

**ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO POR EVENTOS GEOTECNICOS EN
LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DE LA CORRIENTE HIDROGRAFICA DEL
RIO GUATAPURI**

ORLANDO OTERO RODRIGUEZ

RICARDO FABIO VIDES DE LA HOZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2010

**ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO POR EVENTOS GEOTECNICOS EN
LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DE LA CORRIENTE HIDROGRAFICA DEL
RIO GUATAPURI**

ORLANDO OTERO RODRIGUEZ

CÓDIGO: 2032875

RICARDO FABIO VIDES DE LA HOZ

CODIGO: 2040214

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR

Ingeniera Civil. Ms.c, HEBENLY CELIS LEGUIZAMO

CO- DIRECTOR

Ingeniero Geólogo. Ms.c, FRANCISCO JAVIER PEREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2010

DEDICATORIA

A mis padres, Pedro María y Ana Delfina por su apoyo incondicional, por ser ejemplo de esfuerzo y superación, así como motor permanente de mi desarrollo como persona, porque me han brindado las herramientas necesarias para lograr cada uno de mis éxitos profesionales.

A mis hermanos, porque con su paciencia me han acompañado a forjar el camino que hoy me lleva a cumplir uno de mis sueños.

A mi novia, Diana Carolina porque con su esfuerzo, su apoyo, pero principalmente su amor no me ha permitido desistir en los intentos y ha logrado que cada día sea mejor persona.

A todos aquellos que de una u otra manera hicieron posible que este proyecto sea una realidad, gracias a su esfuerzo y colaboración.

Orlando Otero Rodríguez

DEDICATORIA

A mi Dios por darme fuerza, motivación y empeño para enfrentar este reto con la mayor seriedad y responsabilidad del caso.

A mi papa Félix, a mi mama Cecilia, a mi hermano Kuki y a mi hermana Patri por apoyarme en los momentos difíciles y siempre tener buenos consejos y mensajes de aliento que me ayudaron a superar todos los obstáculos que se presentaron en el camino para obtener el título profesional

A todos mis familiares, en especial mis primos toño y Johnny, mi tío Jaime, mis tías Ana, rosa y esperanza y mi abuela Hilda quienes estuvieron conmigo durante todo el proyecto y me dieron ánimos cuando pasé por momentos difíciles.

A mis amigos por preocuparse e interesarse en el buen desarrollo del proyecto de grado y transmitirme siempre buenas energías.

Ricardo Fabio Vides De La Hoz

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a:

A la Corporación autónoma regional del Cesar (Corpocesar), en especial al subdirector ambiental el doctor Félix Vides Pérez por la vinculación al proyecto y en el desarrollo de éste la asesoría que nos brindó.

Al ingeniero geólogo Francisco Javier Pérez por su colaboración y asesoría permanente en el desarrollo del proyecto.

Al Doctor Jorge Mazzenet por estar siempre a disposición de las necesidades que se presentaron en el proyecto y poner a la orden su experiencia y conocimientos sobre el tema.

A nuestra directora Hebenly Celis por estar pendiente de nuestro proyecto de grado, y por colaborarnos y por su asesoría.

Al Grupo de Consultoría en Proyectos de Medio Ambiente, Hidráulica y Fuente de Energía Renovable de la universidad del magdalena por recibarnos como hermanos en sus oficinas de trabajo.

A la Universidad del Magdalena por toda la atención prestada

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE FOTOS.....	XVII
LISTA DE TABLAS	XX
LISTA DE ILUSTRACIONES	XXI
LISTA DE ANEXOS	XXII
RESUMEN	XXIII
ABSTRACT	XXIV
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2 DELIMITACION DEL ESTUDIO.....	5
3 JUSTIFICACION	6
4 MARCO TEORICO	7
4.1 TERMINOS BASICOS.....	7
4.2 ANTECEDENTES.....	8
4.3 GENERALIDADES	9

5	METODOLOGÍA	16
5.1	IDENTIFICACION	16
5.2	FUENTES DE INFORMACION	16
5.3	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	17
5.4	ESQUEMA METODOLOGICO	18
6	HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA	22
6.1	PRECIPITACION	29
6.1.1	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA LLUVIA.....	29
6.1.2	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA LLUVIA	30
6.2	CLIMA.....	34
7	GEOLOGÍA.....	38
7.1	GRANULITA DE LOS MANGOS (P€M).....	38
7.2	GRANITOIDES DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (JGR)	41
7.3	VOLCÁNICO RIOLÍTICO DE CHEMESQUEMENA (JKVR)	44
7.4	LACOLITO DE ATANQUES (ELA)	46
7.5	DEPÓSITOS RECIENTES	48
7.5.1	DEPÓSITOS ALUVIALES (QAL)	48
7.5.2	TERRAZAS (QT).....	49
7.5.3	DEPÓSITOS DE PENDIENTE (COLUVIONES) (QD)	50
7.5.4	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: (ELA) LACOLITO DE ATANQUEZ54	

7.5.5	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: (JGR) GRANITOIDES DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA	55
7.5.6	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: PEM GRANULITA DE PRECÁMBRICA DE LOS MANGOS.....	56
8	GEOMORFOLOGÍA.....	58
8.1	PENDIENTES.....	58
8.2	RELIEVE MONTAÑOSO FLUVIAL EROSIONAL.....	62
9	COBERTURA DEL SUELO.....	67
9.1	METODOLOGIA APLICADA.....	69
9.1.1	BOSQUES.....	74
9.1.2	RASTROJOS	76
9.1.3	PASTOS.....	77
9.1.4	SUELOS DESNUDOS	78
9.1.5	URBANO.....	79
9.2	MAPA DE COBERTURA VEGETAL.....	80
10	GEOTECNIA.....	81
10.1	TOMA DE MUESTRAS.....	81
10.2	EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	85
10.3	ENSAYOS DE SUELOS.....	90
10.3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIOS.....	90
11	EVALUACION DE AMENAZA.....	98

11.1	FACTORES DETONANTES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN LA ZONA	100
11.1.1	HIDROMETEOROLOGIA.....	100
11.1.2	LLUVIAS	100
11.2	IDENTIFICACION DE PARAMETROS EN EL ANALISIS DE LA AMENAZA.....	101
11.2.1	CLIMATOLOGÍA E HIDROLOGÍA.....	103
11.2.2	GEOLOGÍA	103
11.2.3	GEOMORFOLOGÍA	104
11.2.4	COBERTURA VEGETAL	107
11.2.5	GEOTECNIA	110
11.2.6	TOPOGRAFÍA.....	111
11.2.7	SISMOLOGÍA.....	112
11.3	PONDERACION DE LOS PARAMETROS	113
11.3.1	MÉTODOS EMPÍRICOS	113
11.3.2	MÉTODOS DETERMINÍSTICOS	114
11.3.3	MÉTODOS ESTADÍSTICOS	115
11.3.4	MÉTODOS HEURÍSTICOS.....	117
11.4	NIVELES DE AMENAZA	118
11.5	ELABORACION MAPA DE AMENAZA.....	119
11.5.1	MAPA DE COBERTURA Y USO DEL SUELO.....	120
11.5.2	MAPA DE PENDIENTES	121
11.5.3	MAPA GEOLÓGICO	122

11.5.4	MAPA GEOMORFOLÓGICO	123
11.5.5	MAPA DE CORREDORES DE FALLAS SÍSMICAS	124
11.6	GENERACION DEL MAPA DE AMENAZA	125
11.7	MAPAS DE AMENAZAS.....	131
11.7.1	CRUCE 1.....	133
11.7.2	CRUCE 2.....	134
11.7.3	CRUCE 3.....	135
11.7.4	CRUCE 4.....	136
11.8	MAPA DE AMENAZA	137
12	VULNERABILIDAD	138
12.1	FACTORES PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD.....	138
12.2	VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS.....	140
12.3	VULNERABILIDAD ECONÓMICA	141
12.4	VULNERABILIDAD SOCIAL.....	141
12.5	VULNERABILIDAD AMBIENTAL.....	142
12.6	PONDERACIÓN DE VARIABLES VULNERABLES	143
12.6.1	INTERPRETACION DE ENCUESTA	143
12.6.2	CRITERIOS Y PONDERACIONES PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	153
12.7	ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD	157
13	RIESGO	158
13.1	TIPOS DE RIESGO	160

13.2	GENERACION DEL MAPA DE RIESGO.....	161
13.3	ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO	162
	RECOMENDACIONES.....	163
	CONCLUSIONES	170
	BIBLIOGRAFIA.....	172
14	ANEXOS.....	173
14.1.1	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	174
14.1.2	ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG.....	178
14.1.3	ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	184
14.1.4	ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	186
14.1.5	REGISTRO FOTOGRAFICO	196

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Localización de la cuenca hidrográfica del Río Guatapuri</i>	5
<i>Figura 2: Cuadrángulo de trabajo seleccionado para evaluar en detalle la amenaza</i>	5
<i>Figura 3: Cuenca del Río Guatapuri</i>	11
<i>Figura 4: Esquema metodológico</i>	21
<i>Figura 5: Ciclo hidrológico del agua</i>	23
<i>Figura 6: Mapa de la cuenca del Río Guatapuri, estaciones meteorológicas</i>	29
<i>Figura 7: Parte media (precipitación media mensual década 1999-2008 que muestra los picos de exceso y déficit hídrico asociados a fase neutral y fase Niño-Oscilación Sur-ENSO)</i>	30
<i>Figura 8: Distribución cronológica de la precipitación media anual, estación Sarachui</i>	33
<i>Figura 9: Distribución cronológica de la precipitación media anual, estación Cicolac</i>	34
<i>Figura 10: Climogramas de la estación patillal</i>	36
<i>Figura 11: Climograma, estación Cicolac</i>	36
<i>Figura 12: Fotografías aéreas interpretadas posteriormente</i>	69
<i>Figura 13: Fotografías aéreas interpretadas posteriormente</i>	70
<i>Figura 14: Histograma de áreas (Has) y clases de cobertura vegetal</i>	73
<i>Figura 15: Porcentaje de las coberturas</i>	73
<i>Figura 16: Mapa de bosques</i>	75
<i>Figura 17: Mapa de rastrojos</i>	76
<i>Figura 18: Mapa de pastos</i>	77
<i>Figura 19: Mapa de suelos desnudos</i>	78
<i>Figura 20: Mapa urbano</i>	79
<i>Figura 21: Mapa de cobertura vegetal</i>	80
<i>Figura 22: Mapa de cobertura vegetal</i>	120

<i>Figura 23: Mapa de pendientes</i>	121
<i>Figura 24: Mapa geológico.....</i>	122
<i>Figura 25: Mapa geomorfológico</i>	123
<i>Figura 26: Mapa de corredores de fallas sísmicas.....</i>	124
<i>Figura 27: Agregar shapes.....</i>	125
<i>Figura 28: Shapes de los mapas</i>	125
<i>Figura 29: Mapas agregados</i>	126
<i>Figura 30: Aplicación de cruces de mapas</i>	126
<i>Figura 31: Ponderación del Mapa de geología</i>	127
<i>Figura 32: Ponderación del Mapa de cobertura</i>	127
<i>Figura 33: Ponderación del Mapa geomorfológico.....</i>	128
<i>Figura 34: Ponderación del Mapa de corredores de fallas sísmicas.....</i>	128
<i>Figura 35: Ponderación del Mapa de pendientes.....</i>	129
<i>Figura 36: Ejecutando la aplicación de cruces de mapas</i>	129
<i>Figura 37: Adjudicación de valores de amenaza</i>	130
<i>Figura 38: Rango de valores de amenaza</i>	131
<i>Figura 39: Mapa de amenazas</i>	131
<i>Figura 40: Mapa de amenaza cruce 1</i>	133
<i>Figura 41: Mapa de amenaza cruce 2</i>	134
<i>Figura 42: Mapa de amenaza cruce 3</i>	135
<i>Figura 43: Mapa de amenaza cruce 4</i>	136
<i>Figura 44: Mapa de amenaza</i>	137
<i>Figura 45: Porcentaje pregunta 1.....</i>	143
<i>Figura 46: Porcentaje pregunta 2.....</i>	144
<i>Figura 47: Porcentaje pregunta 3.....</i>	144
<i>Figura 48: Porcentaje pregunta 4.....</i>	145
<i>Figura 49: Porcentaje pregunta 5.....</i>	145
<i>Figura 50: Porcentaje pregunta 6.....</i>	146
<i>Figura 51: Porcentaje pregunta 7.....</i>	146

<i>Figura 52: Porcentaje pregunta 8.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 53: Porcentaje pregunta 9.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 54: Porcentaje pregunta 10.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 55: Porcentaje pregunta 11.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 56: Porcentaje pregunta 12.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 57: Porcentaje pregunta 13.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 58: Porcentaje pregunta 14.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 59: Porcentaje pregunta 15.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 60: Porcentaje pregunta 16.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 61: Porcentaje pregunta 17.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 62: Porcentaje pregunta 18.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 63: Porcentaje pregunta 19.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 64: Mapa de vulnerabilidad.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 65: Mapa de riesgo.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 66: Barranco.....</i>	<i>198</i>
<i>Figura 67: Deslizamiento.....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 68: Deslizamiento.....</i>	<i>200</i>
<i>Figura 69: Deslizamiento.....</i>	<i>201</i>
<i>Figura 70: Cárcava.....</i>	<i>202</i>
<i>Figura 71: Primer gavión.....</i>	<i>206</i>
<i>Figura 72: Segundo gavión.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 73: Tercer gavión.....</i>	<i>208</i>
<i>Figura 74: Cuarto gavión.....</i>	<i>209</i>
<i>Figura 75: Vista en planta de los cuatro gaviones.....</i>	<i>210</i>
<i>Figura 76: Encuesta socio- económica.....</i>	<i>223</i>

LISTA DE FOTOS

<i>Foto 1: Sierra Nevada de Santa Marta</i>	10
<i>Foto 2: Corregimiento Guatapurí</i>	13
<i>Foto 3: Corregimiento Chemesquemena</i>	15
<i>Foto 4: Viviendas vulnerables a deslizamientos</i>	20
<i>Foto 5: Panorámica del cerro Bucuncusa, sitio de afloramiento de la Granulita de Los Mangos. En primer plano el caserío de Guatapurí</i>	39
<i>Foto 6: Detalle de las rocas de la Granulita de Los Mangos</i>	40
<i>Foto 7: Expresión morfológica de los granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta</i>	42
<i>Foto 8: Contacto entre los depósitos aluviales del río Guatapurí con los Granitoides</i>	43
<i>Foto 9: Detalle de la meteorización del Granitoide</i>	44
<i>Foto 10: Horizonte de meteorización del volcánico riolítico</i>	46
<i>Foto 11: Afloramiento del Lacolito de Atanquez, a la derecha se muestran tres de las familias de discontinuidades</i>	47
<i>Foto 12: Detalles del cuaternario aluvial del área</i>	49
<i>Foto 13: Aspectos de los depósitos aluviales en los dos caseríos</i>	50
<i>Foto 14: Aspectos de los coluviones encontrados en el área</i>	51
<i>Foto 15: Unidades geológicas en el área. VALORACIÓN DEL ASPECTO GEOLÓGICO</i>	52
<i>Foto 16: Esquema de las vertientes fluvioerosionales</i>	62
<i>Foto 17: Panorámicas de cárcavas identificadas en el cuadrángulo de estudio</i>	64
<i>Foto 18: Mosaico de fotografías con procesos erosivos hídricos</i>	65
<i>Foto 19: Ubicación adecuada de las fotos</i>	70
<i>Foto 20: Observación de fotos</i>	71
<i>Foto 21: Interpretación de fotos</i>	71
<i>Foto 22: Foto interpretada</i>	72

<i>Foto 23: Zona de extracción de la muestra 1</i>	82
<i>Foto 24: Zona de extracción de la muestra 2</i>	83
<i>Foto 25: Zona de extracción de la muestra 3</i>	84
<i>Foto 26: Zona de extracción de la muestra 4</i>	85
<i>Foto 27: Retiro de la materia orgánica presente en el punto de extracción</i>	86
<i>Foto 28: Excavación</i>	87
<i>Foto 29: Dar forma al cubo que se va a tomar como muestra</i>	87
<i>Foto 30: Envolvimiento de la muestra en papel película</i>	88
<i>Foto 31: Parafinar totalmente la muestra</i>	88
<i>Foto 32: Depositación de la muestra en una caja</i>	89
<i>Foto 33: Esparcimiento de aserrín en las paredes de la caja</i>	89
<i>Foto 34: Marcado de la caja con el nombre del punto de extracción</i>	90
<i>Foto 35: Morfología de escarpes y laderas bastante inclinadas con procesos erosivos activos</i>	105
<i>Foto 36: Erosión laminar representada en calvas erosivas</i>	106
<i>Foto 37: Erosión en surcos</i>	106
<i>Foto 38: Erosión en cárcavas</i>	107
<i>Foto 39: Pastos</i>	108
<i>Foto 40: Bosques</i>	109
<i>Foto 41: Rastrojos</i>	109
<i>Foto 42: Cultivos de caña de azúcar</i>	110
<i>Foto 43: Muestra de suelo tomada en ladera del área</i>	111
<i>Foto 44: Casa tipo del corregimiento</i>	140
<i>Foto 45: Erosión en cárcava</i>	142
<i>Foto 46: Riesgo económico, humano y ambiental</i>	159
<i>Foto 47: Riesgo social y riesgo económico</i>	160
<i>Foto 48: Deslizamiento en San José</i>	164
<i>Foto 49: Bambú (Bambusa Guadua)</i>	165
<i>Foto 50: Gradadas y bermas</i>	165

<i>Foto 51: Barranco en Guatapurí</i>	166
<i>Foto 52: Terrazas con vegetación.....</i>	166
<i>Foto 53: Sembrado de vegetación</i>	167
<i>Foto 54: Desvió para Chemesquemena y Guatapurí.....</i>	167
<i>Foto 55: Terrazas.....</i>	168
<i>Foto 56: Deslizamiento en Chemesquemena</i>	169
<i>Foto 57: Granulometría por tamiz</i>	196
<i>Foto 58: Limite líquido.....</i>	197
<i>Foto 59: Limite líquido.....</i>	197
<i>Foto 60: Limite plástico</i>	197
<i>Foto 61: Limite de contracción</i>	197
<i>Foto 62: Barranco erosionado.....</i>	198
<i>Foto 63: Deslizamiento en la vía.....</i>	199
<i>Foto 64: Deslizamiento ya con material orgánico</i>	200
<i>Foto 65: Deslizamiento en trocha</i>	201
<i>Foto 66: Cárcava en el sector los bocones.....</i>	202
<i>Foto 67: Cambio de vegetación</i>	203
<i>Foto 68: Barranco de quebrada.....</i>	204
<i>Foto 69: Primer gavión.....</i>	205
<i>Foto 70: Segundo gavión.....</i>	207
<i>Foto 71: Tercer gavión.....</i>	208
<i>Foto 72: Cuarto gavión</i>	209
<i>Foto 73: Escarpe de deslizamiento.....</i>	211
<i>Foto 74: Escarpe de deslizamiento.....</i>	212
<i>Foto 75: Quema de vegetación.....</i>	212
<i>Foto 76: Pequeño deslizamiento.....</i>	213
<i>Foto 77: Granulita de la sierra nevada de santa marta</i>	216
<i>Foto 78: Saprolito ubicado en la "Y"</i>	219
<i>Foto 79: Precámbrico granulita de los mangos.....</i>	221

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Promedios y desviaciones estándar de los registros de precipitación media mensual multianual en el período 1999-2008 para la parte alta y media de la cuenca del río Guatapuri.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Valores medios, mínimos y máximos mensuales de Precipitación, estación Sarachui</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3: Valores medios, mínimos y máximos mensuales de Precipitación, estación Cicolac.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4: Clasificación y ponderación de Bieniawski.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5: Clasificación del macizo rocoso Lacolito de Atanquez.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 6: Clasificación del macizo rocoso Granitoides de la sierra nevada de Santa Marta.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7: Clasificación del macizo rocoso Pem Granulita de Precámbrica de los mangos</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Descripción de pendientes.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 10: Clasificación y descripción de los suelos</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 11: Propiedades geomecánicas.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 12: Asignación de vulnerabilidad por tipología de vivienda.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 13: Asignación de vulnerabilidad dependiendo de la ubicación</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 14: Categorías del mapa de vulnerabilidad.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 15: Vulnerabilidad total.....</i>	<i>156</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Unidades litológicas aflorantes en el cuadrángulo de trabajo.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 2: Histograma de % de ocupación areal por formación.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 3: Mapa de pendientes.</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 4: Mapa de Fisiografía.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 5: Histograma de representatividad de área de las unidades geomorfológicas.....</i>	<i>66</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>ANEXO 1: Laboratorios de caracterizacion de suelos</i>	<i>173</i>
<i>ANEXO 2: Informe de salida de campo</i>	<i>198</i>
<i>ANEXO 3: Encuesta socio-económica.....</i>	<i>223</i>
<i>ANEXO 4: Mapa de amenaza.....</i>	<i>224</i>
<i>ANEXO 5: Mapa de vulnerabilidad</i>	<i>225</i>
<i>ANEXO 6: Mapa de riesgo.....</i>	<i>226</i>

RESUMEN

TITULO:

ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO POR EVENTOS GEOTECNICOS EN LA PARTE MEDIA DE LA CUENCA DE LA CORRIENTE HIDROGRAFICA DEL RIO GUATAPURI*

AUTORES:

OTERO RODRIGUEZ, Orlando
VIDES DE LA HOZ, Ricardo Fabio**

PALABRAS CLAVES:

Mapa de riesgo, Cuenca, Susceptibilidad, Amenaza, Vulnerabilidad, SIG.

DESCRIPCION:

El desarrollo de una comunidad va directamente ligado a su capacidad de prevención con el fin de disminuir al máximo los procesos de reparación. Más aún cuando una comunidad asocia su desarrollo urbano a condiciones naturales que no puede manejar. Concluyendo que el verdadero logro del hombre no es cambiar su entorno sino adaptarse a éste, para mejorar sus condiciones de vida.

El riesgo está latente y no debemos esperar a que se generen los daños para intervenir frente a una situación que puede ser evitada, con la implementación de herramientas que fusionen teoría y práctica a través de la participación de profesionales de diferentes disciplinas que evalúen los posibles daños físicos, los factores sociales, económicos, organizacionales e institucionales que determinan el desarrollo de la comunidad frente a los fenómenos potencialmente peligrosos.

Basados en esto se optó por la realización de este proyecto de grado que busca a través de la Elaboración del Mapa de Riesgo por Eventos Geotécnicos en la Parte Media de la Cuenca de la Corriente Hidrográfica del Río Guatapurí dar una idea realista fundamentada en estudios técnicos y visitas de campo al área descrita de los posibles impactos teniendo en cuenta las condiciones naturales cambiantes y los permanentes procesos de transformación, haciendo énfasis siempre en la importancia social de esta Cuenca como fuente de agua de la comunidad cesarense.

Este Proyecto es un estudio de riesgo por deslizamientos en la zona que incluye los corregimientos de Chemesquemena y Guatapurí puesto que estos fenómenos pueden ser causantes de grandes pérdidas de las vidas humanas y materiales que ocasionarían serios problemas en el desarrollo de estas poblaciones. El conocimiento de estos factores son claves para desarrollar acciones integrales tendientes a la reducción de riesgos existentes y la no generación de nuevos riesgos que debe ser nuestro objetivo profesional.

* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Ms.c Hebenly Celis Leguizamo, Ing. Ms.c Francisco Javier Pérez.

ABSTRACT

TITLE:

DEVELOPMENT OF RISK MAP EVENTS BY GEOTECNIA IN PART OF THE MEDIA CURRENT HYDROGRAPHIC BASIN OF THE RIO GUATAPURI*

AUTHORS:

OTERO RODRIGUEZ, Orlando
VIDES DE LA HOZ, Ricardo Fabio**

KEYWORDS:

Risk Map, Basin, Susceptibility, Threat, Vulnerability, SIG.

DESCRIPTION:

The development of community is directly related to its ability to prevent in order to reduce the maximum repair processes. Moreover when a community urban development associated natural conditions that can not handle. Concluding that the man's real achievement is not to change their environment but adapt to it, to improve their living conditions.

The risk is latent and we should not wait for it to generate the damage to intervene before the situation can be avoided with the implementation of tools that merge theory and practice through the participation of professionals from different disciplines to assess the potential damage physical social factors, economic, organizational and institutional constraints that determine the development of the community from potentially dangerous phenomena.

Based on this it was decided to carry out this project grade to look through the Development Map for Events Geotechnical Risk in the middle of the watershed of the Current River Watershed Guatapuri give a realistic picture based on technical and field visits to the area described the potential impacts, taking into account the changing natural conditions and the continuing processes of transformation, with an emphasis on the social importance of the Basin as a source of community water Cesar.

This project is a study of landslide risk in the area that includes the villages of Guatapuri Chemesquemená and since these phenomena may cause great loss of human lives and material would cause serious problems in the development of these populations. Knowledge of these factors are key to developing comprehensive actions aimed at reducing risks and not generating new risks that must be our objective professional.

* Proyecto de Grado Modalidad: Trabajo de Investigación.

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Ms.c Hebenly Celis Leguizamo, Ing. Ms.c Francisco Javier Pérez.

INTRODUCCIÓN.

La Naturaleza presenta su fuerza de diferentes formas, obligándonos a entender que a pesar de nuestro avance técnico y científico, debemos generar esfuerzos encaminados a evitar perjuicios que pueden presentarse comúnmente en su diario transcurrir; tal es el caso de la Cuenca hidrográfica del Río Guatapurí que se ve expuesta a deslizamientos que no solo pueden llevar al deterioro de la calidad de la cuenca, sino que aun peor inciden de forma directa en el desarrollo de comunidades que dependen de esta fuente de agua como elemento básico de vida.

Por eso hace parte de nuestro deber como futuros profesionales de la Ingeniería Civil, no solo corregir los daños físicos que puedan llegar a presentarse ante estos factores potencialmente peligrosos, sino por el contrario debemos conocer estos factores y así desarrollar acciones integrales tendientes a la reducción de riesgos existentes y evitar la generación de nuevos riesgos.

Como integrantes de la sociedad en desarrollo nos hemos convertido en responsables de estas prácticas nocivas que generan avance social a altos costos naturales, así mismo los ciclos naturales pueden producir cambios inesperados por falta de conocimiento detallado de sus períodos de ocurrencia, por olvido social e histórico, o por la ausencia de conocimiento suficiente sobre sus probables impactos.

Es así como intentamos a través de este proceso de investigación en nuestro Proyecto de Grado, de una forma modesta, pero concienzuda hacer del presente documento una guía de referencia para determinar el riesgo producido por eventos geotécnicos en la parte media de la cuenca de la corriente hidrográfica del Río Guatapurí y llegar a conocer con certeza los posibles impactos.

No busca esto combatir la naturaleza, ni llegar a generar conceptos de superioridad sobre la misma, por el contrario los estudios técnicos realizados, junto a las actividades de campo nos permiten establecer posibilidades reales de la problemática, su importancia y posibles soluciones de tipo preventivo y no corrector que podrían marcar la diferencia entre la vida, la vida digna y la vida saludable de los habitantes de estos corregimientos y que nos recuerdan cual es nuestro verdadero objetivo como futuros profesionales de la UIS cuya misión debe encaminarse al servicio honesto e integral de la comunidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el riesgo producido por eventos geotécnicos en la parte media de la cuenca de la corriente hidrográfica del Rio Guatapurí.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar y analizar información primaria de la zona de estudio.
- Determinar las zonas susceptibles a eventos geotécnicos naturales en el área.
- Identificar y evaluar los parámetros que influyen para determinar la amenaza por eventos geotécnicos en las laderas de la zona.
- Establecer las diferentes zonas vulnerables a la amenaza.
- Proponer medidas correctivas y preventivas que puedan atenuar el riesgo.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Valledupar es la ciudad capital del Departamento del Cesar, situada en la margen occidental del Río Guatapurí al pie de las últimas estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a los 10°29' latitud norte y 73°15' de longitud al oeste de Greenwich, está a 169 metros sobre el nivel del mar; su temperatura media es de 28°C.

El territorio del municipio de Valledupar es regado por los ríos Cesar, Badillo, Guatapurí (con su afluente el río Donachuí), Ariguaní, Cesarito, Rio Seco, Diluvio y Mariangola.

El río Guatapurí nace en la laguna de Curiba, a 4.400 metros sobre el nivel del mar, en la Sierra Nevada de Santa Marta, noroeste de Valledupar, en su recorrido recibe las aguas de los Ríos Capitanejo, Donachui, Curiba y los Mangos.

Cabe señalar que el río Guatapurí es de gran importancia para la zona ya que abastece de agua el acueducto de Valledupar, y en su parte alta a los corregimientos de Guatapurí, Chemesquemena, Atanques; el asentamiento de Sabana de cresco y a poblaciones menores de indígenas.

En la parte media de la cuenca del río guatapurí se presentan grandes procesos erosivos y deslizamientos debido a su estructura geológica, a su relieve, y a otros factores que influyen en éstos.

Frente a esta problemática, sería conveniente realizar un estudio de riesgo por eventos geotécnicos en la zona que incluye los corregimientos de Chemesquemena y Guatapurí debido a que estos fenómenos pueden ser causantes de grandes interrupciones en el cauce del río, generando escasez de agua para el consumo de los habitantes de estas poblaciones; También pueden causar daños severos en la infraestructura de las viviendas, ocasionando así pérdidas materiales y humanas.

2 DELIMITACION DEL ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el norte del departamento del Cesar, en el municipio de Valledupar, en el sector de los corregimientos de Guatapurí y Chemesquemena ubicados a 48 kilómetros aproximadamente de la cabecera municipal. Esta zona pertenece a la parte media de la cuenca hidrográfica del Río Guatapurí, pero más específicamente el área de estudio es de aproximadamente 717 hectáreas.



Figura 1: Localización de la cuenca hidrográfica del Río Guatapurí

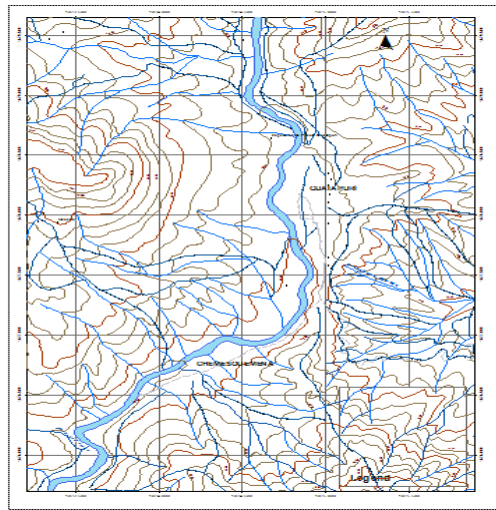


Figura 2: Cuadrángulo de trabajo seleccionado para evaluar en detalle la amenaza

3 JUSTIFICACION

El riesgo se relaciona con algo que aun no ha sucedido, se refiere a una situación potencial. “Se suele definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que pueden presentarse a raíz de ocurrir un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo”.

De manera especial, dadas las características de la topografía cesareense, representadas por dos macizos montañosos (Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía de los Motilones) de altas pendientes, y como consecuencia de la interacción de los agentes climáticos, se presentan anualmente hasta dos épocas de lluvias que generan crecientes de los ríos que nacen en las citadas cuerpos orográficos, que eventualmente resultan en desbordamientos de sus cauces en las zonas bajas (valles) y, dependiendo de las condiciones del suelo, en movimientos superficiales del suelo ocasionando con ello deslizamientos de tierra, con lo que cobra importancia la protección de las cuencas hidrográficas y la adecuada ocupación de los espacios por parte de los asentamientos poblacionales, ya sea urbanos, corregimentales o veredales..

Es importante determinar la estabilidad del área a estudiar ya que en ocasiones se han presentado deslizamientos que han derivado en avalanchas en el río Guatapurí, deteriorando notablemente la calidad de las aguas que abastecen a la población de la cabecera municipal de Valledupar que está estimada en 393.294 habitantes, de los cuales 338.761 viven en el casco urbano, el resto, unos 54.553 se reparten entre los 25 corregimientos que conforman el Municipio.

Históricamente se han presentado eventos geotécnicos en la parte media de la cuenca; por tanto la investigación propuesta busca determinar con exactitud las zonas con mayor amenaza y vulnerabilidad, para así determinar el riesgo y realizar diferentes propuestas que lo mitiguen.

4 MARCO TEORICO

4.1 TERMINOS BASICOS

Amenaza: Es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un tiempo determinado y zona específica; Esta es el resultado de la suma de la susceptibilidad con un efecto detonante que puede ser sismos, precipitación, etc.

Riesgo: Se refiere a las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que pueden presentarse a raíz de ocurrir un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo. También se puede definir como el cálculo matemático de pérdidas durante un periodo de referencia en una región dada para una amenaza particular; Riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad.

Susceptibilidad: Expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno; Al hablarse de condiciones locales del terreno se hace referencia a el relieve, características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas de éste.

Vulnerabilidad: Se expresa como el grado de pérdida de un elemento o un conjunto de elementos bajo el riesgo como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud dada y expresada en una escala de 0 a 1.

4.2 ANTECEDENTES

En el desarrollo de un plan de ordenamiento y manejo de cuencas (POMCA) es necesario elaborar mapas de riesgo por diferentes fenómenos naturales, dentro de los cuales se encuentran los eventos geotécnicos.

La ordenación y el manejo de cuencas hidrográficas en Colombia no es un concepto nuevo, ya que desde el Decreto Ley 2811 de 1974, o código de los recursos naturales renovables de Colombia, se trata el tema en la Parte XIII, Título 2, Capítulo III, lo cual fue reglamentado inicialmente mediante el Decreto 2857 de 1981, y recientemente a través del Decreto 1729 de agosto de 2002, que derogó al anterior y estableció mejores elementos de juicio para abordar el tema de la ordenación. A través de este tiempo algunas autoridades ambientales han desarrollado tímidamente algunos proyectos de ordenación de cuencas pero debido a las debilidades conceptuales y de procedimientos que presentaban las normas iniciales, estos proyectos se realizaron haciendo énfasis en los enfoques técnicos, sin permitir una verdadera participación comunitaria que indujera a la apropiación y pertenencia de dichos proyectos, por lo que la mayoría se quedaron en los anaqueles de las instituciones como meras piezas de biblioteca.

En el marco de la normatividad ambiental, la Corporación Autónoma Regional del Cesar “CORPOCESAR” ha venido realizando algunas acciones priorizadas con las comunidades enfocadas a la recuperación de las cuencas hidrográficas del Departamento, como un paso para poder avanzar en el desarrollo de proyectos de manejo integral de dichas Cuencas, buscando un desarrollo humano sostenible en éstas de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En lo relacionado a los diferentes proyectos realizados por CORPOCESAR como ente encargado del manejo y la sostenibilidad de todas las cuencas del departamento se encuentra entre otros “Diagnostico Biofísico y Socioeconómico

de la Cuenca del Rio Guatapurí Departamento del Cesar”. Este estudio fue realizado en el año 1994 por el equipo técnico y los consultores ECOFOREST LTDA, en el cual se presentaron aspectos generales de la cuenca como la hidrología, suelos, socio economía, fauna y vegetación.

4.3 GENERALIDADES

La Sierra Nevada de Santa Marta, declarada por la UNESCO como Reserva de la Biosfera, es una montaña aislada y separada de la Cordillera de los Andes por zonas llanas y semiáridas. Alcanza una altura máxima de 5.775 msnm, en una distancia de solo 42 km. Se constituye en la montaña costera más alta del mundo. Debido a su variación altitudinal y naturaleza aislada, integra un mosaico de biomas significativos a nivel global (casi todas las zonas climáticas de América Tropical). Su territorio lo integran 35 cuencas hidrográficas.

Políticamente integra territorios de los departamentos del Magdalena, La Guajira y el Cesar, en 18 municipios, además incluye tres resguardos indígenas (Arhuaco, Kogi-Malayo y Kankuamo) y dos Parques Nacionales Naturales. Actualmente es habitada por diversos grupos étnicos y culturales, cada uno de ellos con sus propios intereses y valores.

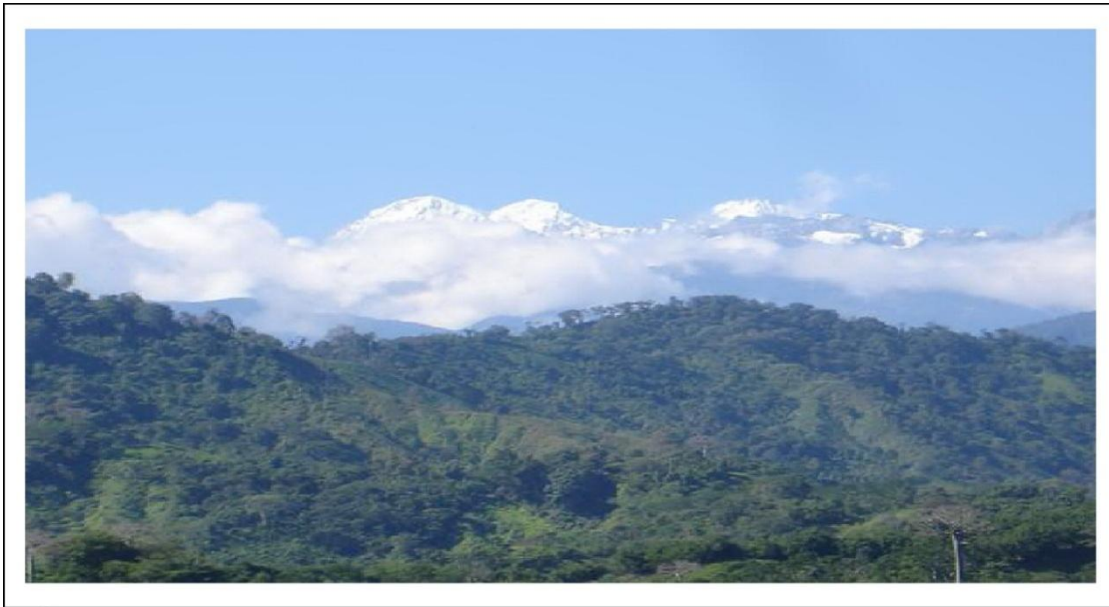


Foto 1: Sierra Nevada de Santa Marta

La cuenca del río Guatapurí se ubica sobre el flanco suroriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el Departamento del Cesar; dentro de las coordenadas extremas N: 1063359, 1692705; S: 1096048, 1644520; E: 1096680, 1646566; W: 1045972, 1686113; posee un área aproximada de 866 km², limita al norte con las cuencas de los ríos Ancho (Guajira) y Palomino (Magdalena); al oriente con las sub-cuencas de los ríos Seco y Badillo, al sur con la sub-cuenca del río Cesarito y al occidente con las cuencas de los ríos Fundación y Aracata (Magdalena); en ella tienen jurisdicción los municipios de Valledupar con 7489367 hectáreas y Pueblo Bello con 1180033 hectáreas, y dentro de esta, se encuentra parte de los resguardos indígenas Arhuaco; Kogi-Malayo-Arhuaco, y Kankuamo.

Sin embargo, esa actitud no sería definitiva. Del 16 al 20 de septiembre de 1993 se celebró el *I Congreso del Pueblo Indígena Kankuamo* que ratificó en forma colectiva la decisión de reasumir la identidad indígena que había sido negada.

Las poblaciones ubicadas en este sector de la cuenca son Guatapuri y Chemesquemena.

Guatapuri tiene un área de 25.69 hectáreas, está a 1200 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio es de 22 grados. Fue creado como corregimiento el 11 de Agosto de 1980 según, Acuerdo Municipal 004.

Hoy Guatapurí hace parte del Resguardo Kankuamo, constituido según resolución 012 de Abril 10 del 2003 del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA).

La población de este corregimiento está estimada en 540 habitantes, siendo el 51% población masculina y el 36% población juvenil. Esta localidad tiene 134 viviendas aproximadamente donde habitan un promedio de una familia y 5 personas por vivienda.

La actividad económica más significativa es la agricultura, donde sus principales productos son; caña, café, aguacate y naranja. La ganadería se da en pequeña escala. La actividad comercial está compuesta por: 4 tiendas, 1 SAI y 2 billares.

En cuanto a la educación, cuenta con un colegio llamado “Instituto de Promoción Social y Escuelas Anexas de Guatapurí y Chemesquemena”. Cubre los niveles de preescolar, básica primaria y básica secundaria, con una población estudiantil compuesta por 159 alumnos, de los cuales el 8% corresponde al preescolar, el 37% a básica primaria y el 55% a básica secundaria.

La población cuenta con servicios de acueducto (no cumple con el 100% de los parámetros de potabilidad establecidos), con una cobertura del 100%. Energía eléctrica con una cobertura del servicio del 97%; la postería y el cableado que conducen la energía se encuentran en mal estado. Carece de alcantarillado (el

97% de las casas cuentan con poza séptica), aseo (las basuras son recogidas por la misma comunidad, son clasificadas casi en su totalidad y utilizadas para elaborar abono orgánico). No existe gas domiciliario. Las viviendas carecen de servicio telefónico, solo cuenta con el servicio que presta la empresa Compartel (solo llamadas). La vía de acceso al corregimiento se encuentra en mal estado. Las calles se encuentran sin pavimento.

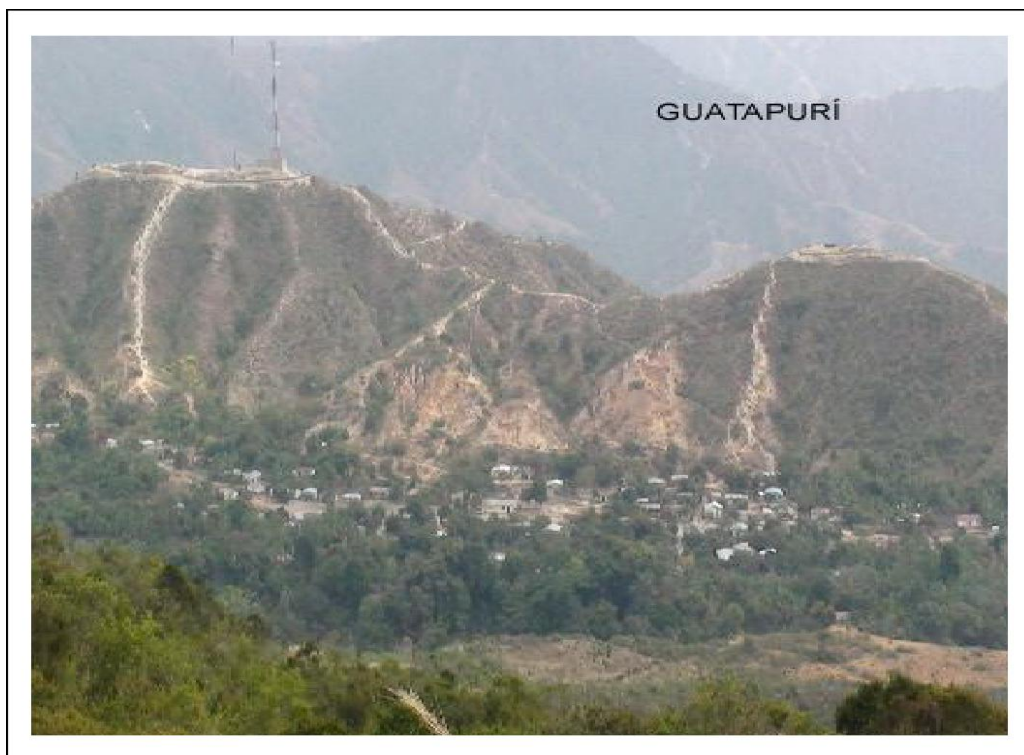


Foto 2: Corregimiento Guatapuri

Chemesquemena por su parte tiene un área de 6.6 hectáreas, está a 1100 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio es de 19 grados. Fue creado como corregimiento el 18 de agosto de 1980, según Acuerdo Municipal 006.

Hoy Chemesquemena hace parte del recién creado Resguardo Kankuamo, constituido según resolución No. 012 de Abril 10 del 2003 del Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA).

La población de este corregimiento está estimada en 520 habitantes, siendo el 51% población masculina y el 30% población juvenil. Esta localidad tiene 110 viviendas aproximadamente donde habitan un promedio de una familia y 5 personas por vivienda.

La actividad económica más significativa es la agricultura, el producto principal es la caña de azúcar (de la cual se produce la panela, producto que ocupa un lugar significativo en la economía), le siguen en su orden: café, aguacate, cacao y productos de pan coger. La actividad comercial está compuesta por: 4 tiendas, 1 fuente de soda, 1 remontadora y 1 billar.

En lo que se refiere a la educación, cuenta con un colegio llamado “Instituto de Promoción Social y Escuelas Anexas de Guatapurí y Chemesquemena”, la cual cubre los niveles de preescolar, básica primaria y básica secundaria, con una población 95 estudiantes, de los cuales, 12 corresponden al preescolar, 33 a la básica primaria y 50 a la básica secundaria.

La población cuenta con servicios de acueducto (Acueducto Regional Chemesquemena - Guatapurí), con una cobertura del 95.5%. Energía eléctrica el 97.27% de las viviendas cuenta con este servicio, las instalaciones y la postería se encuentran en mal estado. Carece de alcantarillado (el 76% de las viviendas cuentan con poza séptica), aseo (las basuras son recicladas por la comunidad, de las cuales una parte es utilizada para la elaboración de abono orgánico y la otra parte es enterrada) y gas natural domiciliario. La vía de acceso al corregimiento se encuentra en mal estado. Las calles se encuentran sin pavimento.



Foto 3: Corregimiento Chemesquemena

5 METODOLOGÍA

5.1 IDENTIFICACION

En la parte media de la cuenca de la corriente hidrográfica del Río Guatapurí se han presentado una serie de deslizamientos y procesos erosivos que han deteriorado el terreno, convirtiéndolo así en una zona vulnerable. En este territorio es común ver la evolución total de los procesos de erosión; Primero se da una erosión laminar representada por calvas erosivas, después se ven surcos que luego se transforman en franjas más profundas llamadas cárcavas; Con el paso del tiempo estas cárcavas vuelven más inestables los taludes ocasionando deslizamientos y flujos grandes de tierra.

Existen diferentes factores que producen estos fenómenos de remoción en masa como lo son: la geología, la hidrología, los efectos antrópicos es decir la acción del hombre, el uso de la tierra, la cobertura vegetal, la topografía del terreno, entre otros. Cabe destacar que dependiendo de la zona, ciertos factores toman más importancia que otros haciendo de este estudio una labor de mucha cautela y precisión.

Teniendo en cuenta lo anterior, lo que se quiere es obtener toda la información primaria y secundaria de la parte media de la cuenca para así establecer con exactitud los diferentes parámetros que influyen en los procesos erosivos y por medio de métodos heurísticos darles el respectivo porcentaje de importancia para finalmente elaborar los mapas de amenaza y riesgo en la zona.

5.2 FUENTES DE INFORMACION

Debido a que el desarrollo del proyecto abarca la realización de muchos estudios, es de gran utilidad como fuentes de información las diferentes entidades estatales como lo son CORPOCESAR, INGEOMINAS, IGAC, entre otros.

La información está basada en fotografías aéreas pertenecientes al IGAC, recopilación de datos generales de las poblaciones que habitan la zona tomados por inspectores rurales que trabajan con la secretaria de planeación del municipio de Valledupar, Planes de ordenamiento y manejo de la cuenca de la corriente hidrográfica del Rio Guatapuri realizados por CORPOCESAR, planos geológicos y topográficos de INGEOMINAS, realización de salidas de campo que generan la información primaria de mucha importancia para verificar y constatar la información secundaria.

El método consiste en tener como apoyo el material bibliográfico recolectado en cuanto a geología, geomorfología, topografía, vegetación etc.; y complementar con la información primaria generada por medio de las visitas de campo, para así tener certeza total de la realidad y obtener finalmente un buen producto.

5.3 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

La precisión y la objetividad del cálculo de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la zona a analizar, depende en gran parte, del método empleado para su evaluación y zonificación en una cartografía adecuada.

En pro de la realización de un buen trabajo, se deben analizar diferentes parámetros para la elaboración del mapa de amenaza. Entre estos factores se destacan la hidrología, el uso de la tierra y vegetación, topografía, entre otros.

El método heurístico se basa en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de los deslizamientos y requiere del análisis por parte de profesionales con conocimientos y experiencia en los fenómenos. Esta metodología analiza los parámetros detonantes que intervienen en estos procesos y los combina mediante el uso de puntajes ponderados dados por la asignación de valores a los componentes de cada factor para indicar el grado de contribución a la inestabilidad del terreno.

La suma de los puntajes da como resultado un mapa de valores numéricos, el cual se divide en rangos para definir zonas con distintos niveles de amenaza y vulnerabilidad relativa, que permitan en conjunto, identificar el nivel de riesgo para la zona de estudio.

Para llegar a esta meta, se debe tener un cronograma de actividades, de tal forma que al ir desarrollándose éstas, el estudio se vuelva coherente y bien fundamentado. Entre estas actividades se incluyen recorridos a la zona, fotointerpretación de fotografías aéreas para determinar procesos erosivos y cobertura vegetal, elección y toma de muestras de suelos, descripción y clasificación de macizos rocosos, caracterización de las estructuras locales por medio de encuestas, diseño de una base de datos para el manejo y el análisis de la información recopilada, entre otras.

5.4 ESQUEMA METODOLOGICO

El esquema a desarrollar comprende las fases de trabajo definidas desde su inicio entre las que se incluyen la documentación preliminar, visitas de campo, recolección de información, procesamiento de información en oficina, procesos y mapas con los cuales se accede a la zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

El estudio comienza documentándose sobre la zona a analizar, en este caso la parte media de la cuenca del Rio Guatapuri. Dentro de esta documentación se incluye la adquisición del conocimiento de la posición geográfica de la zona, las poblaciones que habitan en esta región, las actividades socio- económicas que predominan, los estudios realizados con anterioridad acerca la amenaza por eventos geotécnicos, etc.

Luego, con las fotografías aéreas de la zona de estudio, se hace la fotointerpretación con estereoscopio en donde se determinan los procesos

erosivos que incluyen calvas erosivas, surcos, cárcavas, deslizamientos, flujos grandes de tierra y también se identifican los diferentes tipos de vegetación o cobertura vegetal como los bosques, rastrojos, cultivos y pastos.

Teniendo los fenómenos localizados se procede a realizar la salida de campo. Lo que se pretende con ésta es verificar y constatar la información. Es importante este paso para la consecución de un buen producto, ya que también en esta fase se analiza la morfometría, la geología estructural, la estratigrafía, los procesos erosivos presentes, se describen y clasifican macizos rocosos, se toman mediciones de temperaturas en los lugares de estudio, se realiza la topografía del terreno, etc.

En lo que se refiere al análisis de vulnerabilidad también es de vital importancia las salidas de campo, debido a que se realizan encuestas en los predios propensos a ser afectados por eventos geotécnicos. En estas encuestas se pregunta el tipo de vivienda, tipo de piso, tipo de techo, tipo de pared, actividad a la que se dedican las personas que habitan la vivienda, grado de escolaridad del jefe de hogar, y todo tipo de incógnitas cuyas respuestas muestren en qué grado se perjudicaría un predio y las personas que lo habitan ante la existencia de un deslizamiento y como actuarían éstos para resarcirse de este fenómeno.

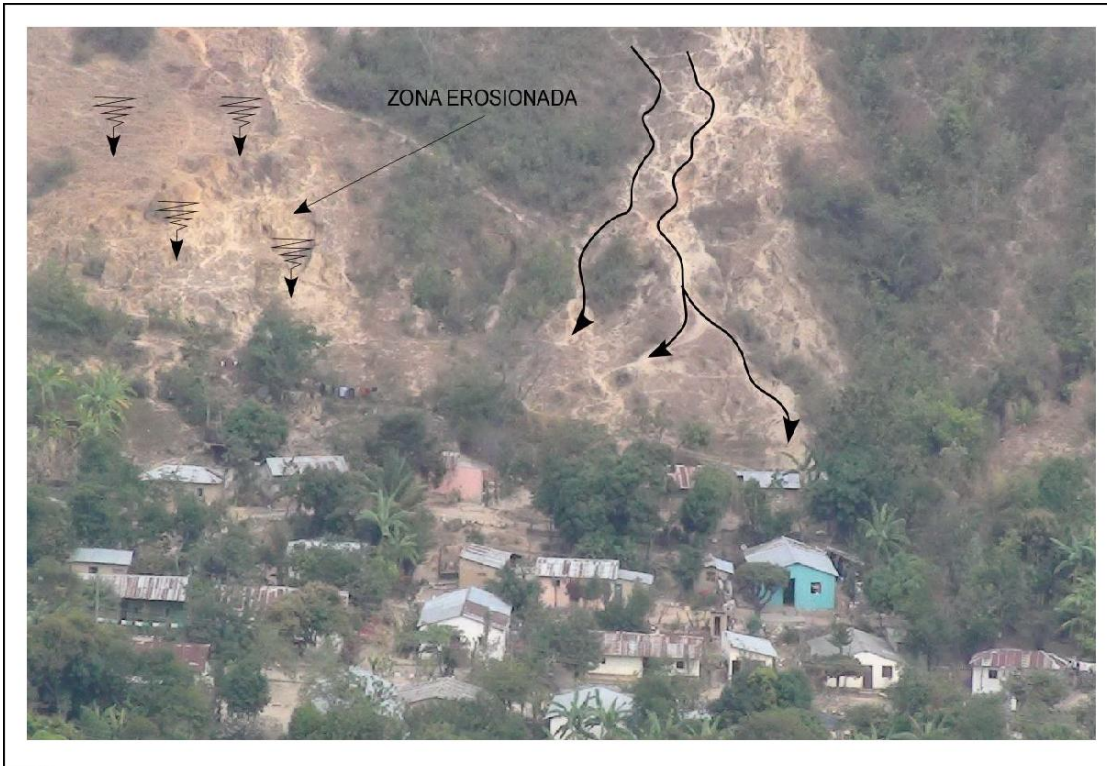


Foto 4: Viviendas vulnerables a deslizamientos

Con la salida de campo se obtiene la información total de la geología, la geomorfología, la hidrología, el uso de la tierra, la topografía; Con esto se genera un plano para cada parámetro y por medio de métodos heurísticos se le asigna un porcentaje a cada mapa tomando como criterios los métodos estadísticos, el conocimiento profesional y la opinión de expertos. Se procede a utilizar las herramientas de SIG para cruzar los planos y así obtener diferentes zonas cada una con su respectivo nivel de amenaza a eventos geotécnicos.

Determinada el nivel de amenaza para las distintas zonas de la región y calculada la vulnerabilidad, sabiendo que el riesgo es el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, se obtiene el riesgo para cada zona y se genera un mapa en el software como producto final.

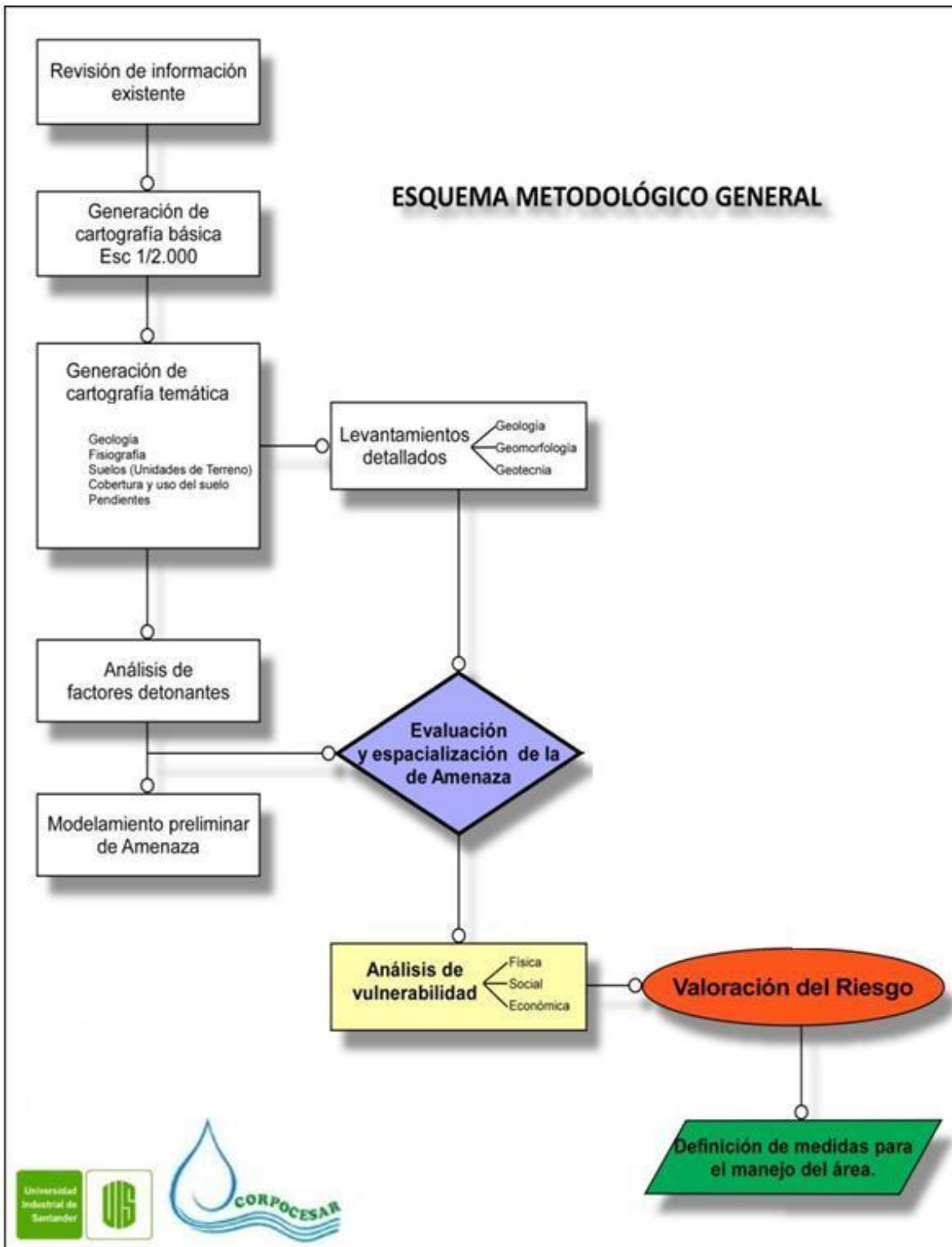


Figura 4: Esquema metodológico

6 HIDROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

El agua es el factor que más comúnmente es asociada con las fallas de los taludes, debido a que la mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante períodos lluviosos; de igual forma el control del agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para la estabilización de los deslizamientos.

La interpretación más frecuente del efecto del agua es que las lluvias por infiltración, saturan el talud y la presión de poros, induce a una disminución de la resistencia al cortante, la cual a su vez, puede activar un deslizamiento.

El análisis hidrológico es uno de los trabajos previos más importantes en el análisis de estabilidad de taludes. La hidrología no es una ciencia exacta y es posible que se obtengan resultados muy diferentes de acuerdo con el método que se utilice para el cálculo y la metodología de manejo de la información; por lo tanto, se debe tener un criterio muy claro de los fenómenos para interpretar la información hidrológica.

El agua se encuentra en la naturaleza de diferentes formas, generalmente en continuo movimiento, de acuerdo con un ciclo que incluye las nubes o vapor de agua, la precipitación en forma de lluvia granizo o nieve, la infiltración, la evapotranspiración, la escorrentía, las corrientes subterráneas, los acuíferos, los ríos y quebradas, los mares y los lagos. El agua continuamente está cambiando de forma de acuerdo con un ciclo natural denominado ciclo hidrológico

Parte de la lluvia se filtra y parcialmente corre por la superficie como escorrentía.
$$\text{Precipitación} = \text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía} + \text{Flujo subterráneo} + \text{cambio de humedad en el suelo} + \text{Acumulación de agua subterránea en los acuíferos.}$$

La precipitación es el volumen o altura de agua lluvia que cae sobre un área en un período de tiempo, la cual tiene una influencia directa en la infiltración y en el

régimen del agua subterránea, y a su vez afecta la estabilidad de taludes o laderas.

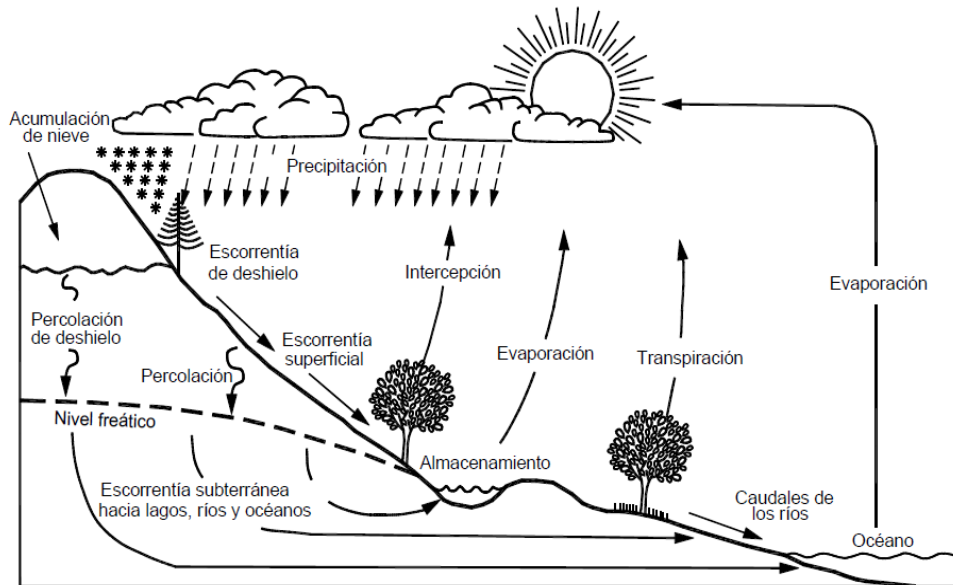


Figura 5: Ciclo hidrológico del agua

El agua lluvia al caer sobre el suelo, trata de infiltrarse, desplazando el agua existente hacia abajo por los macro poros y formando una especie de onda de presión de agua dentro del suelo, la cual produce un frente húmedo de infiltración.

El porcentaje de infiltración corresponde a la proporción de lluvia que se infiltra. La infiltración a su vez, puede dividirse entre aquella parte que contribuye a aumentar el contenido de agua de la zona no saturada y aquella que recarga el sistema saturado de agua subterránea.

Al inicio de la lluvia la totalidad de la precipitación se infiltra humedeciendo el suelo. La humedad en el suelo, antes de la lluvia, es determinante en la cantidad de infiltración porque al llover, el agua trata de penetrar al suelo humedeciéndolo y creando una capa delgada de saturación; y hasta que ésta capa no haya llegado a un punto de equilibrio, no se forman una escorrentía y una corriente de infiltración.

El agua en exceso que no puede infiltrarse, se queda en la superficie. De acuerdo con la intensidad de la lluvia, la infiltración y las características físicas del terreno, se produce una corriente superficial (escorrentía), una serie de corrientes subterráneas semiparalelas a la pendiente del terreno y una corriente semivertical de infiltración, hacia el nivel freático.

Las capacidades de infiltración varían desde dos milímetros por hora, en suelos muy impermeables a dos mil quinientos milímetros por hora, en suelos muy permeables dependiendo de la cobertura vegetal, pendiente, textura del suelo, humedad natural y práctica de agricultura. Los suelos más permeables como las gravas y arenas, poseen una capacidad mayor de infiltración. Las gravas y arenas son mucho más permeables que las arcillas.

La infiltración también está influenciada por la pendiente del terreno y por la textura del suelo; sin embargo, hay otros factores que determinan la infiltración como son: las prácticas agrícolas que crean zonas de acumulación de agua y aumentan la porosidad del suelo subsuperficial.

Por otro lado, la localización del nivel freático corresponde a la línea de presión de poros igual a cero, lo cual equivale a que la presión neta en el sitio, es igual a la presión atmosférica. El nivel de agua determina los niveles de presiones hidrostáticas sobre una superficie localizada por debajo de ese nivel o los valores de presión negativa o de succión para el suelo por encima. En los taludes naturales de laderas, la línea de nivel freático general sigue una línea aproximadamente paralela a la superficie del terreno y ésta sube por el recargue debido a la infiltración. El agua subsuperficial puede dividirse entre zonas de presión de poros positiva y negativa.

Las presiones de poros positivas son superiores y las negativas son inferiores, a la presión atmosférica. La línea divisoria es el nivel freático donde la presión es igual a la presión atmosférica, lo cual se designa como presión cero.

Por debajo del nivel freático, el suelo se encuentra saturado, lo cual equivale a que el agua llena todos los poros de los suelos y todas las cavidades de los materiales infrayacentes. El agua existente en la zona de saturación se designa, por lo general, como agua freática y su superficie superior es el nivel freático. Cuando las circunstancias geológicas y topográficas son más complejas, podrá haber más de una zona de saturación y por consiguiente, más de un nivel freático en una localidad determinada.

La configuración del nivel freático depende de la forma del relieve superficial, el cual se reproduce generalmente, con contornos menos abruptos y también depende de la permeabilidad del terreno y del abastecimiento de agua. Comúnmente, se aleja de la superficie del terreno bajo colinas y elevaciones y se acerca a ésta en los valles, muy especialmente en los ríos y en los lagos.

La elevación del nivel freático de una localidad determinada depende de varios factores, tales como las fluctuaciones de las precipitaciones, caudales y fugas de los cuerpos de agua. El nivel de agua puede tener como base el pie del talud o puede estar suspendido por un manto impermeable dentro del talud. En el primer caso, las fallas a producirse serán preferentemente de pie, mientras en el segundo caso, fallas tienden a ser a mitad del talud.

Es usual que los períodos de sequía traigan abatimiento significativo del nivel freático, en tanto que se eleva, tras períodos de fuertes lluvias. Estas fluctuaciones suelen ser muy marcadas en los terrenos granulares permeables. El nivel de agua cambia con las lluvias y períodos secos, de forma muy marcada en las formaciones permeables y un poco menos fuerte, en las impermeables y se tiene un máximo y un mínimo cuya diferencia en algunos casos, puede ser hasta de más de un metro.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y ahora refiriéndose a la zona de estudio como tal, hay que decir que la cuenca del Río Guatapurí, por su localización cercana a la línea del ecuador aproximadamente a los 10 °C latitud Norte, está

condicionada por la posición de la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT, caracterizado por un cinturón semi continuo de bajas presiones que rodea al planeta cerca del Ecuador influenciando la climatología regional y local. Así mismo, por su ubicación al extremo sur – occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta y condiciones de relieve, se evidencia una diversidad ecológica expresada en las diferentes de zonas de vida en el área de la cuenca (Hernández Camacho & Sánchez, 1992).

La posición de la ZCIT depende de las estaciones, correspondiendo su ubicación más al sur los meses de diciembre a abril (estación de invierno en el hemisferio norte) propiciando la época seca y de vientos más fuertes. En los meses de agosto a octubre propicia la época de lluvia y vientos calmos. El resto de los meses se consideran como de transición entre estas dos condiciones. Cuando la ZCIT está al sur (época seca de lluvias para esta zona del país) predominan los Vientos Alisios del norte con un promedio diario sobre el mar entre los 8 y 15 metros por segundo provenientes del este. A partir de abril hasta junio se presenta la época de transición con vientos menos fuertes, sin embargo es común un incremento temporal de los vientos del este generando el fenómeno conocido como “Veranillo de San Juan”.

De agosto a octubre (época de lluvia) el desplazamiento al norte de la ZCIT permite que Vientos Alisios del sur que cruzan el Ecuador lleguen hasta el Caribe colombiano. En esta época de lluvia ocurren regímenes diferentes a cada uno de los lados de la latitud 10° norte. Al sur se presentan vientos débiles en tanto que al norte de la latitud indicada, los Vientos Alisios del norte aun son fuertes evitando la precipitación en esta zona (Andrade, 2000).

La región del César se ve afectada por los fenómenos de “La Niña” y “El Niño”, los cuales suelen traer consigo impactos negativos y positivos.

El Fenómeno de El Niño, es una de las fases extremas dentro del ciclo conocido como El Niño, La Niña - Oscilación del Sur, que es la causa de la mayor señal de

la variabilidad climática interanual, en la zona tropical. Este fenómeno sucede cuando los vientos alisios se debilitan y en consecuencia pierden fuerza de arrastre que la atmósfera impone al océano sobre su capa superficial, iniciándose el desplazamiento de las aguas cálidas desde el Oeste hacia el Este en forma de una onda, que cruza el Pacífico tropical, en un lapso de 50 a 60 días, hasta llegar a la costa de Suramérica, siendo su presencia anormal en el sector central y oriental del Océano Pacífico tropical.

El fenómeno El Niño afecta, entre otras variables, la temperatura del aire, la cantidad de radiación solar incidente, precipitación y lógicamente los caudales. Se han hecho evidentes ligeros incrementos en la temperatura del aire (entre 0.2 y 0.5 °C) en la mayor parte del país. Estas anomalías superan el medio grado Celsius en la región Pacífica, el nororiente de la región Caribe y buena parte de la región Andina, particularmente en los valles interandinos y en los Santanderes. También se ha podido determinar que durante su ocurrencia se presenta una tendencia significativa a la disminución de la temperatura del aire en horas de la madrugada, con lo cual se propicia el desarrollo del fenómeno de heladas en los altiplanos. Cuando se presenta el fenómeno hay déficit moderado de precipitación (entre el 20 y el 40% en los volúmenes mensuales - IDEAM) de la región Caribe y la mayor parte de la región Andina, particularmente en Nariño, Valle, norte de Huila, occidente de Antioquia, Tolima, Cundinamarca, Boyacá, Santander y la región del Catatumbo. Estas deficiencias son de carácter severo (superiores al 40% - IDEAM) en la Guajira, la parte media del litoral Caribe, el norte de Córdoba, el sector central de Sucre, el altiplano Cundiboyacense y el área limítrofe entre los Santanderes.

El fenómeno El Niño es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta entre cada dos y siete años. Algunos estudios indican que la frecuencia del fenómeno El Niño no ha tenido mayores cambios por lo menos en los últimos 400 años. Sin embargo, otros análisis desarrollados recientemente

muestran que la frecuencia de los fenómenos ha variado en diferentes épocas, siendo un poco más frecuentes en las últimas décadas, de 2 a 5 años.

El Fenómeno de La Niña, se le denomina así a eventos relativamente opuestos o inversos al fenómeno del Niño (se profundizaron las investigaciones acerca de este fenómeno a partir de 1988 por los estragos ocurridos en el planeta). Sucede cuando los vientos alisios del Este se fortalecen y una intensificación de la surgencia en el sector oriental del océano, frente a las costas de Ecuador y Perú, lo cual se genera una fuente de agua fría en la superficie que posteriormente se propaga hacia el occidente y cubren el Pacífico tropical oriental y central, se alcanzan las menores profundidades de la termoclina y el nivel medio del mar presenta sus valores más bajos de temperatura (máximas anomalías de la temperatura en la superficie del mar).

Asociado al descenso de la temperatura, se presenta alteraciones en el patrón pluviométrico del país, reflejados en los excedentes de precipitación (entre 20 y 40% de los valores normales - IDEAM) que se registran en forma muy localizada en áreas del nororiente, centro y sur de la región Andina y el nororiente de la región Caribe Núcleos muy puntuales de excedentes severos (mayores del 40%) se registran en la Guajira, norte de Magdalena, los Santanderes, Cundinamarca y un sector fronterizo entre Tolima y Valle; y como consecuencia el aumento de las alertas por inundaciones.

El fenómeno La Niña es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta una o dos veces por década. Desde finales de la década de los 70's hay una menor frecuencia de condiciones frías en el Pacífico tropical y una mayor tendencia a la ocurrencia de fenómenos cálidos (El Niño).

6.1 PRECIPITACION

La precipitación un elemento fundamental del ciclo hidrológico y la principal entrada del agua al sistema natural de la cuenca, constituye un aspecto de trascendencia para la actividad biológica y socioeconómica, su caracterización y estudio son fundamentales para el conocimiento del clima del área y planificación estratégica para el uso y control del recurso hídrico.

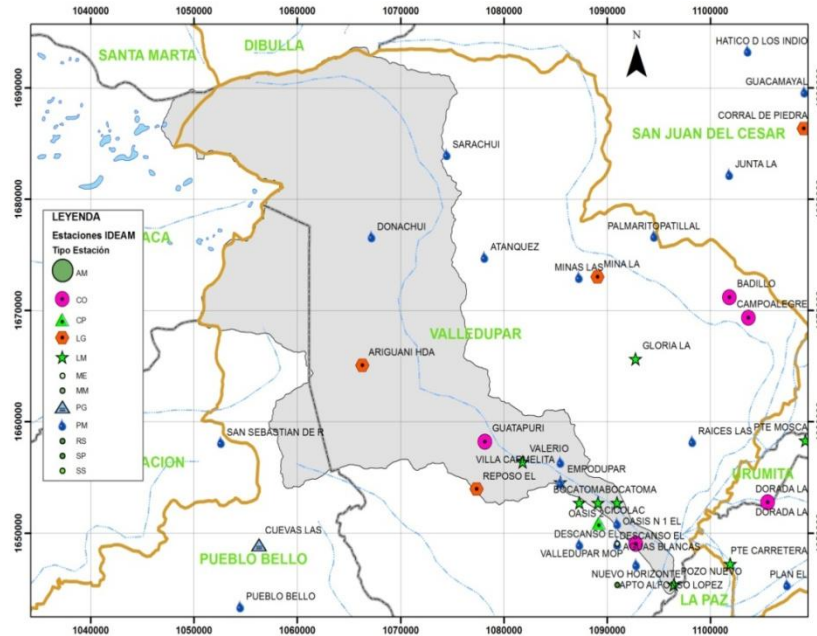


Figura 6: Mapa de la cuenca del Río Guatapuri, estaciones meteorológicas

6.1.1 Distribución espacial de la lluvia

Como en todos los sitios no cae la misma cantidad de precipitación, se requiere conocer la distribución de la lluvia en un área determinada o cuenca. La medición de la lluvia en unos pocos puntos, no necesariamente registra la lluvia real en el área de una cuenca; entonces, se requiere de una gran cantidad de información para tener la certeza de la forma como se distribuye la precipitación.

En las cuencas o áreas muy pequeñas, como en este caso, se puede asumir que la lluvia, en la tormenta de diseño, es uniforme sobre toda el área de la cuenca.

6.1.2 Distribución temporal de la lluvia

Basado en los mapas de registros históricos de disponibilidad hídrica del IDEAM (www.ideam.gov.co) durante el período comprendido entre enero de 1999 y agosto de 2008 relativos al comportamiento mensual para las zonas altas y medias de la cuenca del río Guatapurí, el régimen pluviométrico es de tipo bimodal con la ocurrencia de dos periodos de lluvias mayores, intercalados con dos menores; Generalmente las mayores precipitaciones se presentan en los meses de marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre ; siendo los meses más lluviosos Octubre y noviembre con registros que oscilan desde 200 hasta 400 mm/mes en tanto que las épocas de menores lluvias ocurren en los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre.

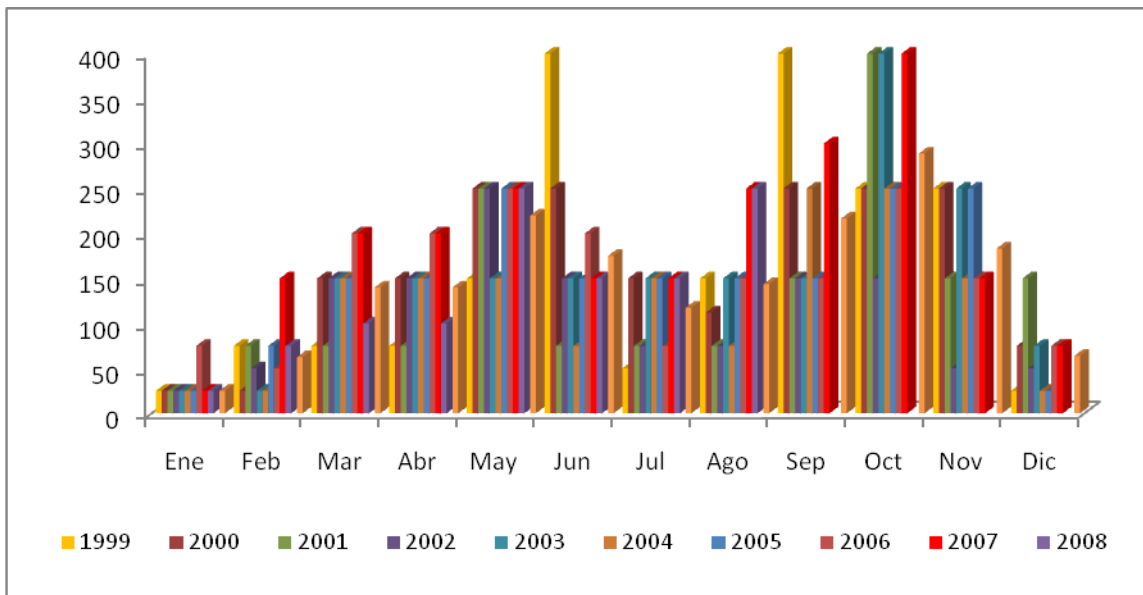


Figura 7: Parte media (precipitación media mensual década 1999-2008 que muestra los picos de exceso y déficit hídrico asociados a fase neutral y fase Niño- Oscilación Sur-ENSO)

MESES												
CUENCA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
PARTE MEDIA	25±0	62,5±38	140±44	140±44	220±48	175±94	117±42	144±65	217±90	289±89	183±71	64±40

Tabla 1: Promedios y desviaciones estándar de los registros de precipitación media mensual multianual en el período 1999-2008 para la parte alta y media de la cuenca del río Guatapuri.

También se obtuvieron datos de precipitación de las estaciones de Sarachui y Cicolac, En las figuras siguientes, se muestran los diagramas de distribución temporal mensual de la precipitación registrados en las estaciones Sarachui y Cicolac, con períodos de datos consecutivos de 18 y 16 años. Se evidencia la amplitud de los valores de precipitación registrados, siendo los valores más elevados en la parte alta – media (Estación Sarachui), pues su ubicación geográfica más elevada sobre a la Sierra Nevada de Santa Marta, que actúa como una barrera montañosa y se deposita la humedad arrastrada por los vientos y por efectos de las condiciones atmosféricas.

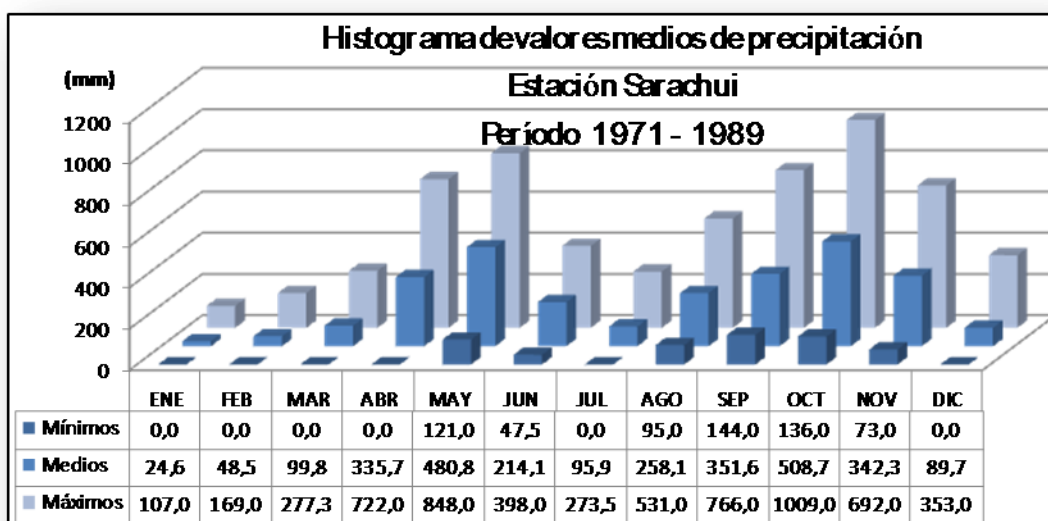


Tabla 2: Valores medios, mínimos y máximos mensuales de Precipitación, estación Sarachui

La distribución de la precipitación de acuerdo a los registros de la estación Sarachui, al igual que los obtenidos en el IDEAM durante el periodo entre 1999 y 2008, tiene un comportamiento bimodal, con dos períodos de lluvias, el primero en los meses de abril, - junio; y un segundo período más intenso en agosto-noviembre, la diferencia radica en que las lluvias anteriormente eran más fuertes y con valores máximos más altos que los más recientes. En el mes de Octubre de la estación de Sarachui se registran valores medios de 508 mm, con un valor máximo de 1009 mm, en Mayo el valor medio es de 480,8 mm y máximo de 848 mm. Se presentan dos períodos de estiaje, durante los meses de diciembre a, - marzo, los valores de precipitación alcanza a ser cero (0,0 mm), siendo enero el más crítico con un valor medio de 24,6 mm; en julio se disminuyen los valores de precipitación, en un lapso muy corto.

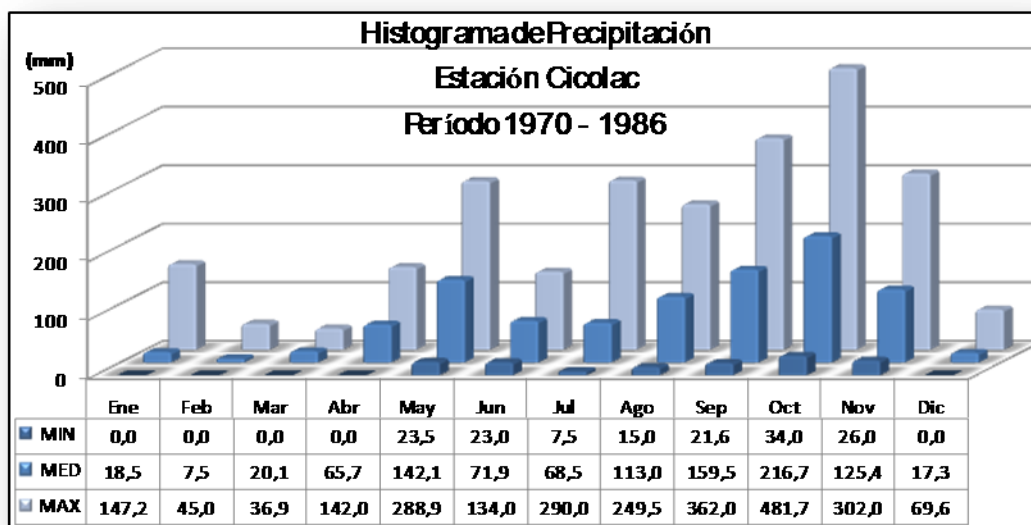


Tabla 3: Valores medios, mínimos y máximos mensuales de Precipitación, estación Cicolac

La distribución de la precipitación mensual de los valores registrados en la estación Cicolac, localizada en la parte baja, presenta un comportamiento bimodal, donde se presentan dos períodos de lluvias y dos de estiaje, al igual que en la estación Sarachui; sin embargo los valores más altos registrados en el mes de

Octubre con 216 mm (medio) y 481 mm (máximo), presentan una diferencia notable con la estación Sarachui en el mismo mes, 508 mm (medio) y 1009 mm (máximo). El período más crítico de bajas precipitaciones en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, especialmente en febrero con valor medio mensual 7,5 mm, máximo 45 mm, y mínimo 0 mm.

En la figura siguiente, es notable identificar que los años con mayor intensidad pluviométrica fueron 1979, 1981, 1987 y 1988, donde la precipitación media anual en la estación Sarachui está por encima de los 3561 mm/año, así mismo años como 1973 y 1975 son años con valores por encima de la precipitación media. De acuerdo a la permanencia de la precipitación a nivel mensual, pueden ser relacionadas directamente con la probabilidad de ocurrencia de catástrofes naturales como inundaciones y deslizamientos, pues períodos de continuas y máximas lluvias generalmente tienden a afectar a las comunidades y las actividades socioeconómicas.

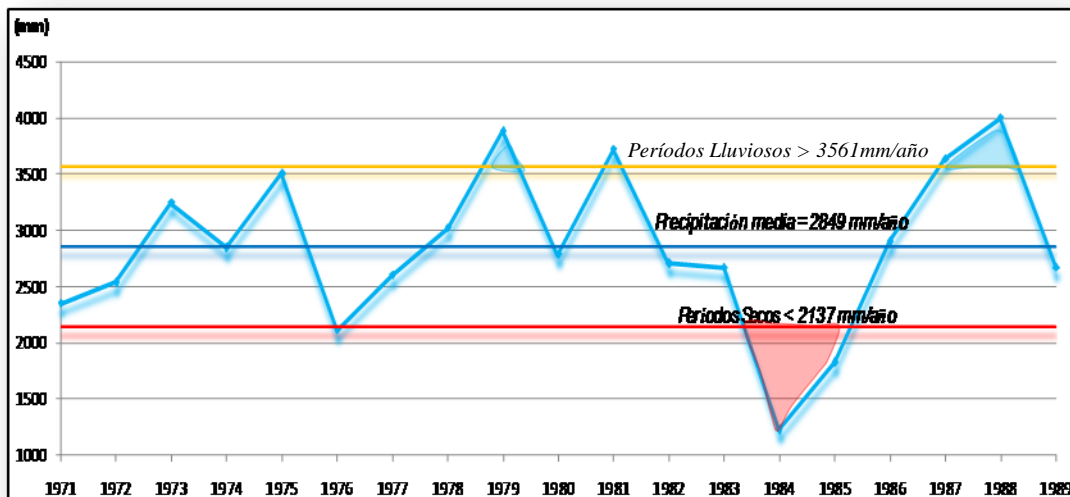


Figura 8: Distribución cronológica de la precipitación media anual, estación Sarachui

En la figura a continuación, se muestra la precipitación anual en el período 1970 a 1986 registrados en la estación Cicolac, en la cual se identifican algunos años con

riqueza pluviométrica como 1970, 1974 y 1975, y algunos años presentan una precipitación mayor una la precipitación media multianual por encima de los 974 mm/año, como 1973, 1976, 1977 – 1979 y 1983.

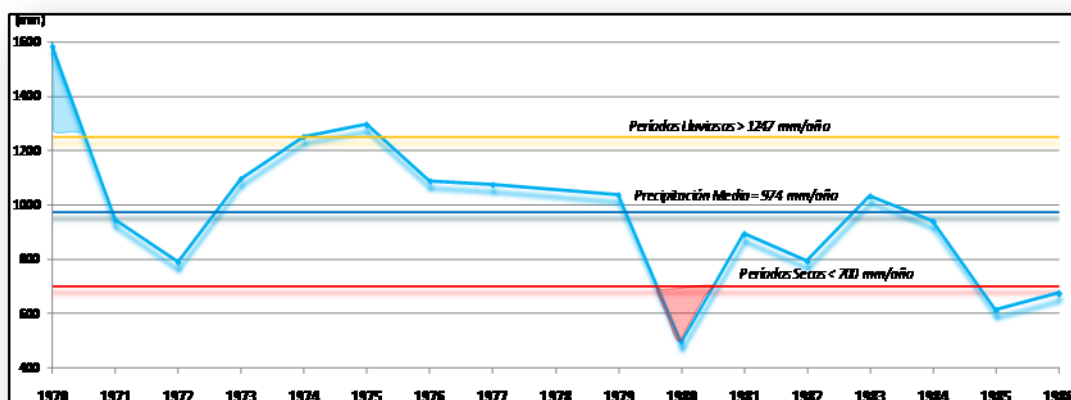


Figura 9: Distribución cronológica de la precipitación media anual, estación Cicolac

6.2 CLIMA

La ubicación de la cuenca del río Guatapurí en el extremo sur-oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, diferencias altitudinales y la influencia de los vientos alisios del nordeste, establece una diversidad ecológica que se expresa en el rango amplio de zonas de vida en un espacio relativamente pequeño (Hernández Camacho & Sánchez, 1992). En este caso, la distribución de la precipitación pluvial es un factor determinante en la variación climática en las diferentes zonas que integran el territorio de la cuenca.

Estudios de (CORPOCESAR, 1995), (IGAC, 2002) y (IDEAM, 2008), determinan la variación del patrón altitudinal del territorio, en el cual se presentan las siguientes variaciones climatológicas:

Temperaturas medias establecidas así: para la zona baja de (119-500 m.s.n.m), la temperatura registra valores promedio mensuales de 28 ° C, con máximos de 38 ° C y mínimos de 22°C, el brillo solar asciende hasta 2670 horas/ al año y la humedad relativa es de 68%.

La zona de estudio es la parte media de la cuenca, que se encuentra por encima de los 500 m.s.n.m y hasta los 1200 m.s.n.m, la temperatura promedio oscila alrededor de 27°C con máximos de 37°C y mínimo de 21°C, el brillo solar alcanza 2500 horas al año y la humedad relativa es del 68%. De 1200-1800 m.s.n.m la temperatura promedio mensual es de 20.5°C, con máximos de 25°C y mínimos de 16°C, el brillo solar no supera 1800 horas anuales y la humedad relativa es de alrededor del 70%.

En el cinturón orográfico situado entre los 1800 a 3000 m.s.n.m, la temperatura desciende a promedios mensuales de 12°C, con máximos de 17.5°C y mínimos de 7°C, característicos de las zonas de páramo presentes en la subcuenca. Por encima de los 3000 m.s.n.m y hasta el límite inferior de la zona nivel (4800 m.s.n.m), la temperatura promedio mensual es de (4 -7) °C, con máximos de 12°C y mínimos de 4°C.

El clima es afectado por los vientos alisios que soplan del Nordeste con mayor intensidad entre diciembre y marzo, y también por la altitud, pudiéndose establecer 7 áreas de condiciones climatológicas diferentes caracterizadas así: Vegetación de bosque seco, integra ecosistemas representados por ambientes de la Sabana arbolada, xerofíticos, subxerofíticos e higrotropofíticos, ubicados entre la desembocadura del río hasta los 1100 m.s.n.m. Vegetación de selva Subhigrófila, que representa el cinturón semi-húmedo, localizado entre los 1100-1200 m.s.n.m. La Selva Subandina, localizada entre los 1200 a 2400 m.s.n.m, la Selva Andina, localizada entre los 2400 a 3200 m.s.n.m, el Páramo, situado entre 3500-4800 m.s.n.m y la Zona nivel que va desde los 4800-5200 m.s.n.m. (Carbonó & Lozano, 1997).

A continuación se presenta los climogramas de las estaciones de patillal y Cicolac con los respectivos datos de temperatura y precipitación mensuales de todo el año.

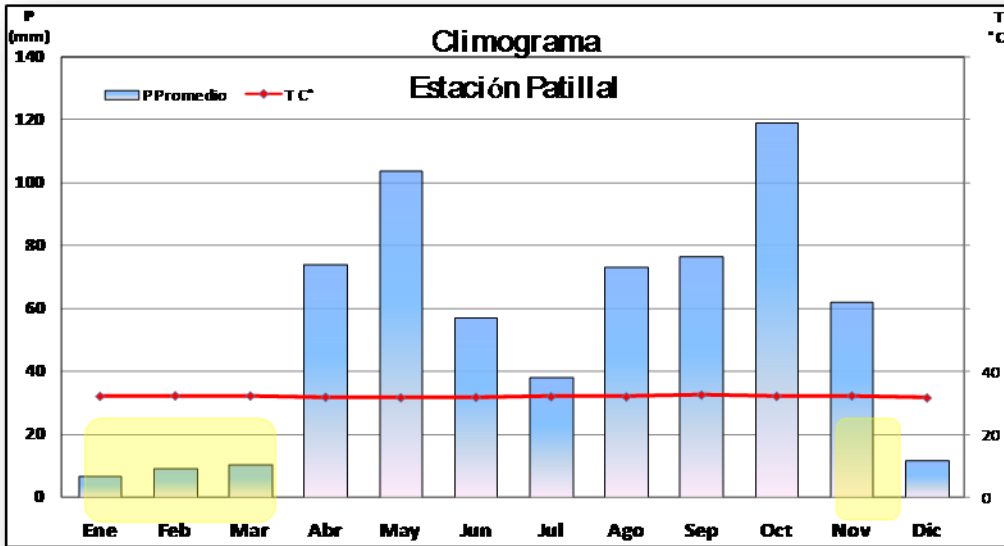


Figura 10: Climogramas de la estación patillal

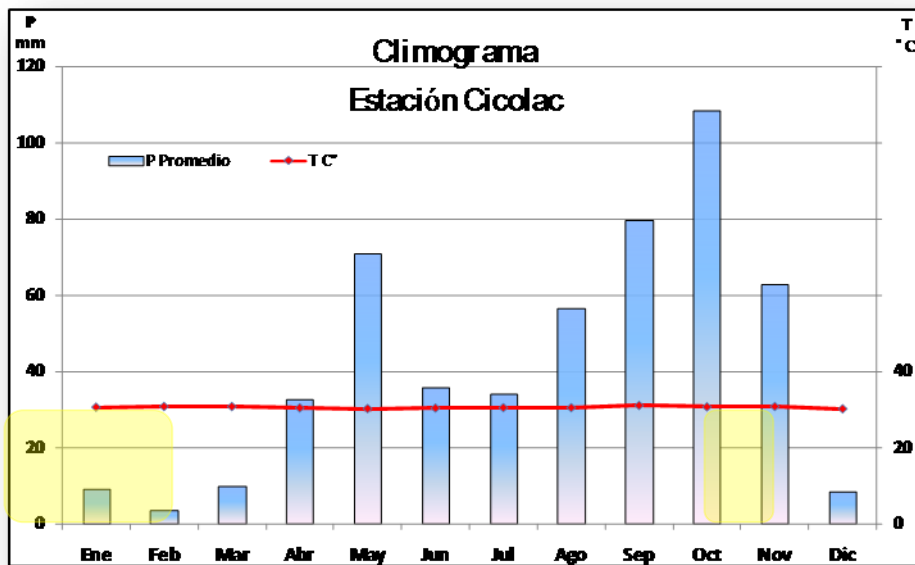


Figura 11: Climograma, estación Cicolac

Además del comportamiento descrito de las precipitaciones, el clima de la cuenca está caracterizado por condiciones de temperatura, brillo solar y humedad relativa bien diferenciadas de acuerdo con el piso latitudinal que se esté considerando.

La temperatura presenta pocas variaciones a lo largo del año en las distintas subregiones o sectores, siendo los períodos calurosos los correspondientes a los de menor cantidad de precipitación, por lo tanto de comportamiento bimodal (de manera similar a las lluvias). No ocurre así para el brillo solar (medido en número de horas de sol recibidas por unidad de tiempo), que es el resultado de la presencia o no de nubosidad sobre un área geográfica en particular y su relación con la pendiente del terreno.

Por último, la humedad relativa está determinada por la cantidad de agua disponible en la atmósfera, que se incrementa en las épocas invernales y disminuye en las épocas secas.

7 GEOLOGÍA.

El cuadrángulo de trabajo seleccionado para especializar las amenazas de orden geotécnico enmarca las poblaciones de Guatapurí y Chemesquemena, la nomenclatura utilizada en el presente documento es la propuesta por Tschanz en 1969, las descripciones se realizan inicialmente a partir de información secundaria, que luego fue complementada con las observaciones de campo y los análisis petrográficos de las muestras traídas de campo.

La siguiente descripción se hará ascendiendo por la columna estratigráfica, es decir, se describirán primero las formaciones de mayor edad.

7.1 GRANULITA DE LOS MANGOS (P€M)

Autor: definida por Tschanz et al. (1969).

Afloramientos: aflora en el costado occidental del cuadrángulo de trabajo, se extiende en la margen derecha del río Guatapurí, frente al caserío del mismo nombre, se caracteriza por presentar una morfología típica de montaña cupular, con escasa vegetación debido a su pobre desarrollo de suelos, su resistencia a la erosión es alta.

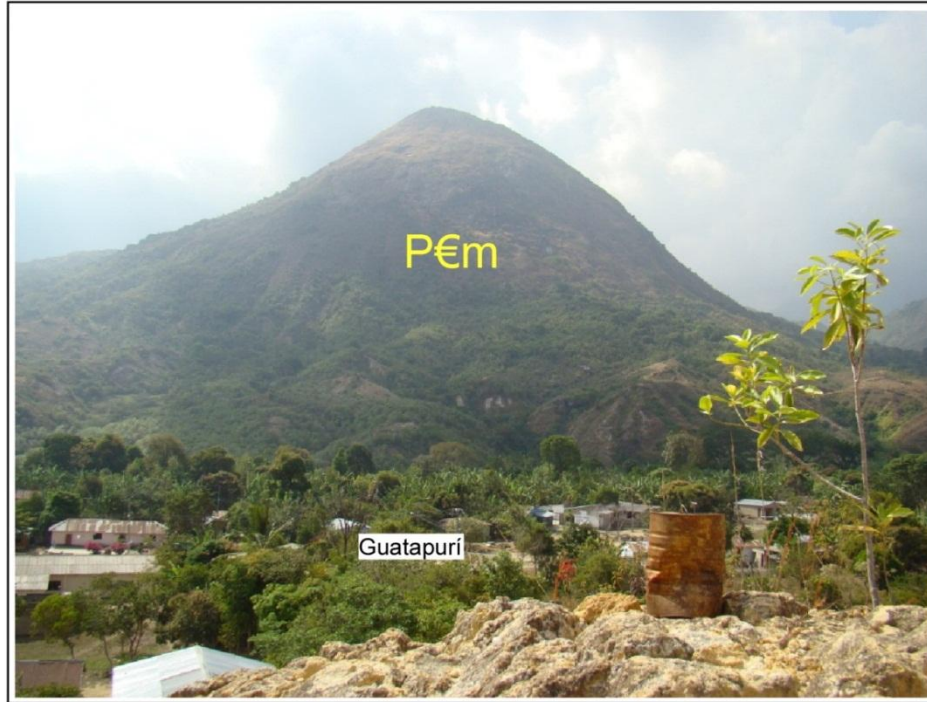


Foto 5: Panorámica del cerro Bucuncusa, sitio de afloramiento de la Granulita de Los Mangos. En primer plano el caserío de Guatapuri

Descripción litológica: está conformada por granulitas de color gris claro con pequeños cristales de minerales oscuros (máficos); presenta minerales de hornblenda, plagioclasas cálcicas y sódicas, piroxenos y algunos minerales accesorios, es altamente resistente a la erosión y a la alteración, razón por la cual existen muy pocos horizontes alterados que den origen a suelos.

Condición geotécnica: Para el sector estudiado, el macizo rocoso se presenta altamente estable y resistente, de hecho presentar un relieve fuertemente escarpado con exposiciones de roca sana que ha generado una patina de color oscuro casi negro. Esta formación es muy antigua, se ha calculado por dataciones absolutas (método radiométrico K/Ar) una edad comprendida entre 1300 y 762 mda, lo que la ubica en el precámbrico.



Foto 6: Detalle de las rocas de la Granulita de Los Mangos.

Esta formación para el cuadrángulo de trabajo, ocupa una superficie de 60,1 ha equivalentes al 8,4% del total, esta formación es altamente resistente, y su expresión morfológica “cupular” da cuenta de ello, sin embargo en algunos sectores donde la roca ha podido ser meteorizada, se generan saprolitos de color amarillo rojizo de pobre comportamiento geotécnico, tal saprolito es el producto de la alteración de algunos minerales a materiales arcillosos, pero se reitera que justamente en el área estudiada estos saprolitos o rocas alteradas de esta formación no aparecen.

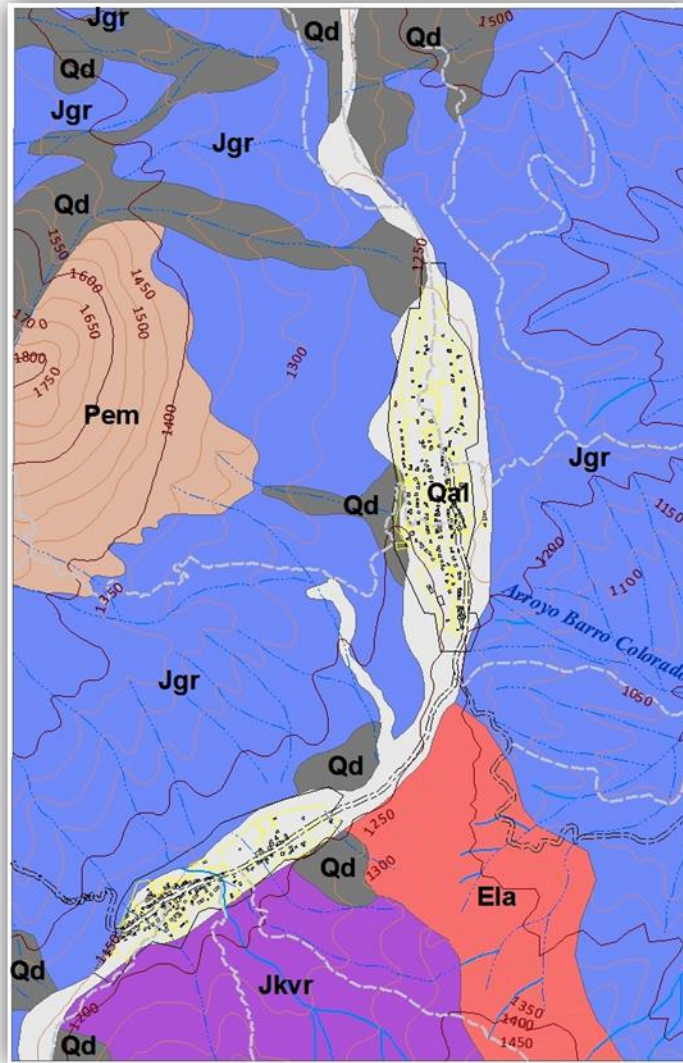


Ilustración 1: Unidades litológicas aflorantes en el cuadrángulo de trabajo.

7.2 GRANITOIDES DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA (JGR)

Al igual que la formación anterior, esta fue descrita por Tschanz et al. (1969), a una serie de rocas dispuestas en la Sierra Nevada de Santa Marta, a varios cuerpos con diferentes nombres, granitos, cuarcosomonzonitas, etc.

En la zona de trabajo las rocas de esta formación son de color rosado (ortoclasa), y corresponden a cuarcosomonzonitas de grano medio a grueso, con variaciones

porfíricas locales; compuesta por plagioclasa, feldespato potásico, minerales ferromagnesianos cloritizados y cuarzo; su expresión morfológica responde a vertientes alargadas con cimas agudas y ofrecen en contexto un drenaje subdendríptico. Su edad se considera jurásica basada en dataciones radiométricas que arrojaron valores de 175-176 Ma (Tschanz et al., 1969).



Foto 7: Expresión morfológica de los granitoides de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Para la zona de trabajo esta formación es la más ampliamente extendida, de hecho ocupa una superficie de 412,6 Ha, equivalentes al 57,5% del total del área estudiada la siguiente ilustración muestra el afloramiento y contacto con los cuaternarios en el área de Guatapurí, nótese la diferencia de pendientes y las diferencias frente a procesos erosivos que se presentan sobre los granitoides.



Foto 8: Contacto entre los depósitos aluviales del río Guatapurí con los Granitoides.

Estas rocas fueron consideradas pertenecientes a la facies plutónica principal de la Sierra Nevada, su meteorización genera un saprolito de pobres características geotécnicas de color rosado a rojizo amarillento, aunque los sectores donde la roca se encuentra expuesta como en el caso del corte de la vía es fácil observar la estructura de la roca, es posible identificar familias de diaclasas, pero la roca está completamente alterada, se disgrega con facilidad y la punta del martillo se hunde algunos centímetros mostrando ya su carácter casi arcilloso, a través de la geofísica se establecen los horizontes de meteorización para definir los perfiles.



Foto 9: Detalle de la meteorización del Granitoide.

7.3 VOLCÁNICO RIOLÍTICO DE CHEMESQUEMENA (JKVR)

Esta unidad corresponde a las rocas volcánicas que suprayacen a las rocas volcánicasignimbríticas del Jurásico Superior. Se compone de un grupo de rocas volcánicas riolíticas compuestas mayoritariamente porRiodacitas y algunas Riolitas, al igual que las formaciones anteriores, fueron descritas en 1969 por Tschanz.

Esta unidad aflora en la zona sur del cuadrángulo de estudio; en la margen izquierda del río Guatapurí, bordeando la población de Chemesquemena (de ahí su nombre para identificar localidad), ocupa una superficie de 54,67ha, equivalentes al 7,6% de la totalidad, esta unidad presenta un expresión morfológica de laderas muy inclinadas a moderadamente escarpadas.

Esta formaciónpuede tener una amplia variación en su composición petrográfica, es posible encontrar variaciones en el macizo con exposición de rocas como latita, traquita o riolita. Algunos autores reconocen para la parte basal de este cuerpo algunas líneas de flujo, cadauna de diferente color y textura; la roca predominante es de color rosado a morado muyclaro, con pequeños fenocristales de feldespatos

potásico. En la parte alta, la unidad presenta microgranitos de color rosado a rosado anaranjado (como es el caso del sector sur del poblado de Chemesquemena), los cuales a veces contienen esporádicos fenocristales de feldespato rosado; también algunos informes¹ reportan felsitas afaníticas con bandas de flujo, con pequeños fenocristales de feldespato, de color rosado claro, rosado anaranjado, morado muy claro o gris rojizo, aunque para la zona de estudio al menos no en afloramientos se encontraron estas felsitas.

Edad: Jurásico Superior, de acuerdo a dataciones radiométricas por el método K/A existen rocas entre los 129 ± 5 millones de años y los 142, situando estas rocas entre el Jurásico Superior y el Cretáceo Inferior, las dataciones hechas para la Riodacita de los Tabanos (la más cercana al área de estudio establece un tope de 142 millones de años, por lo cual para este estudio las rocas son consideradas Jurásicas.

Geotécnicamente esta formación genera profundos horizontes de meteorización que sumado a sus fuertes pendientes ofrece laderas potencialmente inestables, de hecho cuando se modifica el uso del suelo, la geometría del talud o existen malos manejos de aguas por parte de los finqueros se crean las condiciones necesarias para que se activen movimientos en masa; como el que hoy día afecta el sector suroriental del caserío de Chemesquemena.

Esta formación en la zona de estudio presenta horizontes de meteorización de al menos 3 metros, para dar paso a una roca altamente fracturada y solamente hasta los 8 metros encontrar roca sólida; por ello las superficies de ruptura y por las pendientes desencadenan movimientos traslacionales.

¹ Arias, Alfonso; Morales, Carlos Julio. Memorias del Mapa Geológico Generalizado del Cesar. INGEOMINAS, 1999.



Foto 10: Horizonte de meteorización del volcánico riolítico.

7.4 LACOLITO DE ATANQUES (ELA)

Autor: Tschanz et al. (1969). El batolito de Atanquez que aflora en el área de estudio es una prolongación de este macizo rocoso que se extiende desde el sur del cuadrángulo hacia el norte, cubriendo una superficie de oriente y se ve representado en la zona sur del área de estudio, extendiéndose hacia el norte casi 50 ha, que corresponden al 7% del área de estudio; se localiza en la margen izquierda del río Guatapurí entre los caseríos de Chemesquemena y Guatapurí.

Descripción litológica: la unidad está formada por pórfido monzonitas, rocas porfíricas de grano muy grueso, contiene fenocristales de plagioclasa mayores de 4 cm, en una matriz de color gris de granofino a medio. Se presenta formando rocas compactas de color rosado grisáceo altamente fracturadas en superficie, tal como se aprecia en la ilustración siguiente; en donde en la fotografía de la

derecha que corresponde a una interpretación colorida de la izquierda, se iluminan tres familias de diaclasas, pero en el terreno al menos se identifican 5 familias en algunos sectores.

Geotécnicamente tienen un comportamiento aceptable, sin embargo las áreas donde existen horizontes de meteorización profundos las laderas son altamente inestables; en lo observado en el cuadrángulo de trabajo las rocas están relativamente sanas y se presentan estables.

Edad: Paleógeno con base en análisis radiométricos ($57,3 \pm 11$ Ma.) en biotita (Tschanz et al., 1969)



Foto 11: Afloramiento del Lacolito de Atanquez, a la derecha se muestran tres de las familias de discontinuidades.

7.5 DEPÓSITOS RECIENTES

En el área de trabajo se encuentran depósitos de roca inconsolidados tales como valles aluviales, con sus respectivas terrazas, y depósitos de vertiente en forma de talus, a continuación se describirán brevemente.

7.5.1 Depósitos Aluviales (Qal)

El principal accidente fisiográfico del área es el río Guatapurí, que en su trayecto ha formado un valle aluvial que divide en dos la zona de trabajo, este valle aluvial presenta ya niveles de terraza bien definidos, esta unidad está compuesta por limos y arenas finas embebidos en cantos de roca de hasta 20 cm de diámetro y bloques de río (que demuestran su torrencialidad) mayores de 2 metros., se estima un espesor de al menos 30 metros.

Estos depósitos se encuentran a lado y lado del río Guatapurí, ocupando una superficie de 65,19Ha, equivalentes a algo más del 9% del total estudiado. La mayoría de drenajes naturales están acompañados de acumulaciones aluviales, en algunos casos desarrollan terrazas pero en la mayoría de los casos no son cartografiables.



Foto 12: Detalles del cuaternario aluvial del área.

Gran parte del aluvi3n est3 conformado por terrazas que por su similitud litol3gica son muy dif3ciles de diferenciar tanto en terreno como en las fotograf3a a3reas, siendo necesario presentarlas cartogr3ficamente como una sola unidad, sin embargo en la descripci3n por su posici3n fisiogr3fica relevante para la zonificaci3n geot3cnica se discriminar3.

7.5.2 Terrazas (Qt)

Los caserios objeto de estudio se encuentran localizados sobre terrazas aluviales evolucionadas por el r3o Guatapur3, se observan hasta cuatro niveles de terraza en el caser3o de Guatapur3, pero no son cartografiables. Espacialmente corresponde en el plano a los pol3gonos que designan los aluviales. Su granulometr3a consta de gravas, cantos y arenas dentro de una matriz areno limosa. La composici3n var3a

de acuerdo con las unidades que aportan los diferentes tipos de roca, según el lugar donde se ha formado la terraza.

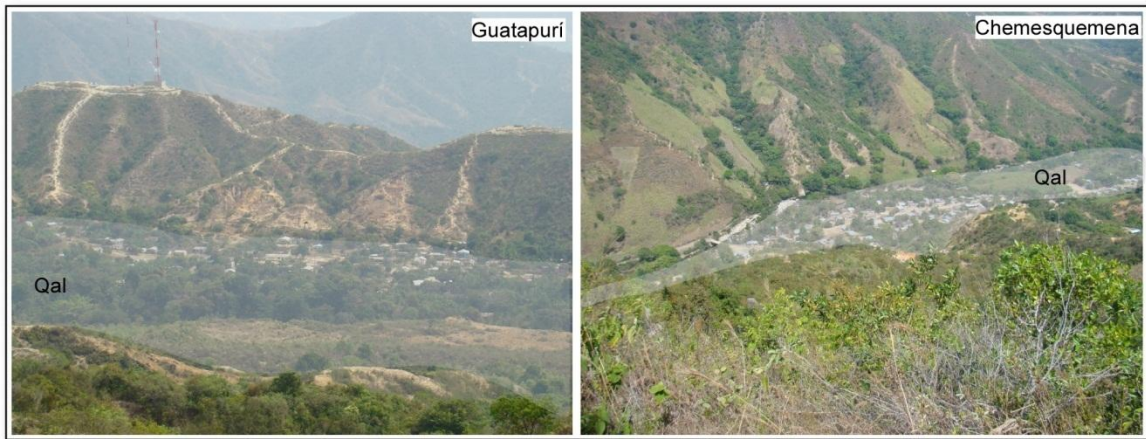


Foto 13: Aspectos de los depósitos aluviales en los dos caseríos.

Al ser depósitos de edad cuaternaria no han sufrido diagénesis por lo que se disgregan fácilmente, en algunos escarpes de terraza se desarrollan pequeños movimientos en masa, por supuesto involucrando únicamente materiales aluviales.

7.5.3 Depósitos de pendiente (coluviones) (Qd)

Están constituidos principalmente por acumulaciones de material producido por acción de la gravedad, y se componen generalmente de bloques subangulares y angulares dentro de materiales lodosos, arcillosos y arenosos con muy mala selección, en una disposición amorfa que incluye, en ocasiones, restos de escombros



Foto 14: Aspectos de los coluviones encontrados en el área.

La siguiente ilustración muestra la distribución de cada una de las unidades geológicas aflorantes en el cuadrángulo de trabajo.

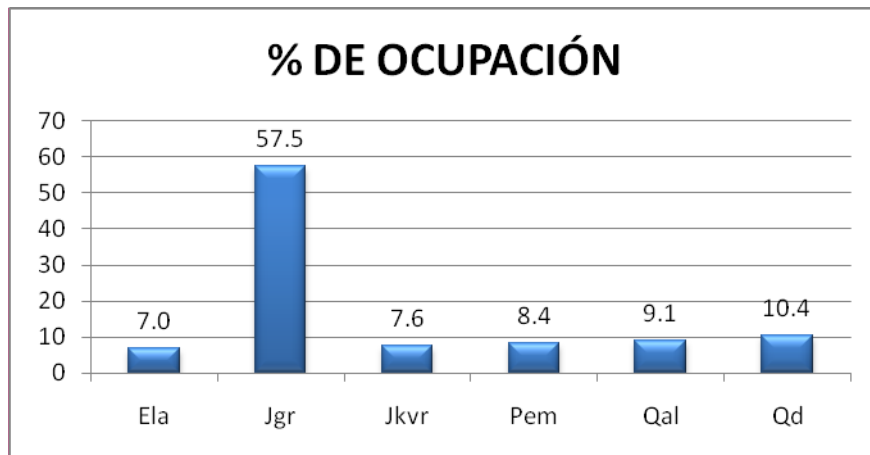


Ilustración 2: Histograma de % de ocupación areal por formación.

De igual manera se hace una breve ilustración de la disposición de las unidades geológicas en el área de trabajo para que el lector pueda identificar los diferentes macizos rocosos (entendidos cada uno por formación).

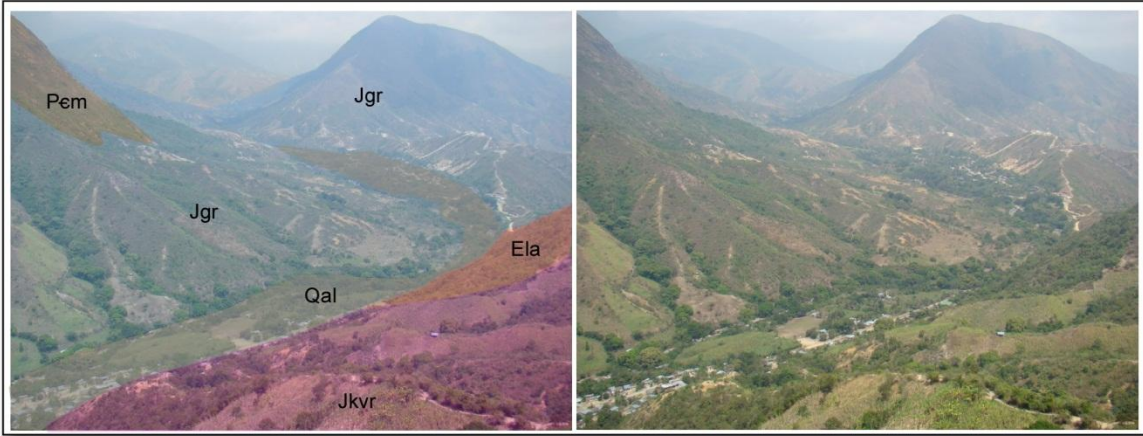


Foto 15: Unidades geológicas en el área. VALORACIÓN DEL ASPECTO GEOLÓGICO

En el estudio que permite la integración de mapas en un modelo SIG para evaluar la amenaza es preciso valorar cada una de las formaciones presentes, por ello se utiliza la clasificación de macizos rocosos propuesta por Bieniowsky, también conocida como clasificación geomecánica de Bienawiski, fue presentada en 1973 y modificada en 1989. Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar aproximadamente su comportamiento geotécnico.

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)										Parametros de clasificación		
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	Compresión simple (Mpa)					
		Compresión simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1			
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0			
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%					
	Puntuación		20	17	13	6	3					
3	Separación de diaclasas		> 2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	< 0,06m					
	Puntuación		20	15	10	8	5					
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la continuidad	< 1m	1-3m	3-10m	10-20m	> 20m					
		Puntuación	6	4	2	1	0					
		Abertura	Nada	<0,1mm	0,1-1,0mm	1-5mm	>5mm					
		Puntuación	6	5	3	1	0					
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	ligeramente rugosa	Ondulada	Suave					
		Puntuación	6	5	3	1	0					
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando < 5mm	Relleno blando > 5mm					
		Puntuación	6	4	2	2	0					
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta					
Puntuación	6	5	3	1	0							
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min					
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5					
		Estado general	seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo					
	Puntuación		15	10	7	4	0					

Tabla 4: Clasificación y ponderación de Bieniawski.

Esta clasificación se alimenta con unas observaciones semicuantitativas que se exponen en el anexo.

7.5.4 Clasificación del macizo rocoso: (Ela) Lacolito de Atanquez

Este macizo rocoso aparentemente presenta un alto fracturamiento, pero su análisis permite ver que presenta una resistencia media, en el sitio de descripción se realizó sobre la vía que conduce a Chemesquemena muy cerca del caserío; se determinaron dos familias de diaclasas con los siguientes datos de rumbo y buzamiento: N69°E/ 63°NW y N31°W/ 82°NE

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	Comp. simple		
		Compresión simple	25-5		
Puntuación			2		
2	RQD		<25%		
	Puntuación		3		
3	Separación entre diaclasa		0,06 – 0,2m		
	Puntuación		8		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	<1m		
		Puntuación	6		
		Abertura	1 – 5 mm		
		Puntuación	1		
		Rugosidad	Ondulada		
		Puntuación	1		
		Relleno	Blando < 5mm		
		Puntuación	2		
		Alteración	Mod. Alterada		
		Puntuación	3		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0		
		Estado general	Seco		
	Puntuación		15		
Suma total			41		
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

Tabla 5: Clasificación del macizo rocoso Lacolito de Atanquez

Clasificación del macizo rocoso Lacolito de Atanquez.

Clase: III, calidad: media; puntuación: 41

7.5.5 Clasificación del macizo rocoso: (Jgr) Granitoides de la sierra nevada de Santa Marta

La mayor parte del área de estudio presenta este macizo aflorando, en todas partes de encontró un horizonte de meteorización de al menos 3 metros, aunque estos saprolitos mantienen parte de la roca original y las estructuras, su comportamiento geotécnico es muy malo, se determinaron tres familias de diaclasas, las direcciones preferenciales son aproximadamente las siguientes: N76E/57NW, N34E/73NE y N29E/34SE

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	Comp. Simple
		Compresión simple	5-1.
Puntuación			1
2	RQD		<25%
	Puntuación		3
3	Separación entre diaclasa		00,6 - 0,2m
	Puntuación		8
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	<1m
		Puntuación	6
		Abertura	nada
		Puntuación	6
		Rugosidad	Rugosa
		Puntuación	5
		Relleno	Ninguno
		Puntuación	6
		Alteración	Muy Alterada
		Puntuación	1
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0
		Estado general	Seco
	Puntuación		15

	Suma total				51
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

Tabla 6: Clasificación del macizo rocoso Granitoides de la sierra nevada de Santa Marta

Clase: III, Calidad: Media, Puntuación: 51

7.5.6 Clasificación del macizo rocoso: Pem Granulita de Precámbrica de los mangos

Este macizo rocoso presenta su mayor dificultad en razón a la distancia a recorrer para la obtención de datos, sin embargo esta masa de roca presenta una alta resistencia a la erosión y por lo tanto es geotécnicamente muy estable, se determinaron dos familias de diaclasas con los siguientes datos de rumbo y buzamiento: N69°E/ 63°NW y N31°W/ 82°NE

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	10-4.		
		Compresión simple	250-100		
	Puntuación		12		
2	RQD		90%-100%		
	Puntuación		20		
3	Separación entre diaclasa		0,6 - 2m		
	Puntuación		15		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	1 - 3m		
		Puntuación	4		
		Abertura	0,1 - 1,0mm		
		Puntuación	3		
		Rugosidad	Rugosa		
		Puntuación	5		
		Relleno	Blando < 5mm		
		Puntuación	2		
		Alteración	Inalterada		
		Puntuación	6		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0		
		Estado general	Seco		
	Puntuación		15		
		Suma total	82		
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

Tabla 7: Clasificación del macizo rocoso Pem Granulita de Precámbrica de los mangos

Clase I, calidad muy buena, puntuación 82.

8 GEOMORFOLOGÍA

8.1 PENDIENTES

Como elemento base para el análisis del medio físico, se determinaron los siguientes rangos homogéneos de pendientes, que son los adoptados por la FAO y para el caso colombiano por el IGAC, igualmente son los rangos establecidos en los estudios de suelos y los utilizados en el desarrollo del presente trabajo, la *Tabla 8. Descripción de pendientes* Describe cada uno de los rangos de pendiente utilizados en la leyenda fisiográfica, la pendiente designada con la letra c posee tres definiciones, de acuerdo al criterio del foto interprete se asigna el atributo correspondiente.

PENDIENTE	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0-3 %	a	A nivel / casi a nivel	Denudación no apreciable; por su condición transitable y laborable, es objeto de uso agrícola, solamente se dificulta su uso bajo condiciones secas.
3-7 %	b	Ligeramente inclinada / Ligeramente ondulada	Aunque escasos en las áreas con reemplazos forestales existen movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente soliflucción y erosión

			laminar y surcos.
7-12 %	c	Moderadamente Inclinada / Moderadamente ondulada / Ligeramente quebrada	Condiciones similares al rango anterior con aumento de la concentración hídrica por efectos de la mayor pendiente.
12-25 %	d	Fuertemente inclinada / Fuertemente ondulada / Moderadamente quebrada	Movimientos en masa de todo tipo, especialmente soliflucción, reptación erosión en surcos, ocasionalmente deslizamientos. Ante cambios en el uso del suelo existen peligros de erosión del suelo y deslizamientos.
25-50 %	e	Fuertemente quebrada / Ligeramente escarpada	Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases zonas con reemplazos forestales evidencias claras de erosión del suelo.
50-75 %	f	Moderadamente escarpada	Desprendimiento de rocas, coluviación.
75-100 %	g	Fuertemente escarpada (Incluye escarpes sub verticales y verticales)	Caída de rocas, por efectos de tectonismo y bioclastia.

Tabla 8. Descripción de pendientes

Con base en los rangos establecidos se generