curva Hipsométrica, en ella el 50 % del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo de ella.

**Altitud más frecuente:** Es el escalafón que alberga el mayor porcentaje de área.

**Altitud de frecuencia media ( $\frac{1}{2}$ ):** Es la altitud correspondiente al punto de abscisa media ( $\frac{1}{2}$ ) de la curva de frecuencia de altitudes.

Numéricamente la elevación media de la cuenca se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Em = \frac{\sum a * e}{A}$$

Donde:

Em= Elevación media

a= Área entre dos contornos

e = Elevación media entre dos contornos

A=Área total de la cuenca

### 2.2.3.12. Índice o Factor de Forma de una Cuenca (F)

Expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud, es decir:

$$F = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}} = \frac{B}{L}$$

### 2.2.3.13. Índice de Compacidad (Índice de Gravelious)

El índice de Gravelious de una cuenca, expresa la relación entre el perímetro de la cuenca, y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca, es decir:

$$K = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{\text{Perímetro de un circulo de igual área}}$$

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

El índice de compacidad, trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la esorrentía, particularmente en las características del hidrograma. Si  $K=1$ , la cuenca será de forma circular; y si  $K>1$  las cuencas son de forma alargada, y se reduce las probabilidades de que sean cubiertas en su totalidad por una tormenta, lo que afecta el tipo de respuesta que se presenta en el río.

#### 2.2.3.14. Pendiente

Es la relación existente entre la altura y la longitud:

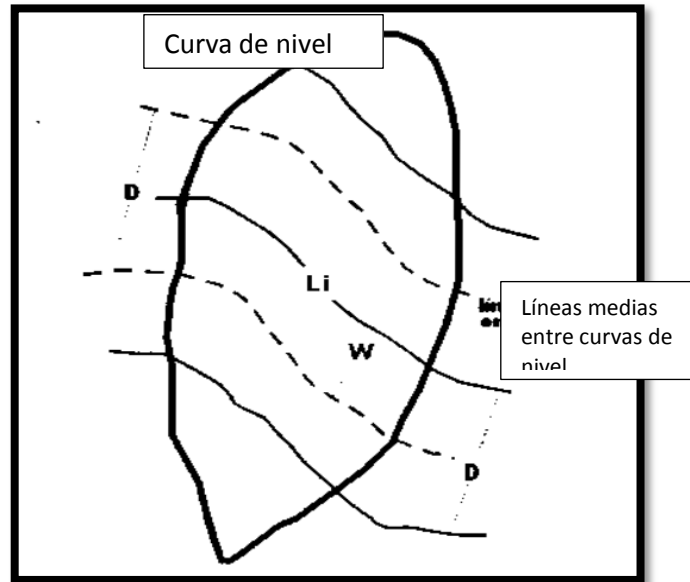
La pendiente de una cuenca tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la esorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la esorrentía.

**Pendiente simple:** es la forma más simple de determinar la pendiente existente en una zona, es dividir la diferencia de cotas entre la longitud comprendida entre los dos puntos de control.

$$S = \frac{COTA(>) - COTA (<)}{Longitud (cotas)}$$

##### 2.2.3.14.1. Pendiente de Acuerdo al Criterio de Alvord

Este criterio está basado en la obtención previa de las pendientes existentes entre las curvas de nivel dividiendo el área de la cuenca en áreas parciales por medio de las curvas parciales por medio de sus curvas de nivel, y las líneas medias de las curvas de nivel.



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

**FIGURA Nº 8: Pendiente de Acuerdo al Criterio de Alvord**

La pendiente de una porción del área de la cuenca es:

$$S_i = \frac{D}{W_i}$$

Donde:

$S_i$ = pendiente media de la faja

$D$ = Desnivel entre las líneas medias. Como son líneas intermedias entre curvas de nivel, se puede aceptar que es el desnivel entre dichas curvas.

$$W_i = \frac{a_i}{L_i}$$

$a_i$ = Área de la faja ( $a_i = W_i * L_i$ )

$L_i$ = Longitud de la curva de nivel

Luego la pendiente ponderada de toda la cuenca es:

$$S = \frac{S_1 a_1 + S_2 a_2 + S_3 a_3 + \dots + S_n a_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \dots \dots \dots A$$

$$\text{Como: } S_i = \frac{D}{W_i} = \frac{D}{\frac{a_i}{L_i}} = \frac{D L_i}{a_i} \dots B$$

Sustituyendo B en A.

$$s = \frac{\frac{Dl1}{a1} a1 + \frac{Dl2}{a2} a2 + \frac{Dl3}{a3} a3 + \dots + \frac{Dln}{an} an}{A}$$

$$S = \frac{Dl1+Dl2+Dl3+\dots+Dln}{A} \dots\dots\dots C$$

Para D= cte.

Haciendo  $L=\sum l$

$$S = \frac{DL}{A}$$

Donde:

**S**=Pendiente de la cuenca

**D**= Desnivel constante entre curvas de nivel, en km

**L**=Longitud total de curvas de nivel dentro de la cuenca, en km

**A**=Área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Para el caso en que D, no sea constante (eso puede suceder en la parte más alta y más baja de la cuenca), de la ecuación ©, Se tiene

$$S = \frac{D1L1 + D(l1 + l2 + l3 + \dots + ln - 1) + Dnln}{A}$$

Donde:

**S**= Pendiente de la cuenca

**D1**=Desnivel en la parte más baja, en km<sup>2</sup>

**Dn**=Desnivel de la parte más alta, en km

**D**=Desnivel constante entre curvas de nivel, en km

**A**=Área de la cuenca, en km<sup>2</sup>

### 2.2.3.14.2. Criterio del Rectángulo Equivalente

Con este criterio, para hallar la pendiente de la cuenca, se toma la pendiente media del rectángulo equivalente, es decir:

$$S = \frac{H}{L}$$

**DONDE:**

S= Pendiente de la cuenca

H=Desnivel total (cota de la parte más alta – cota de la estación de aforo) en km

L= Lado mayor del rectángulo equivalente, en km este criterio, no proporciona un valor significativo de la pendiente de la cuenca, pero puede tomarse como una aproximación.

**2.2.3.15. Índice de Pendiente**

El índice de pendiente. Es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Con este valor se puede establecer el tipo de granulometría que se encuentra en el cauce. Además, expresa en cierto modo el relieve de la cuenca.

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}}$$

Donde:

**I<sub>p</sub>**: Índice de pendiente

**n**: Número de curvas del nivel existente en el rectángulo equivalente. Incluido los extremos. A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>,...,a<sub>n</sub> = cotas de las n curvas de nivel consideradas (km)

**B<sub>i</sub>** = Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas (a<sub>1</sub>-a<sub>i</sub>-1)

**B<sub>i</sub>**= A<sub>i</sub>/A<sub>t</sub>

**L**= Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

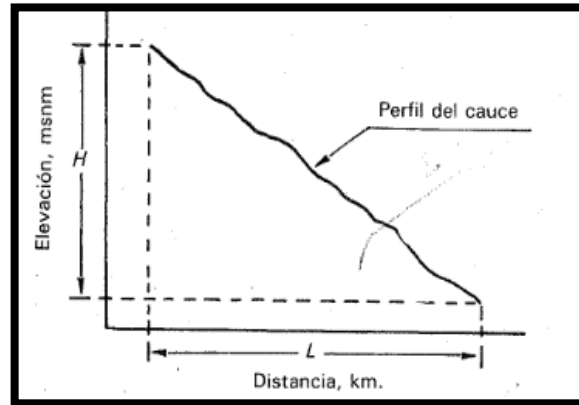
(Villón Béjar, 2002)

**2.2.3.16. Pendiente Media**

Uno de los indicadores más importantes para saber la respuesta de una tormenta es la pendiente del cauce principal. Dado que está pendiente varia a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media.

**Pendiente Media:** Es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.

**FIGURA N° 9: Pendiente de Cauce**

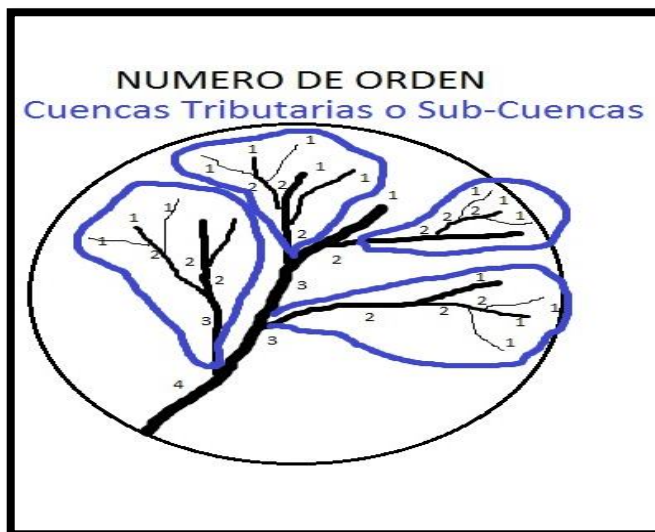


Fuente: (Villón Béjar, 2002)

#### 2.2.4. CORRIENTE PRINCIPAL

La corriente principal de la cuenca es la corriente que pasa por la salida de la misma. Esta definición se aplica solamente a las cuencas exorreicas. Las demás corrientes de una cuenca de este tipo se denominan corrientes tributarias. Todo punto de cualquier corriente tiene una cuenca de aportación, toda cuenca tiene y solo una corriente principal. (Aparicio Mijares, 1992)

**FIGURA N° 10: Divisorias de Corrientes**



(Aparicio Mijares,  
1992)

Para medir la bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes  $D_s$ , N° de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje  $D_d$ , definida como la longitud de corrientes por unidad de área:

$$Ds = \frac{Ns}{A} \qquad Dd = \frac{Ls}{A}$$

Donde:

Ns= Número de corrientes perennes e intermitentes

Ls= Longitud total de las cuencas

A= Área de la cuenca

Un orden de corrientes alto o una densidad elevada refleja una cuenca altamente disectada, que responde rápidamente a una tormenta. Las densidades u órdenes de corrientes pequeñas se observan donde los suelos son muy resistentes a la erosión o muy permeables; donde estos indicadores son elevados, los suelos se erosionan fácilmente o son relativamente impermeables, las pendientes son altas y la cobertura vegetal es escasa. (Aparicio Mijares, 1992)

## 2.2.5. PRECIPITACIÓN

La precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación se manifiesta en forma: Lluvias, granizadas, garuas, nevadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua. (Villón Béjar, 2002).

### 2.2.5.1. Clasificación de la Precipitación

Para (Villón Béjar, 2002) la precipitación se clasifica en:

#### 2.2.5.1.1. Precipitación por Convección

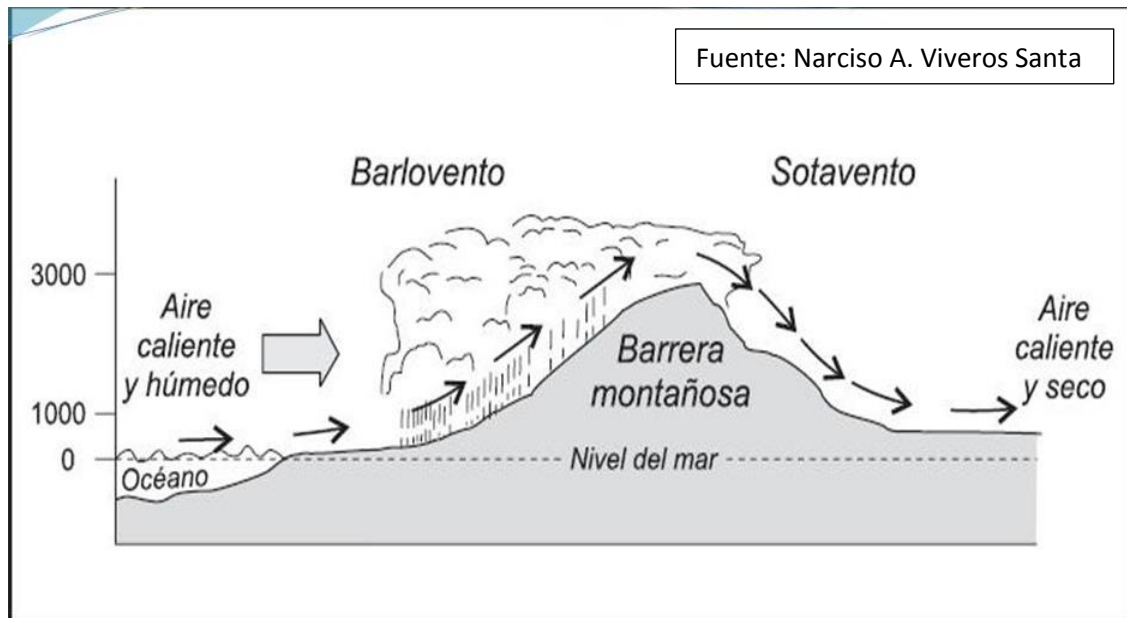
En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie, formando grandes masas de vapor de agua que por estar calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo a la adiabática seca o húmeda. Este tipo de precipitación es propia de regiones tropicales.



### 2.2.5.1.2. Precipitación Orográfica

Se produce cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie de agua es empujada por el viento hacia las montañas aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y la consiguiente precipitación.

**FIGURA Nº 11: Precipitación Orográfica**



### 2.2.5.1.3. Precipitación Ciclónica

Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación la precipitación.

FIGURA Nº 12: Precipitación Ciclónica

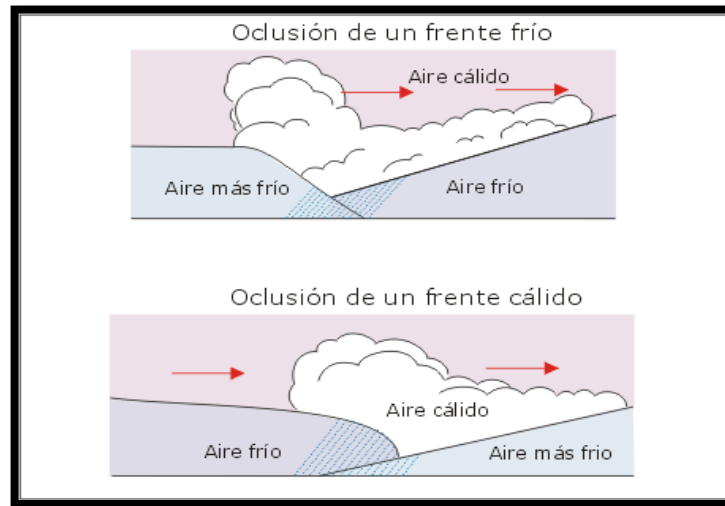
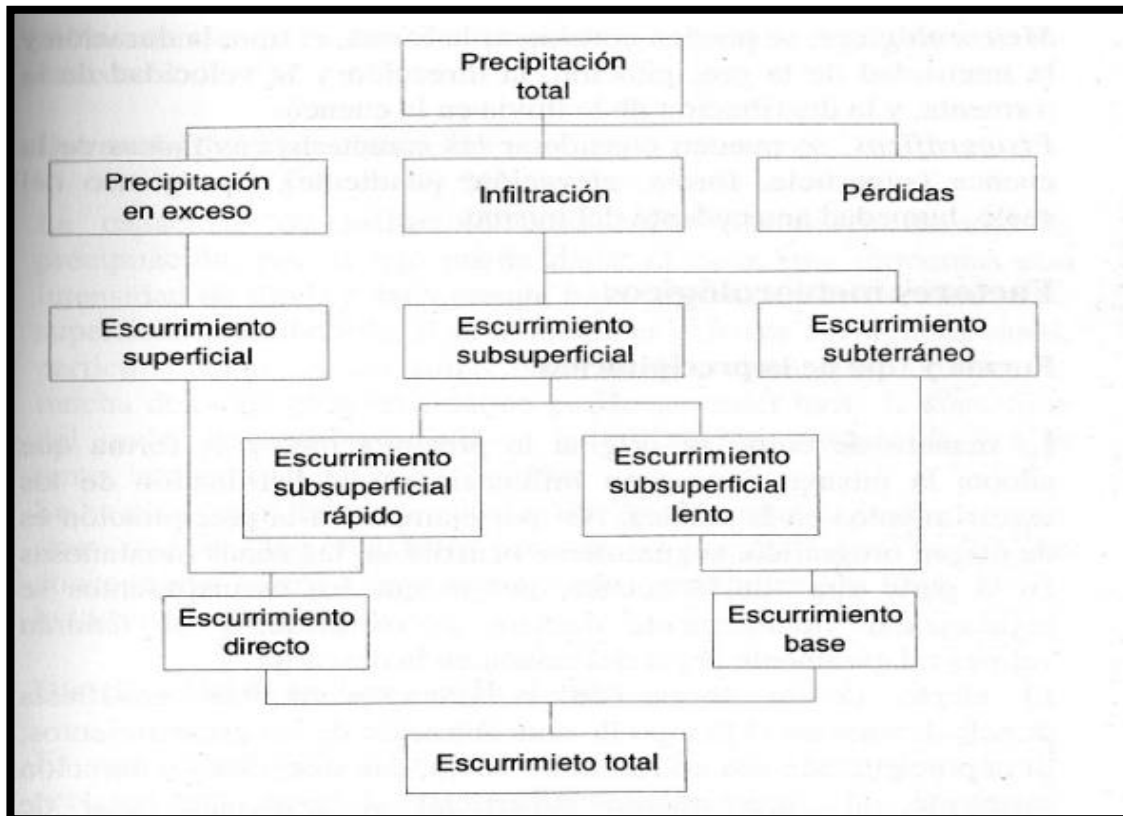


FIGURA Nº 13: Precipitación Total



## 2.2.6. ESTIMACIÓN DE CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

### 2.2.6.1. Intensidad

Es la altura de precipitación referida a una hora de duración. La intensidad máxima, es un parámetro de suma importancia para el cálculo del caudal de

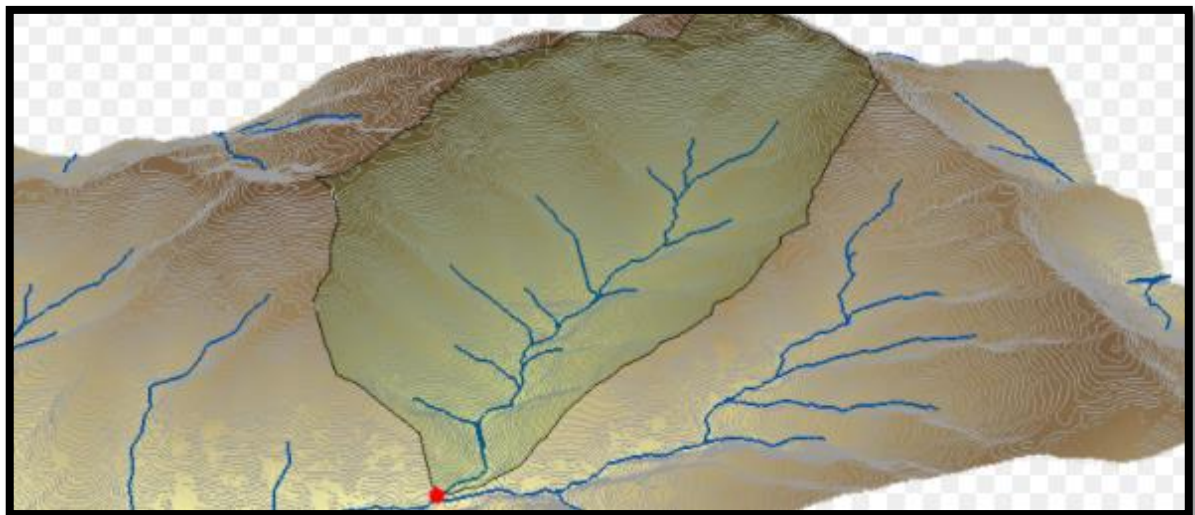
diseño, su valor, siempre está relacionado a una duración y un período de retorno determinado. La intensidad de lluvia ( $I$ ) es la tasa promedio de lluvia en (mm/hr) para una cuenca o subcuenca de drenaje particular. La intensidad se selecciona con base en la duración de lluvia, y el período de retorno. (Villón Béjar, 2002).

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr). (Chow, Maidment, & Mays, 2000).

### 2.2.6.2. Tiempo de Concentración

Es el tiempo requerido por una gota de agua para fluir desde el punto más remoto en la cuenca hasta el punto de interés. (Chow, Maidment, & Mays, 2000).

FIGURA Nº 14: Tiempo de Concentración.



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

#### 2.2.6.2.1. Cálculo del Tiempo de Concentración

Para cuencas pequeñas menores, el U. S. Soil Conservation Service, propone la siguiente fórmula:

Para el cálculo del tiempo de concentración.

$$TC = \frac{0.02872L^{0.80} \left( \frac{1000}{n} - 9 \right)^{1.67}}{S^{0.50}}$$

**DONDE:**

**T<sub>c</sub>:** Tiempo de concentración, en min

**L:** Longitud hidráulica de la cuenca, en m, y se define mediante la siguiente ecuación.

$$L = 110 * A^{0.60}$$

**A:** Área de la cuenca

**N:** Número de curva, adimensional, su estudio se realiza.

**S:** Pendiente promedio de la cuenca, en %

**2.2.6.3. Duración**

Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Y período de duración es el tiempo tomado en minutos u horas, dentro del total que dura una tormenta. Tiene mucha importancia en la determinación de las intensidades máximas. (Villón Béjar, 2002)

**2.2.6.4. Período de Retorno**

Es el lapso promedio entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. (Campos Aranda, 1998)

Es el intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x, puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Está íntimamente ligado a la importancia de la obra. Así, para efectos de diseño, el valor (T) se selecciona de acuerdo a los estándares de diseño. (Villón Béjar, 2002).

### 2.2.6.5. Proceso de Regionalización de Parámetros Hidrológicos.

Acosta Castellanos (2014). Indica que:

La regionalización se apoya en el concepto esencial de homogeneidad hidrológica en una región. Es dividir la zona de estudio en regiones cuyas características tanto, climáticas orográficas son similares.

Considerando el concepto anterior se han desarrollado diferentes métodos entre ellos la regionalización de características medias de la cuenca, encaminadas a regionalizar parámetros que permiten evaluar eventos máximos para diferentes períodos de retorno en lugares que no es posible acceder a información.

El proceso de Regionalización de curvas IDF, infiere que se deben relacionar especialmente tres parámetros; intensidad de precipitación, la duración del evento y la frecuencia de ocurrencia.

La regionalización de parámetros hidrológicos, es muy útil puesto que hay lugares o zonas en las cuales no se tiene información puntual de un sitio de interés debido normalmente a que no hay instrumentación para medir algún tipo de parámetro.

#### 2.2.6.5.1. Regionalización por Influencia de la Distancia

Es el proceso de relacionar la distancia de la estación base con la del estudio .la cual es inversamente proporcional Comúnmente se acepta que la influencia de las estaciones cercanas, es proporcional a la inversa de la distancia.

Se realiza la corrección correspondiente por distancia de acuerdo a las siguientes relaciones.

$$FD = \frac{1}{L}$$
$$\frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} = 1$$

(Arangoitia Valdivia , 2016)

#### 2.2.6.6. Construcción de Curvas I-D-T

Para (Acevedo Aristizabal , 2009) Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDT), se construyen por medio de puntos representativos de la intensidad media de la precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno. Mediante las curvas IDT es posible estimar la intensidad de tormentas intensas de distintas duraciones para diferentes períodos de retorno.

La metodología tradicional usada para el cálculo de las curvas IDT consiste básicamente en realizar un análisis de frecuencia a cada una de las series de valores máximos de precipitación obtenidas para cada duración.

La serie a la cual se realiza el análisis de frecuencias puede ser seleccionada de tres formas, a saber:

- Series máximas anuales, es aquella serie que esta conforma por cada uno de los valores máximos de precipitación observados en cada uno de los años de registro.
- Serie de duraciones parciales, en la cual la serie de datos está conformada por aquellos datos que sobrepasan un valor base predefinido.
- Serie de excedencias anuales, en la que el valor base, de la serie anterior, es seleccionado de tal forma que el número de datos que conforman la serie sea igual al número de años de registros.

Una vez seleccionada la serie de máximos el siguiente paso consiste en establecer el rango de duraciones para el cual se estimaron las curvas IDT algunos consideran que en un sitio específico puede estimarse una sola familia de curvas para un amplio rango de duraciones entre 5 minutos y 24 horas. (Bonacci, 1984)

Luego de escoger el rango de validez de las curvas IDT, a cada una de las series obtenidas para cada duración se le ajusta una función de distribución, normalmente la distribución Gumbel, con la función de distribución ajustada a los datos observados se construyen familias de curvas en las cuales pueden

estimarse las intensidades máximas (o precipitaciones) para diferentes duraciones para diferentes probabilidades de ocurrencias.

Usualmente para evitar la representación gráfica de las curvas, y poder automatizar su cálculo, estas son ajustadas a diferentes expresiones matemáticas de varios tipos, entre las más comunes se encuentran las siguientes.

$$I = \frac{a}{(d - b)^n}$$

$$I = \frac{a}{(d)^n}$$

$$I = \frac{a}{d - b}$$

Donde  $I$ , es la intensidad de la lluvia ( $a$ ,  $b$  y  $n$ ) son parámetros de las ecuaciones que dependen del período de retorno de la localización de la estación y ( $d$ ) es la duración de la tormenta. Todas fueron propuestas empíricamente por diversos investigadores en estudios específicos de precipitaciones máximas.

#### **2.2.6.6.1. Construcción de Intensidad – Duración – Período de Retorno. (IDT) Utilizando el Modelo de Grobe conocido como modelo de Dyck y Peschke.**

Para (Villón Béjar, 2002) la construcción de la curva intensidad duración y período de retorno, primero se debe de contar con información registrada en pluviómetros, los cuales solo entregan observaciones de lluvias diarias, lluvias medidas cada 24 horas. Por lo tanto, resulta de interés práctico, el desarrollo de metodologías tendientes a la obtención de relaciones Intensidad-Duración-Período de Retorno, a partir de datos pluviométricos diarios.

El modelo de discretización de Grobe o conocido como el de Dyck y Peschke, tomando las publicaciones, Hidrología y recursos hídricos Berlín Alemania 2005, introducción para ingenieros. Y fundamentos de Hidrología Berlín Alemania 1995, el cual nos permite, a partir de datos de precipitación máximas diarias

P24h, (medidas en los pluviómetros), generar las curvas de intensidad- duración –período de retorno.

Según este criterio de discretización de Grobe o Dick y Peschke, las lluvias de duración corta D (Pd). Están en función de la precipitación de 24 horas, es por ello que se puede aplicar también a precipitaciones máximas de 24 horas, (P24h), de acuerdo con la siguiente ecuación empírica, se puede generar las curvas de intensidad –duración –período de retorno (IDT)

$$PD = P24H * \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25} \text{ En mm}$$

.....A'

Pd=Precipitación máxima de duración D, en el intervalo de 15`<D<1440' En mm

Si la duración D>24h (1440'), Lo cual son necesarias para cuencas con áreas grandes, Pd, se calcula con la siguiente ecuación empírica:

$$PD = P24h * D^{0.40}$$

Pd= Precipitación máxima de duración D>24 h, en mm

D= Duración de la lluvia, en horas

P<sub>24h</sub>= Precipitación máxima diaria, en mm

#### **2.2.6.6.2. Proceso de Estimación de las Curvas IDT, a Partir de Datos de Precipitación Máximas Diarias, con el Criterio de Grobe o de Dyck y Peschke**

Para obtener la ecuación general de las curvas (IDT):

$$I_{max} = \frac{K(T^a)}{D^b} \dots\dots\dots A'$$





Donde:

I max= Intensidad máxima en mm/hr

T= Período de retorno en años

D= Duración en min.

El Reglamento Nacional de Edificaciones afirma que para determinar las curvas (IDT), aplicable a la zona urbana del estudio se usa una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y el periodo de retorno del diseño de la obra de drenaje.

A partir de la precipitación diaria, el proceso a seguir es como se indica:

Paso 1:

- Recopilar información de precipitaciones diarias máximas de 24 horas.
- Descomponer la precipitación máxima de 24 horas
  - Según el criterio de discretización de Grobe o Dyck y Peschke utilizando la ecuación A', discretizar la P (24h) en diferentes duraciones, para este proceso particular, se usarán duraciones de 20, 30, 60,120, 180 y 240 min.
  - Mostrar los resultados de la aplicación de la ecuación A`
- Transformar las lluvias máximas en mm a intensidades en mm/hr.
- Aplicación de la ecuación siguiente para transformar en intensidades máximas.

$$I = \frac{60*Pd}{D} \dots\dots\dots B$$

- Ordenar las I<sub>max</sub>, y calcular sus períodos de retorno con la fórmula de Weibull.

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

T= Período de retorno en años

n= Número de años

m= Número de orden

- Reordenar los datos en triplas de I max, T, D en forma adecuada.



- Calcular los parámetros k, a y b de la correlación potencial múltiple.

Donde:

Imax = Intensidad máxima, en mm/hr

K,m,n = Parámetros característicos de la zona de estudio

T= Período de retorno en años

D=Duración de la precipitación, en min

Tomando logaritmos a la ecuación siguiente:

$$Imax = K T^a D^b$$

Y=log(imax)	a <sub>0</sub> =log (K)
a <sub>1</sub> =a	X <sub>1</sub> =log (T)
a <sub>2</sub> =b	X <sub>2</sub> =log(D)

$$\log(Imax) = \log(K) + a * \log(T) + b * \log(D)$$

En esta ecuación se hacen los siguientes cambios:

$$Y=a_0+a_1x_1+a_2x_2$$

Dónde: a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> son parámetros a estimar:

- Estimación de parámetros.

Extendiendo el método de mínimos cuadrados, para el caso de una regresión lineal múltiple, con 2 variables independientes, las ecuaciones normales que se obtienen son:

$$\sum y = a_0 n + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2$$

$$\sum x_1 y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 \dots\dots\dots C$$

$$\sum x_2 y = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2$$

DONDE:

n= número de tripletas (Imax, T, D)

- Se resuelve el sistema de ecuaciones de 3 incógnitas y se encuentra los valores de los parámetros a<sub>0</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> y con estos se hayan los valores de K, a y b de la siguiente manera:

$$K = 10^{a_0}$$

$$a=a_1$$

$$b=a_2$$

## 2.2.7. CAUDAL

El caudal es la cantidad de agua total medida en metros cúbicos evacuada por un río a lo largo de un período de tiempo, que suele ser de un segundo (m<sup>3</sup>/s). (Romero, 2016).

### 2.2.7.1. Crecida Máxima Probable

La creciente máxima probable es el mayor creciente que puede esperarse suponiendo una coincidencia completa de todos los factores que producirán la máxima lluvia y la máxima escorrentía. Esta creciente está basada en una precipitación máxima probable.

### 2.2.7.2. Cálculo de Caudal

#### 2.2.7.2.1. Método Racional

El método racional se empezó a utilizar en el siglo XIX es probablemente el método más utilizado. La idea detrás del método racional es que si una lluvia con intensidad (I) empieza en forma instantánea y continua en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuara hasta que se llegue al tiempo de concentración (T<sub>c</sub>), en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de lluvia (I) y el área de la cuenca (A) es el caudal de entrada al sistema (I\*A), y la relación entre este caudal y el caudal pico (Q) que ocurre en el tiempo (T<sub>c</sub>) se conoce como el coeficiente de escorrentía C (0 ≤ C ≤ 1). Este se expresa en la fórmula racional. (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

$$Q = CIA$$

El método racional supone que la máxima escorrentía ocasionada por la lluvia, se produce cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración (T<sub>c</sub>), cuando así ocurre, toda la cuenca contribuye con el caudal. (Villón Béjar, 2002).

Aceptando este planteamiento. El caudal máximo se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots \dots \dots a$$



- $Q$ = Caudal Máximo, en  $m^3/s$
- $C$ =Coeficiente de escorrentía, que depende de la cobertura vegetal, la pendiente y el tipo de suelo, sin dimensiones
- $I$ = Intensidad máxima de la lluvia, para una duración, igual al tiempo de concentración, y para un período de retorno dado, en  $mm/hr$
- $A$ = Área de la cuenca, en ha.

#### **2.2.7.2.2. Coeficiente de Escorrentía**

Para (Chow, Maidment, & Mays, 2000) el coeficiente de escorrentía  $C$ , es una relación fija entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje. La proporción de la lluvia total que alcanzaran los drenajes de tormenta depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y de las características de la superficie haya sido completamente mojado, independientemente de la pendiente, inspecciones de campo y fotografías aéreas son muy útiles para la estimación de la naturaleza de la superficie dentro del área de drenaje.

El coeficiente de escorrentía también depende de las características y condiciones del suelo. La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa y también es influida por las condiciones de humedad antecedentes del suelo.

Otros factores que influyen en el coeficiente de escorrentía son la intensidad de lluvia, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión.

Tabla 1: Coeficientes de Escorrentía

**Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional**

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<b>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</b>							
<i>Condición pobre</i> (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio</i> (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena</i> (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
<b>Área de cultivos</b>							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
<b>Pastizales</b>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<b>Bosques</b>							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

*Nota:* Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

(Chow, Maidment, & Mays, 2000)

### 2.2.7.2.3. Área de Drenaje

El área puede determinarse utilizando planímetros en mapas topográficos, o mediante trabajos topográficos de campo cuando los datos topográficos han cambiado o cuando el intervalo entre las líneas de nivel en los mapas es demasiado grande para distinguir la dirección del flujo. Deben medirse el área de drenaje que contribuye al sistema que se estas diseñando y la sub área de drenaje que contribuye a cada uno de los puntos de entrada. El esquema de la divisoria del drenaje debe de seguir las fronteras reales de la cuenca. (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

### 2.2.7.2.4. Método del Número de Curva

Este método fue desarrollado por el servicio de conservación de suelos (SCS), de los Estados Unidos; tiene ventajas sobre el método racional pues se aplica



a cuencas medianas como también a cuencas pequeñas. El parámetro de mayor importancia de la lluvia generadora es la altura de esta, pasando la intensidad a un segundo plano. Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas, como en el caso de aportaciones líquidas.

El nombre del método deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número N, que varía de 1 a 100. Un número de curva N=100, indica que toda la lluvia escurre. Y un número N=1 indica que toda la lluvia se infiltra; por lo que los números de curvas representan coeficientes de escorrentía.

Este método es utilizado para estimar la escorrentía total a partir de datos de precipitación y otros parámetros de las cuencas de drenaje.

El método fue desarrollado utilizando datos de gran número de cuencas experimentales, y se basa en la siguiente relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe} \dots\dots\dots 1$$

F= infiltración acumulada (L)

S=infiltración potencial máxima (L)

Q= Escorrentía total acumulada (L)

Pe= Escorrentía potencial o exceso de precipitación (L)

La ecuación (1) se considera valida a partir del inicio de la escorrentía, donde Pe se define como:

$$Pe = P - la \dots\dots\dots 2$$

Mientras F es definida como:

$$F = Pe - Q \dots\dots\dots 3$$

El término de (La) sustracciones iniciales, es definido como la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía y es una función de la intercepción, almacenamiento en depresiones e infiltración antes del comienzo de la escorrentía.

Sustituyendo (3) en (2) resulta:

$$\frac{Pe - Q}{S} = \frac{Q}{Pe}$$

$$\text{De donde } Q = \frac{Pe^2}{Pe+S} \dots\dots\dots 4$$

Reemplazando (2) en 4 se tiene:

$$Q = \frac{(P-la)^2}{P-la+S} \dots\dots\dots 5$$

Los autores de método, por datos experimentales obtuvieron una relación entre (la) y S, la cual es:

$$la = 2S \dots\dots\dots 6$$

Esta relación es bastante aceptable para situaciones promedio. Si reemplaza la ecuación (6) en (5), se obtiene:

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots 7$$

**DONDE:**

Q= Escorrentía total acumulada

P= Precipitación

S=Infiltración potencial máxima

Esta es la ecuación principal del método. Se debe de tener presente que en esta ecuación, P y S deben tener las mismas unidades y el Q obtenido. También tendrá esas mismas unidades.

El SCS después de estudiar un gran número de pequeñas cuencas estableció una relación para estimar **S** a partir del número de curva **N**, mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{1000}{10+s} \dots\dots\dots 8$$

O también:  $10 + s = \frac{1000}{N}$

$$S = \frac{1000}{N} - 10 \dots\dots\dots 9$$

Esta última ecuación S esta expresado en pulgadas, para expresarlo en centímetros, hay que realizar la transformación de unidades:

$$S = \frac{2540}{N} - 25.4 \text{ (Cm)} \dots\dots\dots 10$$

Sustituyendo (10) en (7) realizando las operaciones resulta:

$$Q = \frac{(N(P+5.08)-508)^2}{N(N(P-20.32)+2032)} \dots\dots\dots 11$$

Q=Escorrentia total acumulada, en cm

P=Precipitación de la tormenta, en cm

N=Número de curva.

En la ecuación (11) se debe de cumplir que:

$$N(P+5.08) - 508 > 0, \text{ O } P > (508/N) - 5.08$$

LA FIGURA N° 16 Muestra el grafico de la ecuación (11), para diferentes valores de números de curvas N.

si P esta en mm y Q en mm, la ecuación 11 se escribe como:

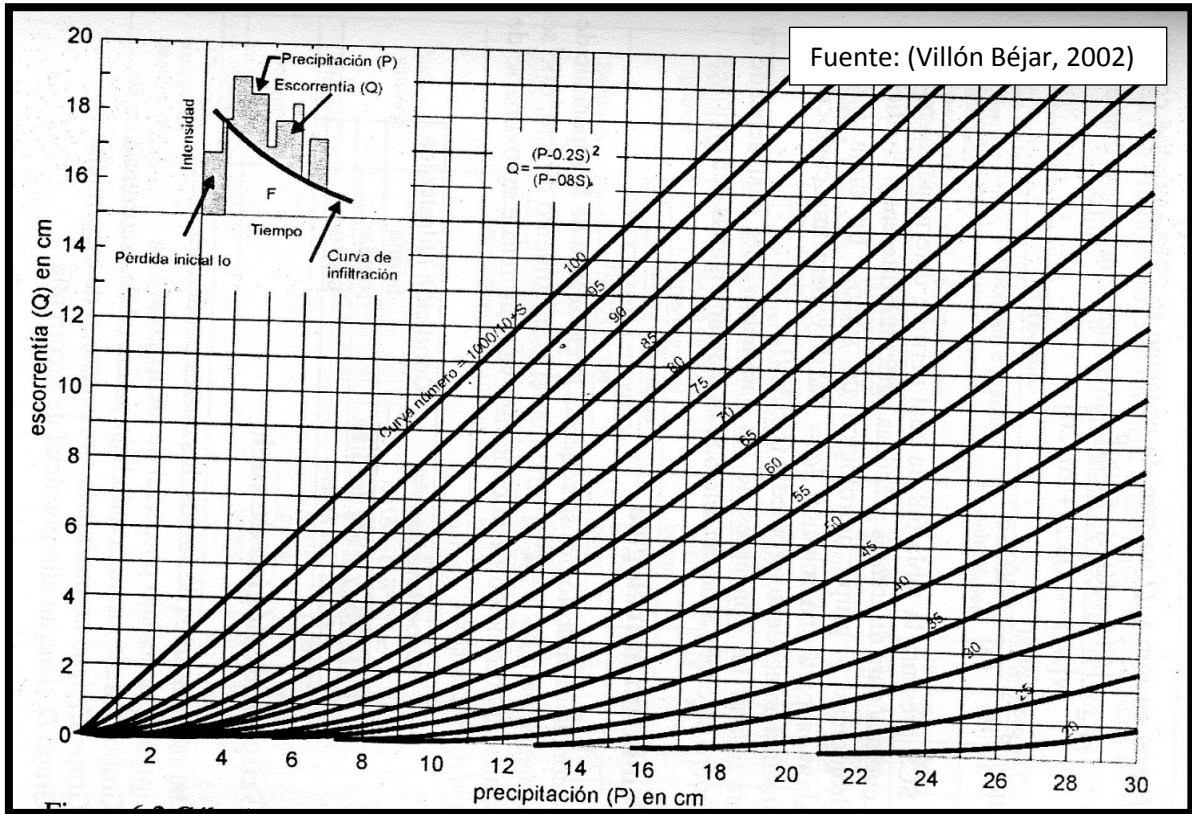
$$Q = \frac{(N(P+50.8)-5080)^2}{N(N(P-203.2)+20320)} \dots\dots\dots 12$$

Siendo:

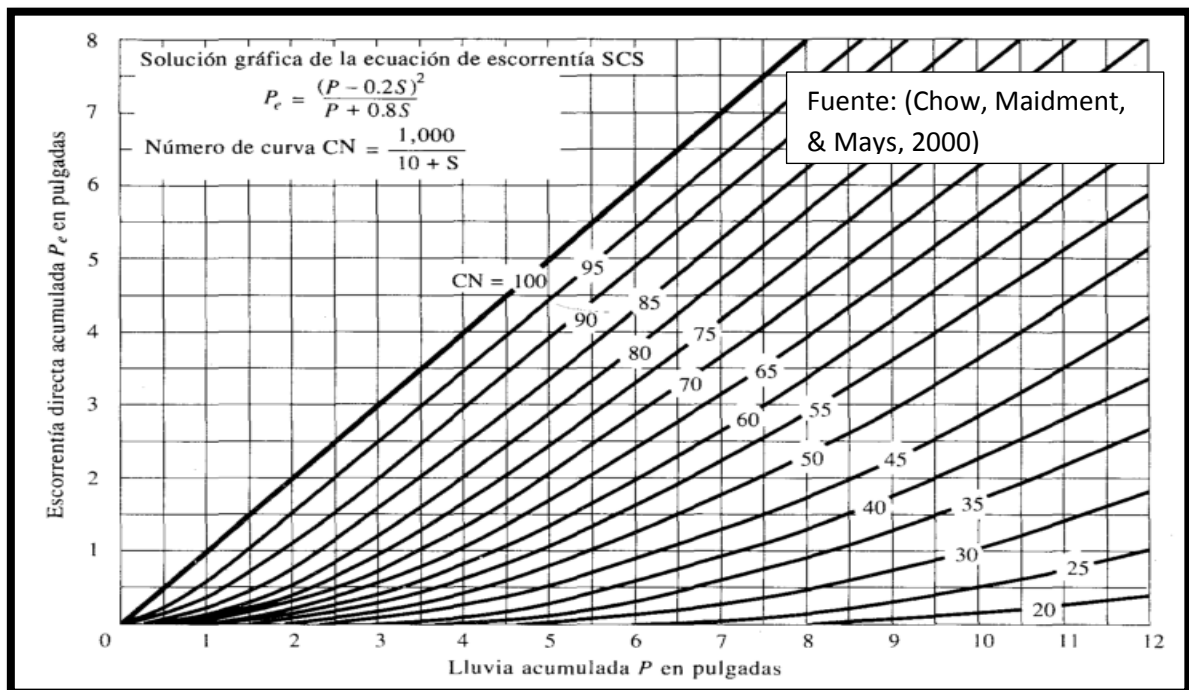
$$P(mm) = \frac{5080}{N} - 50.8$$



**FIGURA Nº 16: Cálculo de la Escorrentía en Función de la Precipitaciones y el Número de Curva N en (Cm).**



**FIGURA Nº 15: Cálculo de la Escorrentía en Función de la Precipitación y el Número de Curva N en (Pulgadas)**



<b>CÁLCULO DEL NÚMERO DE CURVA (N) PARA DIFERENTES PRÁCTICAS AGRÍCOLAS, DIFERENTES CONDICIONES HIDROLÓGICAS Y GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELOS</b>					
Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (Condiciones Antecedentes de Humedad II, $I_a=0.2s$ )					
DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada:	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de río	Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba.	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones	39	61	74	80
	Condiciones aceptables	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales: (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial 3					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable 4				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. 5		98	98	98	98
Calles carreteras					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

1. Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, cap. 9

2. Una buena cubierta está protegida del pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo

3. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5. En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

**Tabla 2: Números de Curva de Escorrentía Para Usos Selectos de Tierra Agrícola, Suburbana y Urbana (Condiciones antecedentes de Humedad II,  $I_a=0,2S$ )**

Una descripción detallada para definir el grupo de suelo se muestra la tabla 3:

**Tabla 3: Clasificación Hidrológica de los Suelos**

GRUPOS DE SUELOS	DESCRIPCIÓN
A	Son suelos con altas tasas de infiltración (Bajo potencial de Ecurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o Gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas, estos suelos tiene alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de textura moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua
C	Son suelos que tiene bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencial de esponjamiento, suelo con índice de agua permanentemente alto, suelos con arcilla o capa de arcilla en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.
GRUPO A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
GRUPO B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga Arenosa
GRUPO C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
GRUPO D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 2000)

### 2.2.7.2.4.1. Condición Hidrológica

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal, puede aproximarse de la forma siguiente.

COBERTURA VEGETAL	CONDICIÓN HIDROLÓGICA
>75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50 % del área	Pobre

### 2.2.7.2.4.2. Condición de Humedad Antecedente (CHA)

La condición o estado de humedad tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca; determinando por la lluvia total en el período de 5 días anterior a la tormenta.

**El SCS usa tres intervalos de CHA:**

- CHA I, Es el límite inferior de humedad o el límite superior de S. hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado o cultivo.
- CHA II, es el promedio para el cual el SCS preparo la tabla 2.
- CHA III, Es el límite superior de humedad o el límite inferior de S, hay máximo potencia de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

El SCS presenta la siguiente tabla, considerando el antecedente de 5 días de lluvia, el cual se simplemente la suma de la lluvia, de los 5 días anteriores al día considerado.

**Tabla 4: Condición de Humedad Antecedente Propuesto por (SCS).**

Condición de Humedad Antecedente (CHA)	Precipitación Acumulada de los 5 Días Previos al Evento en Consideración (cm)	
I (Seca)	Estación Seca	Estación de Crecimiento
II (Media)	Menor de 1.3	Menor de 3.5
III (Húmeda)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
	Más de 2.5	Más de 5

La Tabla 5 permite calcular el número de curva N(II) para CHA-II, si se tiene CHA-I O` CHA-III el número de curva Equivalente se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$N(I) = \frac{4.2N(II)}{10-0.058N(II)} \dots\dots\dots 13$$

$$N(III) = \frac{23N(II)}{10+0.13N(II)} \dots\dots\dots 14$$

La tabla 5 permite determinar los números de curva equivalente CHA-I O` CHA-III, conocido el número de curva para CHA – II (N (II))

**Tabla 5: Número de Curva Para Casos de Condición de Humedad Antecedente I y III.**

N(II)	N Para Condición		N (II)	N Para Condición	
	I	II		I	III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			

68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

Fuente: (Villón Béjar, 2002)

### 2.2.7.2.5. Estimación del Caudal Máximo

La parte modular del método es la utilización de la tabla 6, la cual es el resultado de una serie de estudios llevados a cabo por el SCS, sobre las intensidades duraciones y cantidades, de lluvia que deben de ser empleados al calcular el gasto pico de una avenida de determinado período de retorno. La tabla fue derivada para una duración de tormenta de 6 horas y relaciona el tiempo de concentración en horas, con el llamado: gasto unitario (q) cuyas unidades son m<sup>3</sup>/seg, mm, km<sup>2</sup>.

Los rangos de aplicación del método SCS se deducen de la tabla N° 5, es decir para tiempos de concentración de hasta 24 horas, ya que el método del SCS para la estimación de la escorrentía Q no tiene limitaciones.

**Tabla 6: Gasto Unitario (q) (m<sup>3</sup>/s/mm/km<sup>2</sup>), en Función del Tiempo de Concentración (Tc) Horas.**

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA MÉTODO (SCS)					
Tc (hr)	q (m <sup>3</sup> /s/mm/km <sup>2</sup> )	Tc (hr)	q (m <sup>3</sup> /s/mm/km <sup>2</sup> )	Tc	q (hr)
0.1	0.337	1	0.158	8	0.039
0.2	0.3	1.5	0.12	10	0.034
0.3	0.271	2	0.1	12	0.03
0.4	0.246	2.5	0.086	14	0.027
0.5	0.226	3	0.076	16	0.025
0.6	0.208	4	0.063	18	0.023
0.7	0.195	5	0.054	20	0.021
0.8	0.19	6	0.048	22	0.02
0.9	0.168	7	0.043	24	0.019

Fuente: (Villón Béjar, 2002)

El proceso para el cálculo del caudal máximo utilizando la metodología del SCS, es como sigue:



**Paso 1:**

Determinar las siguientes características fisiográficas de la cuenca:

- Número de curva para casos de condición de humedad antecedente I y III.
- Gasto unitario (**q**) (**m3/seg/mm/km2**) en función del tiempo de concentración.
- Área de la cuenca en km2
- Tiempo de concentración
- Número de curva (N) De escurrimiento para la condición media de humedad en la cuenca, adimensional, puede corregirse para CHA- I O CHA – II, con las ecuaciones. 13 y 14.
- Se calculan las lluvias de duración de 6 horas y períodos de retorno de acuerdo a las avenidas del proyecto. Lo anterior, con base en las curvas (p-d-Tr).
- Con base al número N de la cuenca, se calcula la escorrentía para cada una de las lluvias determinadas en el paso anterior, por medio de la ecuación:

$$Q = \frac{(N(P+50.8)-5080)^2}{N(N(P-203.2)+20320)} \dots\dots\dots 12$$

Siendo Q= escorrentía, en mm.

P= lluvia de duración de 6 horas y determinado período de retorno, mm.

- De la tabla N° 5 en función de la magnitud del tiempo de concentración se determina el valor de gasto unitario (q), interpolando linealmente si es necesario.
- Por último, se multiplican el gasto unitario (q), la escorrentía (Q), y el área de la cuenca (A), para obtener el gasto máximo (Qmax) en m3/seg, esto es:

$$Q_{max} = q * Q * A \dots\dots\dots 13$$

### **2.2.8. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON (HEC- RAS)**

El Hec – Ras es un sistema integrado de software, diseñado para un uso interactivo en tareas múltiples. El sistema está compuesto por una interface gráfica para el usuario (GUI), separando los componentes del análisis hidráulico, almacenamiento de datos y capacidad de administración, de gráficas y facilidad en el manejo de la información.

El sistema Hec – Ras contiene fundamentalmente componentes de análisis hidráulicos:

- Flujo permanente en el cálculo del perfil de la superficie
- Simulación de flujo no permanente

Un elemento clave es que en los componentes del análisis hidráulico, el sistema contiene algunos diseños hidráulicos característicos que pueden ser utilizados una vez que el perfil de la superficie del agua ha sido calculado.

### **2.2.9. MODELAMIENTO HIDROLÓGICO CON (HEC-HMS)**

El programa denominado HEC-HMS es desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica de los Estados Unidos. El cual está diseñado para simular el proceso de precipitación – escurrimiento en cuencas, está diseñado para ser aplicado en un amplio rango de regiones geográficas para solucionar un rango general de problemas. (N FONACIT, 2015)

#### **2.2.9.1. Componentes del modelo HEC-HMS**

Los componentes del modelo son utilizados para simular la respuesta hidrológica en una cuenca. Estos incluyen: modelos de cuencas, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. (N FONACIT, 2015)

##### **2.2.9.1.1. Modelo de cuenca**

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca. (N FONACIT, 2015)



## MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDAL.

Método Para las Perdidas: (LOSS METHOD) SCS NÚMERO DE CURVA

Método para la Transformación de Lluvia en Escorrentía: (TRANSFORM METHOD) SCS HIDROGRAMA UNITARIO.

### 2.2.9.1.2. Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico calcula la precipitación requerida en una sub cuenca, se puede utilizar precipitación puntual o por grillas, tiene capacidad de modelar la precipitación sólida y líquida. (N FONACIT, 2015).

El Modelo Meteorológico está basado en el ingreso de datos de Precipitación: FREQUENCY STORM A PARTIR DE LA (ESTIMACIÓN CURVAS IDT).

## 2.2.10. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Los suelos que se analizarán serán clasificados de acuerdo a la metodología SUCS.

Una vez que se tenga determinada las características de los suelos se estimara con suficientes aproximaciones el comportamiento de los suelos. Especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo.

**FIGURA N° 17: Correlación de Tipo de Suelos**

Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS	
Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: US Army Corps of Engineers

**FIGURA Nº 18: Signos Convencionales Para Perfil de Calicatas, Clasificación (SUCS)**

	Grava bien graduada mezcla, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo.
	Grava mal granulada, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino.		Arena arcillosa, mezcla de arena-arcilla.
	Grava limosa, mezcla de grava, arena limosa.		Limo orgánico y arena muy fina, polvo de roca, arena fina limosa o arcillosa o limo arcilloso con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Limo orgánico de plasticidad baja o mediano, arcilla grava, arcilla arenosa, arena limosa, arcilla magra.
	Arena bien graduada, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios.		Limo orgánico y arcilla limosa orgánica, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limo inorgánico, suelo fino gravoso o limoso, micácea o diatometacea, limo elástico.

	Arcilla inorgánica de elevada plasticidad, arcilla gravosa.
	Arcilla orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limo orgánico.
	Turba, suelo considerablemente orgánico.

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013)

## 2.2.10.1. Características Físicas de los Suelos

### 2.2.10.1.1. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa. Se hallará su definición precisa en un proyecto de norma que ha establecido el comité francés de mecánica del suelo.

**Límite líquido.** Es el contenido de agua de una pasta amasada, por encima del cual esta pasta pasa del estado plástico al estado líquido.

**Límite plástico.** Es el contenido de agua de una pasta amasada por debajo del cual pasa del estado plástico al estado semisólido.

Estos contenidos de agua se expresan como el contenido de agua natural ( $w$ ) de las muestras inalteradas en tanto por ciento del peso seco.

**Índice de Plasticidad:** ( $I_p$ ) Es la diferencia entre los límites líquidos y plástico.

$$I_p = WL - Wp$$

### 2.2.10.1.2. Contenido de Humedad

Es la proporción porcentual entre la fase líquida (agua) y sólida de suelo (partículas minerales del suelo).

$$w(\%) = \frac{W_w * 100}{W_s}$$

$W_w$  = Peso del agua en la muestra.

$W_s$  = Peso del suelo seco.

La cantidad mínima de muestra a utilizar esta en concordancia con el tamaño máximo

**FIGURA Nº 19: Muestra Según el Tamaño Máximo Nominal**

TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA	PESO MÍNIMO DE MUESTRA PARA CONTENIDOS DE HUMEDAD REPORTADOS A $\pm 0.1\%$	PESO MÍNIMO DE MUESTRA PARA CONTENIDO DE HUMEDAD REPORTADO A $\pm 1\%$
2 mm.	20 gr	20 gr
4.75 mm	100 gr	20 gr
9.5 mm	500 gr	50 gr
19 mm	2.5 kg	250 gr
37.5 mm	10 kg	1 kg
75.0 mm	50 kg	5 kg

### 2.2.10.1.3. Granulometría

**Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM - D422):** Nos permite la determinación de la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Representa la distribución de los tamaños que posee el suelo mediante el tamizado según especificaciones técnicas. A partir del cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

**FIGURA Nº 20: Serie de Tamices Para el Ensayo por Tamizado Según la Norma ASTM – 422.**

<b>SERIE DE TAMICES USADOS PARA EL ENSAYO POR TAMIZADO SEGÚN LA NORMA ASTM-422.</b>	
3" (75.0 mm)	Nº 4 (4.75 mm)
2" (50.0 mm)	Nº 10 (2.00 mm)
1 ½" (37.5 mm)	Nº 20 (0.850 mm)
1" (25.0 mm)	Nº 30 (0.6 mm)
¾" (19.0 mm)	Nº 40 (0.425 mm)
½" (12.5 mm)	Nº 60 (0.250 mm)
3/8" (9.5 mm)	Nº 100 (0.150 mm)
¼" (6.3 mm)	Nº 200 (0.075 mm)

### 2.2.10.1.4. Peso Específico ( $\lambda$ )

Se designa por ( $\lambda$ ) al peso específico del suelo in situ no sumergido, es decir el peso de la muestra que ocupa el volumen unitario. Implica particularmente el agua comprendida naturalmente entre sus partículas sólidas.

### 2.2.10.1.5. Peso Específico Seco ( $\lambda_d$ )

Se designa por ( $\lambda_d$ ) el peso de materias secas comprendidas en una muestra que ocupa en el estado natural el volumen unitario, es decir el peso que subsiste de esta muestra tras la pérdida de toda el agua intersticial, pero no del agua que entra en la composición química de las partículas.

### **2.2.10.2. Características Mecánicas**

La característica mecánica de los suelos tiene como fin definir el comportamiento de estos frente a las sollicitaciones externas. Este estudio puede abordarse según varios métodos.

### **2.2.10.3. Resistencia Cortante del Suelo.**

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por un área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. Los ingenieros deben de entender la naturaleza de la resistencia cortante para analizar los problemas de la estabilidad del suelo, tales como capacidad de carga, estabilidad de taludes y la estructura lateral sobre estructuras de retención de tierras. (Braja M. Das, 2010)

### **2.2.10.4. Rotura por Corte**

La ley de corte es la relación que une, en el momento de la rotura, las tensiones normal y tangencial a lo largo de la superficie de rotura,  $\sigma$ ,  $\tau$  en el momento de producirse la rotura.

### **2.2.10.5. Ley de Coulomb**

Los coeficientes numéricos son las características de corte del suelo.

La ordenada en el origen se llama cohesión del suelo "C", y puede definirse, según esta ecuación como la resistencia propia del terreno al corte bajo presión normal nula ( $\sigma=0$ ,  $\tau=c$ ).

La pendiente de la recta se llama "coeficiente de rozamiento interno" del terreno " $(\tan \Theta)$ " y desempeña el mismo papel que el coeficiente de rozamiento que intervienen en los problemas habituales de mecánica, con la diferencia de que en estos no hay cohesión.

El ángulo  $\Theta$ , definido más arriba, se llama Ángulo de rozamiento interno y corresponde, con ciertas reservas, el ángulo de talud natural.

La ecuación definitiva, llamada ley de Coulomb, se escribe:

$$\tau = C + \sigma \tan(\theta)$$

Se denomina a la anterior ecuación como criterio de falla de Mohr-Coulomb

### 2.2.10.6. Prueba de Corte Directo.

La prueba de corte directo tiene por objeto establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

Este ensayo puede realizarse sobre todos los tipos de suelos con muestras inalteradas y remodeladas.

El ensayo consiste en:

- Colocación de la muestra en el dispositivo de corte
- Aplicación de la carga normal
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra
- Consolidación de la muestra
- Liberación de los marcos que sostienen la muestra
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer (Universidad Nacional de Ingeniería, 2006) fallar la muestra.

Para una prueba dada, el esfuerzo normal se calcula como:

$$\sigma = \sigma' = \text{Esfuerzo Normal} = \frac{\text{Fuerza normal}}{\text{Área de la sección transversal del espécimen}}$$

El esfuerzo cortante resistente para cualquier desplazamiento cortante se calcula como.

$$r = \text{Esfuerzo Cortante} = \frac{\text{Fuerza cortante resistente}}{\text{Área de la sección transversal del espécimen}}$$

(Universidad Nacional de Ingeniería, 2006)

### 2.2.11. ESTABILIDAD DE TALUDES

El análisis de estabilidad de taludes implica determinar y comparar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo.

### 2.2.11.1. Factor de Seguridad

Es la relación existente entre la resistencia cortante promedio del suelo y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

La tarea del ingeniero encargado de analizar la estabilidad de un talud es determinar el factor de seguridad. En general, el factor de seguridad se define como:

$$FSs = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

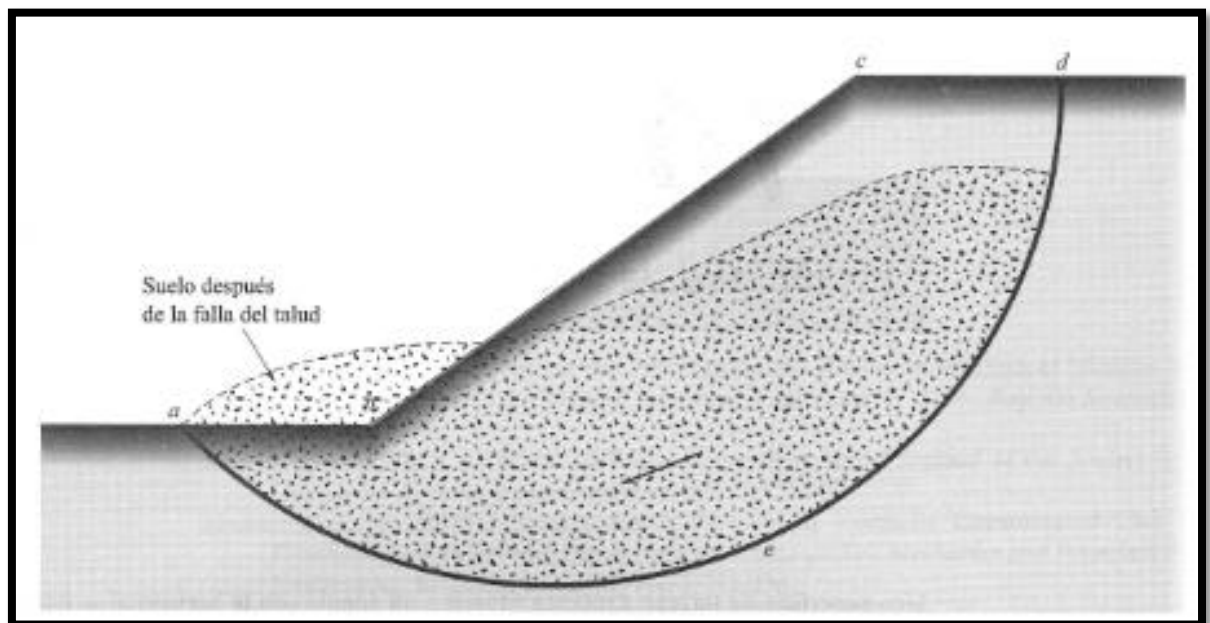
FSs = Factor de seguridad con respecto a la resistencia

Tf = Resistencia cortante promedio del suelo

Td = Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

(Braja M. Das, 2010)

**FIGURA Nº 21: Falla de un Talud**



Fuente: (Braja M. Das, 2010)

La resistencia cortante de un suelo consta de dos componentes, la cohesión y la fricción, y se expresa como.

$$\tau_f = c + \sigma' \tan(\Phi)$$

Donde:

C=Cohesión

$\Phi$ =Ángulo de fricción drenada

$\sigma'$ =Esfuerzo normal efectivo sobre la superficie potencial de falla

De manera similar escribimos

$$\tau_d = C_d + \sigma' \tan(\Phi_d)$$

Donde  $C_d$  y  $\Phi_d$  son respectivamente, la cohesión efectiva y el Ángulo de fricción que se desarrolla a lo largo de la superficie potencial de falla.

$$FS_s = \frac{c + \sigma' \tan(\Phi)}{C_d + \sigma' \tan(\Phi_d)}$$

Podemos ahora introducir algunos otros aspectos del factor de seguridad, es decir, el factor de seguridad con respecto a la cohesión  $FS_c$  y el factor de seguridad con respecto a la fricción  $FS_\Phi$  y se definen como sigue:

$$FS_c = \frac{C}{C_d}$$

$$FS_\Phi = \frac{\tan \Phi}{\tan \Phi_d}$$

Cuando se comparan las ecuaciones:

$$\frac{C}{C_d} = \frac{\tan \Phi}{\tan \Phi_d}$$

Podemos escribir:

$$FS_s = FS_c = FS_\Phi$$

Cuando  $F_s$  es igual a 1, el talud está compuesto en un estado de falla incipiente, generalmente, un valor de 1.5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable.



## 2.2.12. INUNDACIÓN

Una inundación es la sumersión temporal de terrenos, generalmente secos, como consecuencia de la aportación inusual y más o menos repentina de un volumen de agua superior a lo habitual lo que puede provocar daños a las personas y bienes allí existentes. (Dirección General de Protección Civil y Emergencias Ministerio del Interior. España, 2004)

Para (Knight, 2012), Las inundaciones son el desastre natural número uno en los distintos países de Latinoamérica el cual puede ocurrir en tierra y costas. Aunque uno piense que su comunidad tiene poco o nada de riesgo de inundaciones, la realidad indica que en cualquier lugar que llueva puede este ser inundado.

Es importante tener en cuenta que los riesgos de inundación, no se basan solo en la historia de la comunidad, hay una variedad de factores tales como las precipitaciones, topografía, flujo de ríos y cambios debido a las construcciones nuevas en la comunidad.

### 2.2.12.1. Causas más Frecuentes de Inundaciones

**Fuertes lluvias:** varias áreas tienen un riesgo mayor de inundación debido a las fuertes lluvias. Y por el fenómeno del niño. Lo que provoca que se de las lluvias intensas. (Knight, 2012)

**Nuevas construcciones:** La construcción y la urbanización puede cambiar el drenaje natural y crear nuevos riesgos de inundación. Esto se debe a nuevas viviendas, construcción de carreteras. Y el deterioro de las diversas obras hidráulicas destinadas al control hídrico. (Duran, y otros, 2009)

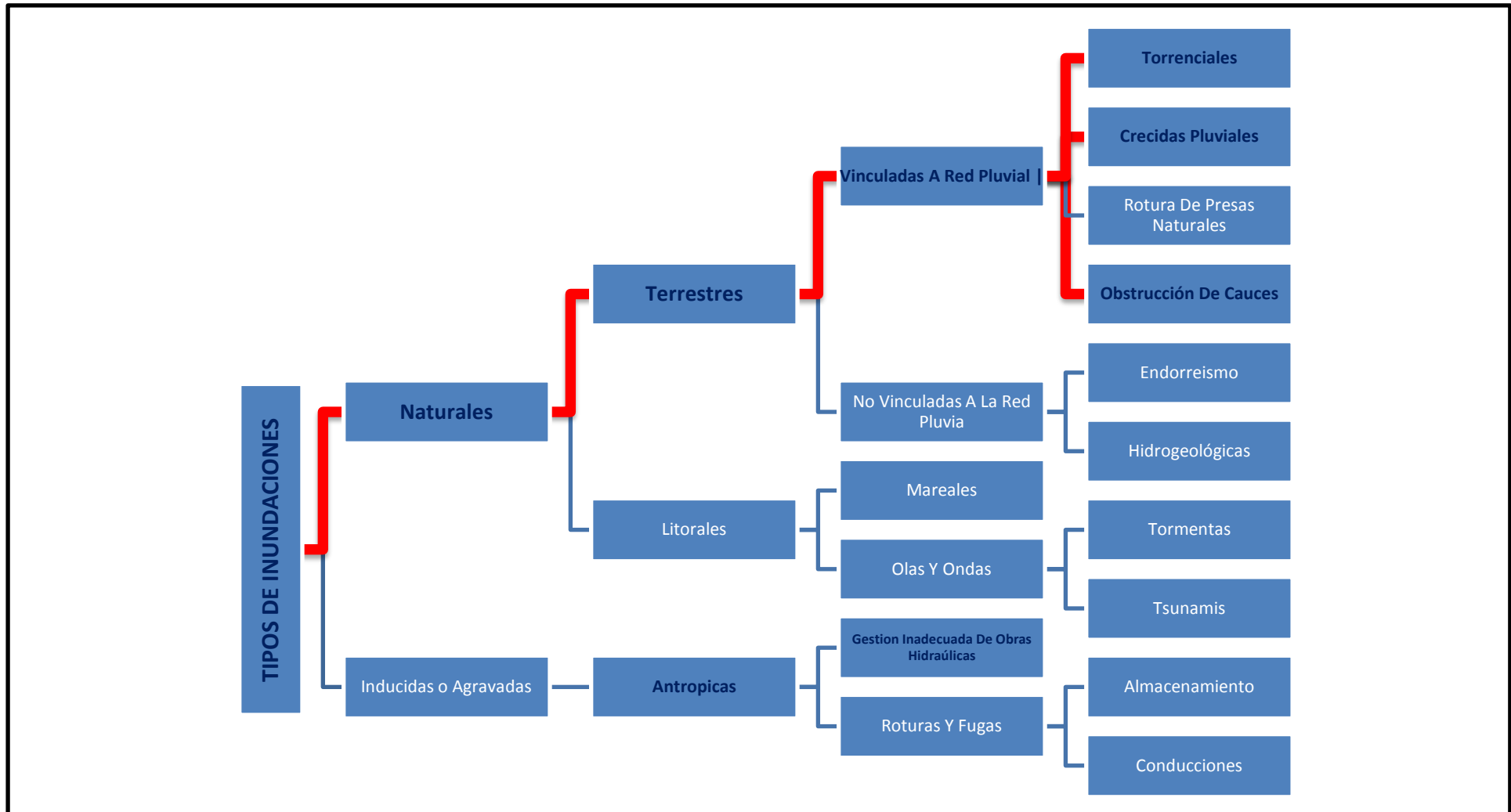
### 2.2.12.2. Riesgo de Inundación

Se entiende por riesgo de inundación a la situación potencial de pérdida o daño a personas, bienes materiales o servicios, como consecuencia del anegamiento de sectores secos por inundaciones a la que se asocia una severidad (intensidad y magnitud) y frecuencia de probabilidad de ocurrencia determinadas (Instituto Geológico y Minero de España, 2008).



La directiva europea de inundaciones lo define como la combinación de la probabilidad de que se produzca inundación y de las posibles consecuencias negativas para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica asociadas a una inundación.

FIGURA Nº 22: Clasificación Básica de los Tipos de Inundación de Acuerdo al Origen



Fuente: (Instituto Geológico y Minero de España, 2008)

### **2.2.12.3. Análisis de la Peligrosidad de Inundación e Inundabilidad**

#### **2.2.12.3.1. Métodos Hidrológicos**

Persiguen respectivamente, la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de las velocidades y calados con los que circularan por un determinado tramo fluvial. (Instituto Geológico y Minero de España, 2008)

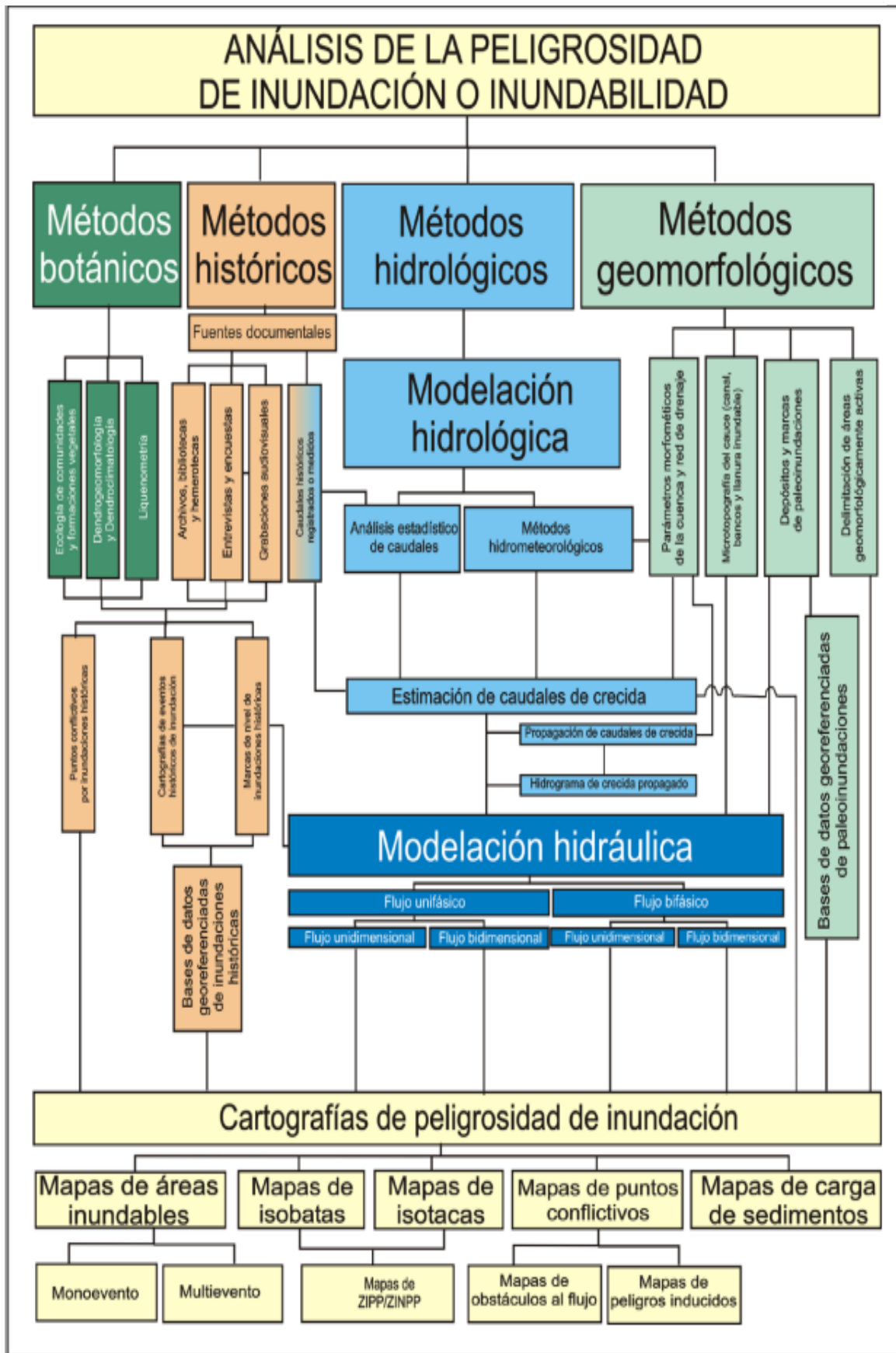
#### **2.2.12.3.2. Métodos Hidrometeorológicos**

Estos métodos se basan en funciones de conversión de variables meteorológicas, fundamentalmente precipitación y escorrentía superficial (caudales) que se apoyan en modelos determinísticos

Los modelos que simulan el proceso precipitación escorrentía pueden ser de varios tipos (Ferrer 1993).

Los discretos: son aquellos que simulan un único evento en el que solo se considera la parte de la precipitación que genera escorrentía superficial, y por lo tanto son especialmente útiles en crecidas fluviales de diseño. (Instituto Geológico y Minero de España, 2008).

FIGURA N° 23: Análisis de la Peligrosidad de Inundación o Inundabilidad



(Instituto Geológico y Minero de España, 2008)

### **2.2.13. EL TERMINO HUAYCO EN EL PERÚ**

La denominación de “Huayco” en el Perú se emplea para describir los flujos de escombros que son movilizados en masa. Así como también de materiales saturados y suelos predominantemente de grano grueso que fluye rápidamente por taludes escarpados. Ocurre comúnmente en áreas con relieves topográficos pronunciados y precipitación pluvial alta.

La granulometría varía en tamaño desde arcillas hasta bolones que pueden ser mayores a 5 m. (Alva Hurtado & Luque Pinto, 1999)

#### **2.2.13.1. Flujo de Escombros**

Según Hampton (1972), el flujo de escombros es el resultado de alguna forma de colapso en el talud. Los escombros que caen como un deslizamiento colectan humedad y se mueven a lo largo de la pendiente, este se licua o se dilata conforme avanza, aumentando la movilidad del fluido.

Y de acuerdo a (Takahashi, 1991) Los flujos de escombros son un flujo antiguo conformado por una mezcla viscosa y sedimentos de todos los tamaños con acumulaciones de cantos rodados que se vuelcan en el frente de la onda y forman lóbulos, detrás del cual siguen los granos finos.

Iverson (1997), los flujos de escombros ocurren cuando masas de sedimento pobremente graduadas, agitadas y saturadas de agua, caen precipitadamente por efecto de la atracción de la gravedad.

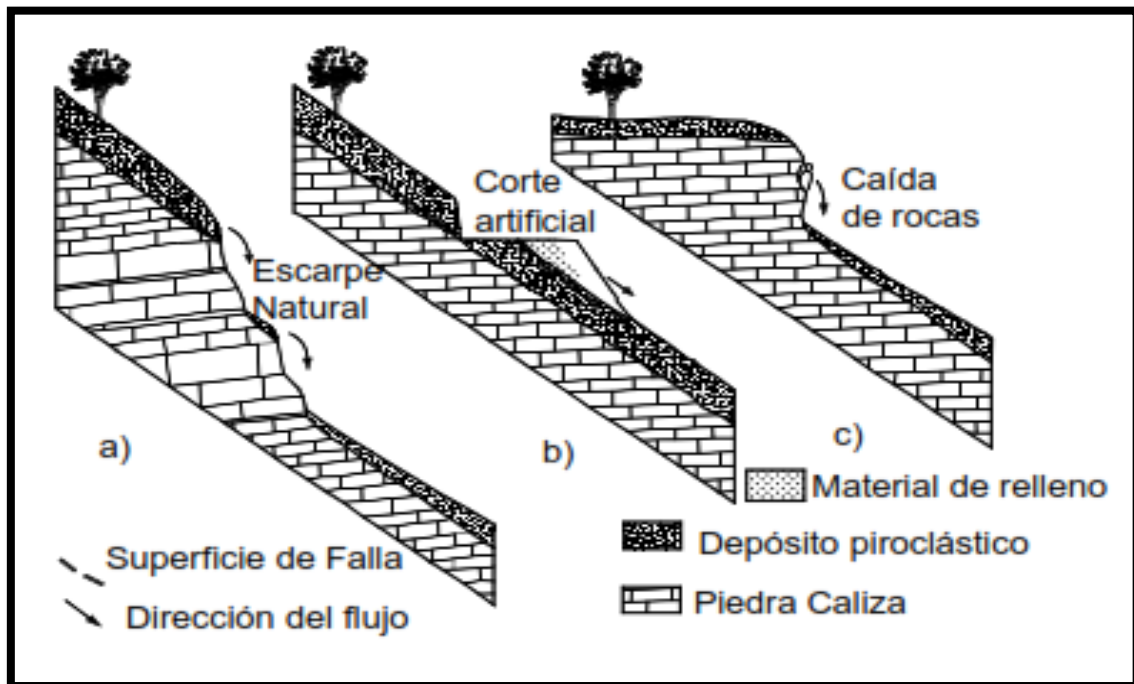
#### **2.2.13.1.1. Mecanismos de Formación de Flujos y Avalanchas**

Los elementos detonantes son los deslizamientos de tierra, las lluvias intensas y los eventos sísmicos. La ocurrencia del flujo depende de que ocurran los deslizamientos, haya disponibilidad de agua suficiente para fluir y la existencia de una cuenca capaz de concentrar el flujo con alta pendiente para producir grandes velocidades (Kanji y otros, 2001).

La forma más común de avalancha es debida a los deslizamientos de tierra generalizados, relacionados con la ocurrencia de lluvias excepcionales. Las

características de la geología son determinantes para la activación de flujos; por ejemplo la intervención antrópica en los materiales de alta susceptibilidad.

**FIGURA Nº 24: Iniciación de Flujos en los Depósitos de Materiales**



(Alva Hurtado & Luque Pinto, 1999)

Los flujos o avalanchas ocurren típicamente en las cuencas de tamaño menor a 10 km<sup>2</sup>, con un gradiente promedio por encima de los 13° y abanicos aluviales de más de 4° (Jackson, 1987).

Los flujos de residuos ocurren en una cuenca con intervalos de retorno entre 5 y 50 años y en algunos casos hasta de 500 años (Jakob y Bovis, 1996). Entre menor sea la frecuencia de los flujos en determinada cuenca, son más peligrosos. Los volúmenes en un flujo son proporcionados al tiempo desde la ocurrencia del último flujo (Jakob y Bovis 1999).

## Características de la Geología

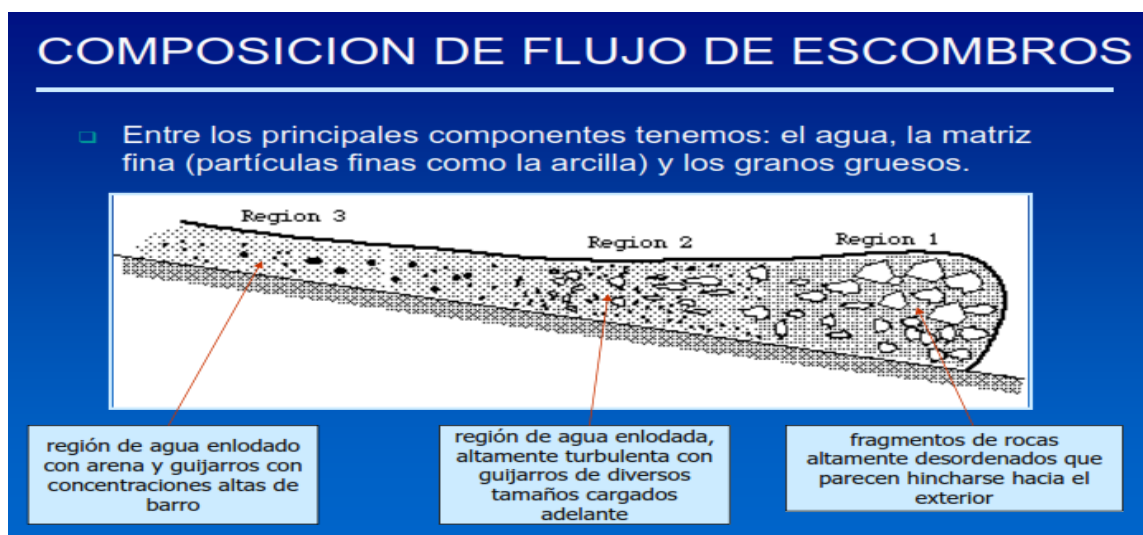
Los flujos de residuos ocurren en una gran variedad de condiciones geológicas. Con suelos residuales de rocas ígneas y metamórficas.

La presencia de vegetación puede disminuir la susceptibilidad, en la medida en que esta vegetación pueda disminuir la velocidad de infiltración y la profundidad de las raíces actué como refuerzo de la superficie potencial de deslizamiento. En zonas de muy alta pendiente, el peso de la vegetación puede coadyuvar a la ocurrencia de deslizamiento.

### 2.2.13.1.2. Composición de Flujo de Escombros

Entre los principales componentes tenemos: el agua, la matriz fina (partículas finas como la arcilla) y los granos gruesos.

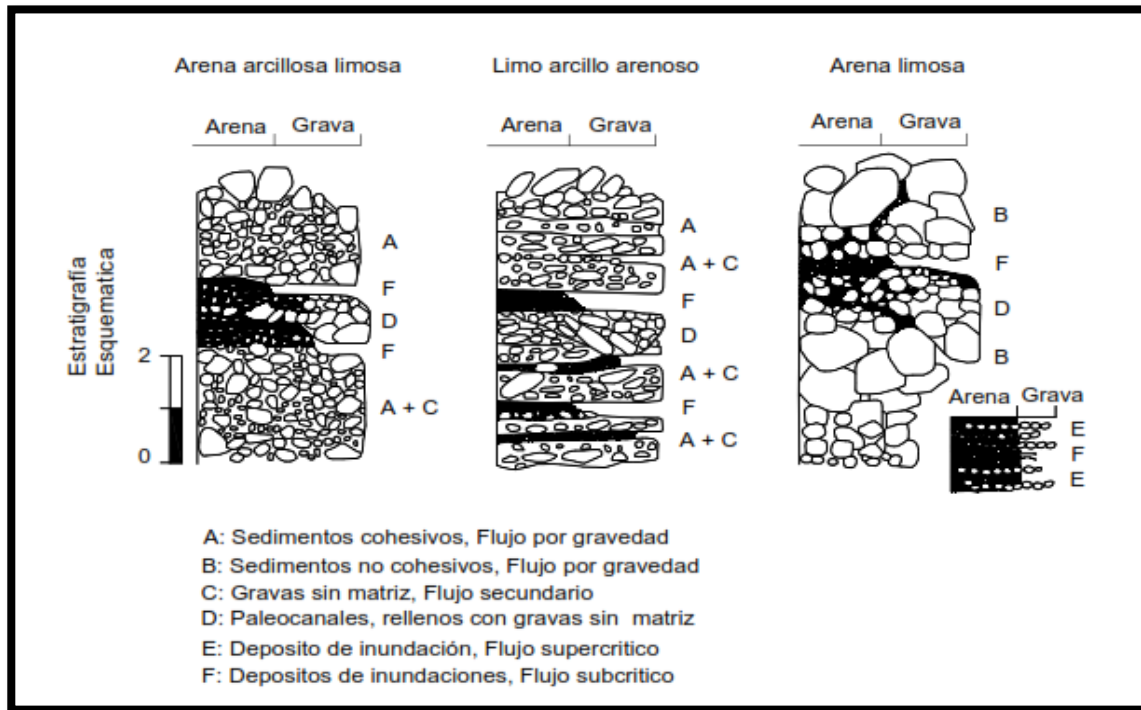
**FIGURA Nº 25: Composición de Flujo de Escombros**



Fuente: (Castillo Navarro, 2007)



FIGURA N° 26: Estratigrafía de los Tipos de Suelos y el Tipo de Flujo.



Fuente: (Castillo Navarro, 2007)

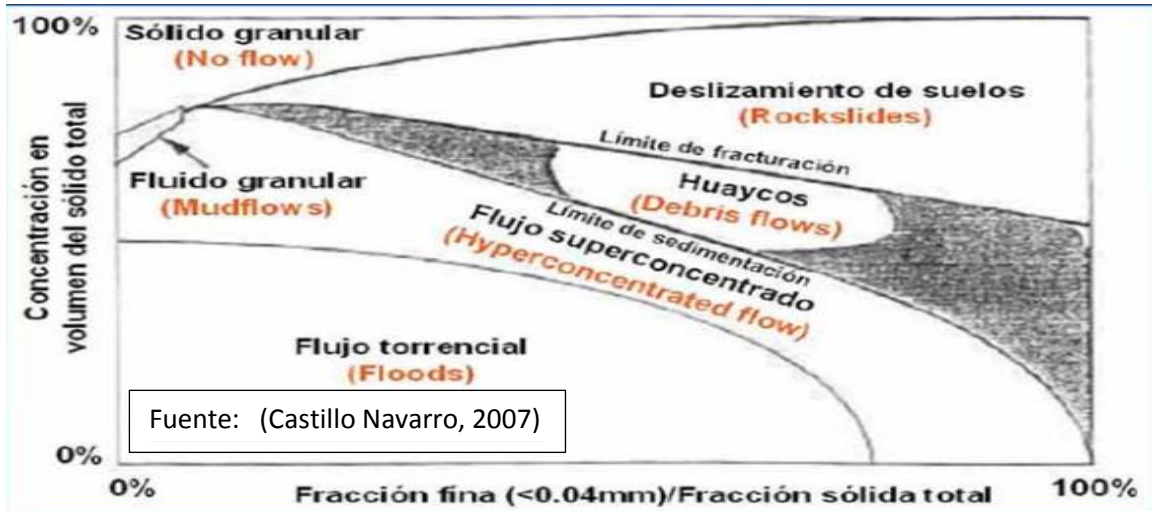
### 2.2.13.1.3. Clasificación de los Flujos de Escombros

Existen distintos criterios de clasificación de los flujos de escombros: De acuerdo a costa (1988) diferencia 3 tipos de flujo: avenidas de agua (Wáter Flood), flujos Hiperconcentrados y flujos de detritos (Debris Flow). (Castillo Navarro, 2007)

Flujo	Concentración de sedimentos	Densidad de los sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	$\tau_y$ (dn/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Fluido
Avenida de Agua	1-40% en peso 0.4-20% en volumen	1.01-1.33	0-100	Newtoniano
Flujo	Mayor mecanismo de soporte de los sedimentos	Viscosidad (poise)	Perfil de concentración de sedimentos	Tipo de flujo predominante
Avenida de agua	Fuerzas electrostática, turbulencia	0.01-20	No uniforme	Turbulento
Flujo Hiperconcentrado	Empuje, esfuerzo dispersivo, turbulencia	20-200	No uniforme a uniforme	Turbulento a Laminar
Flujo de escombros	Cohesión, empuje, esfuerzo dispersivo, soporte estructural	>>200	Uniforme	Laminar

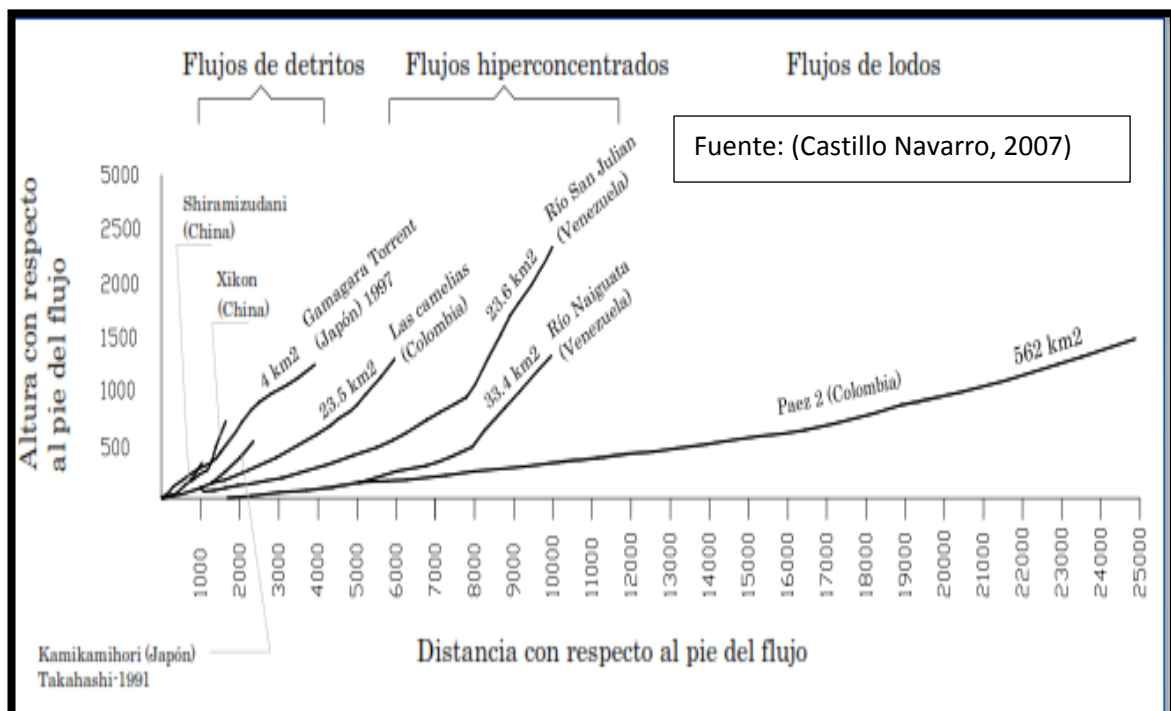
-De acuerdo al investigador francés Coussot (1997) clasifica los huaycos utilizando como parámetros la concentración y la granulometría del material sólido.

FIGURA Nº 27: Clasificación según COSTA (1988)



Para Jaime Suarez Díaz (2001) muestra una clasificación en función del perfil característico de cada tipo de flujo. Los flujos de detritos ocurren generalmente en canales de gran pendiente y tiene una longitud de recorrido menor que los flujos hiperconcentrados y los flujos de lodo. (Castillo Navarro, 2007).

FIGURA Nº 28: Relación Altura v/s Distancia de Flujo



Los flujos de lodo, son altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas). El fluido se comporta como un “Slurry” homogéneo. De acuerdo a experimentos de Wan y Chien (1989), un fluido se convierte en un “Slurry” homogéneo a una concentración de partículas finas de solamente de 90 kg/m<sup>3</sup>. En el caso que el índice de plasticidad (IP) para matrices de sedimentos del flujo son mayores a 5 %, se colocan dentro de la clasificación de Mudflows (Hung, 2001).

**El flujo hiperconcentrado**, está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua. Se considera un flujo hiperconcentrado si la concentración volumétrica de sedimentos en el flujo varía de 20 % a 60 %.

En los flujos de detritos los sedimentos controlan totalmente el flujo y el componente agua es menos importante. El movimiento de los flujos de detritos se le relaciona generalmente con “flujo turbulento de granos” el movimiento se produce por transferencia de momentum al colisionar las partículas o bloques que se mueven. Los flujos son no viscosos y son generalmente flujos turbulentos de dos fases. La fase líquida es un Slurry consistente de agua y partículas finas y la fase sólida son las partículas gruesas. (Castillo Navarro, 2007)

#### **2.2.13.1.4. Caudal del flujo de Escombros.**

Para la estimación de los caudales máximos de los flujos de escombros existe la siguiente metodología.

Esta metodología es planteada por O'Brien (2000) donde el hidrograma de flujo de agua multiplicado por un factor que está en función de la concentración volumétrica de sedimentos ( $C_v$ ) nos da el correspondiente caudal de flujo de escombros:

$$Q_t = BF \times Q_1$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v}$$

Donde:

$Q_t$  = Caudal total del flujo de detritos (m<sup>3</sup>/s)

$Q_1$  = Caudal líquido (m<sup>3</sup>/s)

BF= Factor de volumen (Bulking Factor)

Cv= Concentración volumétrica de Detritus

Según la referencia de O'Brien, para flujos de detritus el valor de Cv varía entre 0.20 (para flujos bajos) y 0.45 (para flujos altos).

## **2.2.14. GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES**

Es el conjunto de conocimientos, medidas, acciones y procedimientos que, conjuntamente con el uso racional de recursos humanos y materiales, se orientan a la planificación de programas y actividades para evitar o reducir los efectos de los desastres. La gestión de desastres, sinónimo de prevención y atención de desastres. (Instituto Nacional de Defensa civil, 2006)

### **2.2.14.1. Estimación del Riesgo**

La estimación del riesgo en defensa civil es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad para determinar o calcular el riesgo esperado (probabilidades de daños: pérdidas de vida e infraestructura)

#### **2.2.14.1.1. Peligro**

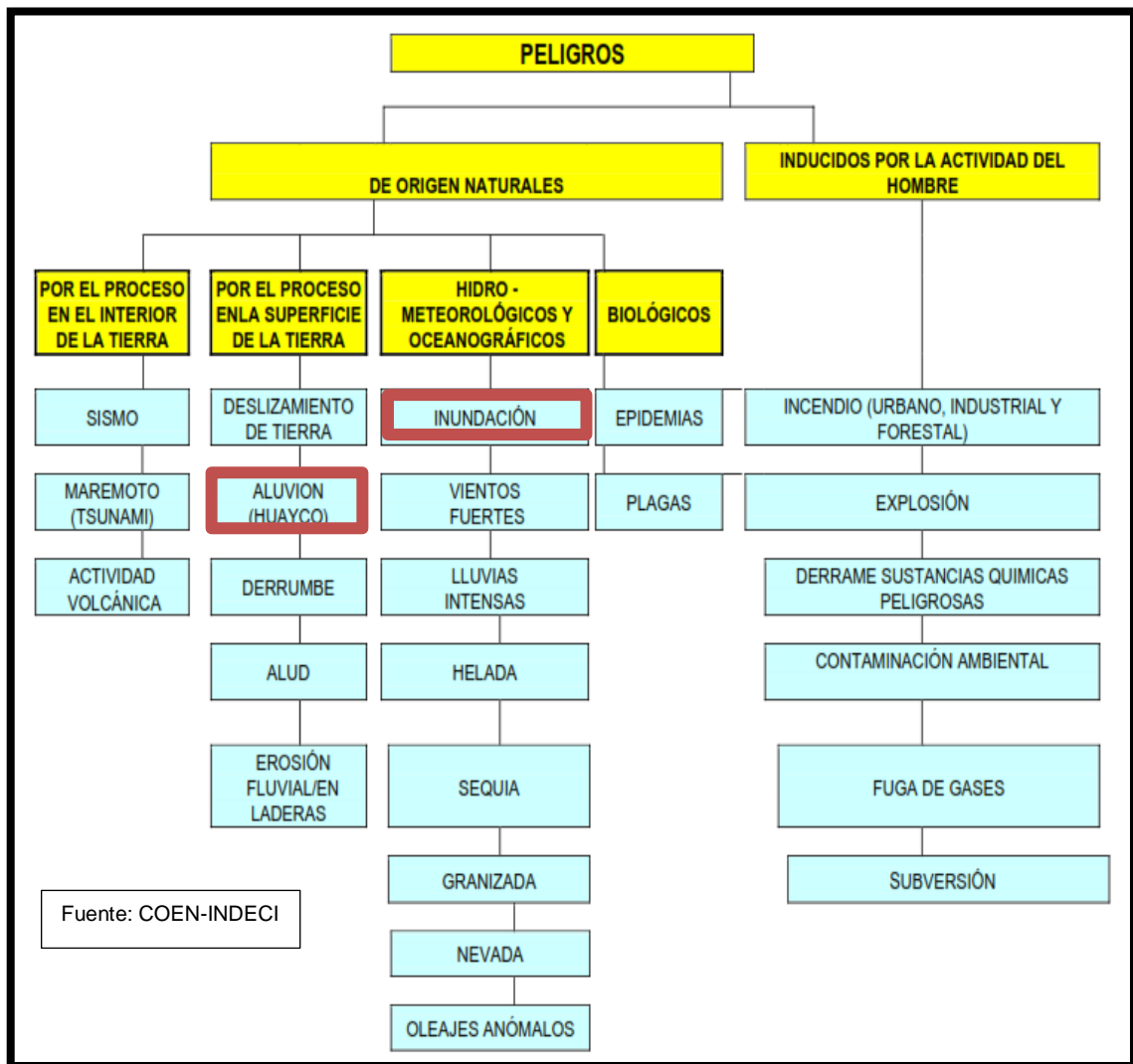
El peligro es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno, que es natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente Dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente.

En otros países se utiliza el término amenaza, para referirse al mismo concepto de peligro. (Instituto Nacional de Defensa civil, 2006)

#### **2.2.14.1.2. Clasificación de los principales peligros**

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases, origen natural o generado por la acción del hombre.

FIGURA Nº 29: Clasificación de los Principales Peligros



### 2.2.14.1.3. Estratificación del Peligro

Para fines de estimación del riesgo las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles; bajo, medio, alto, muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en la siguiente figura.

**FIGURA Nº 30: Estratificación del Peligro**

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
PB (Peligro Bajo)	Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznable. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc. Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	1 < de 25%
PM (Peligro Medio)	Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.	2 De 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas. Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico	3 De 51% a 75% <sup>o</sup>
PMA (Peligro Muy Alto)	Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo ("lloclla"). Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava. Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones. Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico	4 De 76% a 100%

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006)

### 2.2.14.1.4. Vulnerabilidad

Para el (Instituto Nacional de Defensa civil, 2006), La vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad como un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional, entre otros), pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de

probabilidad, en porcentaje de 0 a 100. La vulnerabilidad, es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido lo suficiente en obras o acciones de prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado alto.

### 2.2.14.1.4.1. Vulnerabilidad Física

Está relacionada con la calidad o tipo de material utilizado y el tipo de construcción de las viviendas, establecimientos económicos (comerciales e industriales) y de servicios (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (central hidroeléctrica, carretera, puente y canales de riego para asimilar los efectos del peligro).

Un aspecto a considerar es lugar donde se asienta el centro poblado, cerca de fallas geológicas, ladera de cerros, riberas de ríos, faja marginal, laderas de una cuenca hidrográfica, situación que incrementa significativamente su nivel de vulnerabilidad.

**FIGURA Nº 31: Cuadro de Vulnerabilidad Física**

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB < 25 %	VM 26 a 50 %	VA 51 a 75 %	VMA 76 a 100 %
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva( de concreto o acero)	Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario
Localización de viviendas (*)	Muy alejada > 5 Km	Medianamente cerca 1 – 5 Km	Cercana 0.2 – 1 Km	Muy cercana 0.2 – 0 Km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

(\*) Es necesario especificar la distancia, de acuerdo a la ubicación del tipo de vulnerabilidad

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil,

### 2.2.14.1.4.2. Estratificación de la vulnerabilidad

Para fines de estimación del riesgo, la vulnerabilidad puede estratificarse en cuatro niveles; bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y su valor correspondiente se detallan en la figura. (Instituto Nacional de Defensa civil, 2006).

**FIGURA N° 32: Estrato, Descripción y Valor de la Vulnerabilidad**

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION /CARACTERISTICAS	VALOR
VB (Vulnerabilidad Baja)	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso medio y alto, con estudios y cultura de prevención, con cobertura de los servicios básicos, con buen nivel de organización, participación total-y articulación entre las instituciones y organizaciones existentes.	1 < de 25%
VM (Vulnerabilidad Media)	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad. Con material noble, en regular y buen estado de conservación, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de los servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia. Población organizada, con participación de la mayoría, medianamente relacionados e integración parcial entre las instituciones y organizaciones existentes.	2 De 26% a 50%
VA (Vulnerabilidad Alta)	Viviendas asentadas en zonas donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha. Población con escasos recursos económicos, sin conocimientos y cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia; así como con una escasa organización, mínima participación, débil relación y una baja integración entre las instituciones y organizaciones existentes.	3 De 51% a 75%
VMA (Vulnera Muy Alta)	Viviendas asentadas en zonas de suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización. Población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos y accesibilidad limitada para atención de emergencias; así como una nula organización, participación y relación entre las instituciones y organizaciones existentes.	4 De 76% a 100%

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006)

### 2.2.14.1.1. Riesgo (R)

El riesgo es la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos), ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o antrópico.



### 2.2.14.1.1.1. Cálculo del Riesgo

Una vez identificado los peligros a la que está expuesta el centro poblado y realizado el análisis de vulnerabilidad (V), se procede a una evaluación conjunta, para calcular el riesgo (R), Es decir estimar la probabilidad de pérdidas y daños esperados (personas, bienes materiales, recursos económicos) ante la ocurrencia de un fenómeno de origen natural o tecnológico.

De acuerdo al criterio descriptivo, se basa en el uso de la matriz de doble entrada “Matriz de peligro y vulnerabilidad” para tal efecto, se requiere que previamente se hallan determinando los niveles de probabilidad (porcentaje) de ocurrencia del peligro identificado y del análisis de vulnerabilidad. (Instituto Nacional de Defensa civil, 2006).

**FIGURA Nº 33: Matriz de Peligro y Vulnerabilidad**

Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

**LEYENDA:**

- Riesgo Bajo (< de 25%)
- Riesgo Medio (26% al 50%)
- Riesgo Alto (51% al 75%)
- Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006)

### 2.2.15. MITIGACIÓN

Se denomina mitigación al esfuerzo por reducir la pérdida de vida y propiedad reduciendo el impacto de los desastres. La mitigación se logra tomando acción ahora - antes de que azote el próximo desastre – para así disminuir los daños por desastre, reconstrucción y daños repetidos. Para que los esfuerzos de mitigación sean exitosos. (Federal Emergency Management Agency, (FEMA), 2016).

### **2.2.15.1. Medidas de Mitigación Estructurales**

Para (Lopez S, 2005) las medidas estructurales se basan en la construcción de obras hidráulicas para el Control de los flujos y de los sedimentos aportados por los torrentes, estas obras de control consisten básicamente en:

#### **2.2.15.1.1. Obras de Conducción de Flujos (Canalización)**

Las obras de conducción se utilizan para guiar y conducir los flujos desde las presas o lagunas de almacenamiento hasta un sitio seguro de descarga, ellas consisten en canalizaciones, diques y bermas, estructuras de caída y obras de disipación. (Lopez S, 2005)

#### **2.2.15.1.2. Obras de Estabilización de Cauces**

Las obras de estabilización de cauces se refieren a una serie de pequeñas presas escalonadas que se construyen en los tributarios para estabilizar las pendientes de los cauces y laderas, reduciendo la energía del flujo para transportar los sedimentos. (Lopez S, 2005)

### **2.2.15.2. Medidas de Mitigación No Estructurales**

Las medidas de mitigación no estructurales se concentran principalmente en identificar las áreas de alto riesgo y limitar su uso, los cuales pueden ser

Zonificación del uso de tierra, selección de lugares para edificaciones, incentivos fiscales, programas de seguros, reubicación de residentes, así como del establecimiento de sistemas de alerta.

Las Medidas no Estructurales se Basan en los Siguietes Aspectos:

#### **2.2.15.2.1. Instrumentación de Sistemas de Monitoreo de Variables Hidrometeorológicas en la Cuenca.**

El sistema de monitoreo hidrometeorológico requiere de la instalación de estaciones automáticas y telemétricas para la captación de los datos de precipitación en tiempo real, los cuales se transmiten a una estación central que reporta a las instituciones encargadas de dar señales a la población. (Lopez S, 2005).

### **2.2.15.2.2. Elaboración del Mapa de Riesgo.**

Es mostrar de forma gráfica la predicción de un determinado nivel de riesgo y la definición de sus atributos en coordenadas especiales y temporales específicas (Maskrey, 1998)

Es el conjunto de mapas, gráficos que muestran las amenazas que hay en determinada área y la probabilidad de que ocurra.

Para la elaboración se debe de tener en cuenta, los períodos de retorno o frecuencia de los eventos así como consultar a la ciudadanía, pues frecuentemente la memoria de episodios desastrosos brinda más información que los estudios técnicos disponibles, los mapas de riesgo permitirán establecer zonas de alto, medio y bajo riesgo. (Vargas , 2002)

#### **2.2.15.2.2.1. Representación Cartográfica de la Peligrosidad por Avenidas e Inundaciones**

Los mapas de peligrosidad de inundaciones (MPI; Duran, 1998) consisten en la representación espacial y gráfica de los distintos aspectos que se analizan en la peligrosidad de las inundaciones, lo que da lugar a diferentes tipos de mapas (Diez y Pujadas, 2002):

Desarrollo espacio temporal; comprendiendo las áreas afectadas por el fenómeno natural al que se asocia la peligrosidad y el tiempo de actuación y permanencia del agente o sus efectos; derivan varios tipos de cartografías:

##### **2.2.15.2.2.1.1. Mapas de Áreas Inundadas**

Es la representación gráfica de los peligros que se suscitaron en una inundación o huayco.

Son mapas de peligrosidad que representan la extensión y los procesos ocurridos en una inundación. Estos mapas se realizan mediante observaciones de los efectos de una inundación obtenidos por información de campo. (Llobet, 1963; Calvet, 1983 y 1987; Arbiol et al 1984, Martínez - Goytre et al, 1986; Guerrero y Baena, 1997, 1998).

### **2.2.15.2.2.1.2. Mapas de Áreas Potencialmente Inundables**

Son mapas que muestran áreas de inundación por precipitación y acumulación “in situ” (Pernía et al, 1987, Diez y Zanz, 1998), estos mapas también muestran desbordamiento durante avenidas, invasión marina, o elevación del nivel freático.

### **2.2.15.2.2.1.3. Mapas de Probabilidad del Fenómeno**

Son mapas que normalmente expresan mediante el concepto de período de retorno o la frecuencia relativa: mapas de inundabilidad o áreas inundadas para un período de retorno dado. Las diferentes técnicas de estimación del área potencialmente afectada permiten diferenciar dos tipos de cartografías

- Hidrológico – hidráulicas

Son aquellas basadas en la estimación de calados asociados a cada caudal de crecida mediante modelos hidráulicos, y su posterior transposición en el mapa topográfico (Mapas previsores, IGME – ITGE; CEDEX, 1998 a y b; Diez y Zans, 1998)

- Geológico geomorfológico

Basadas en el estudio de las formas del terreno modeladas en las crecidas (terrazas y llanuras fluviales) o en depósitos de inundaciones previas, y que permite delimitar las zonas geomorfológicamente activas con diferentes probabilidades (Mapas Previsores, IGME – ITGE; Pujadas, 1993, 1995, 1997 y 1999 a y b).

En ocasiones, estos mapas de peligrosidad se acompañan de otros que tratan de representar la peligrosidad de riesgos asociados a las inundaciones, sobre todo fluviales, como movimientos gravitacionales que pueden influir en la estabilidad de las laderas: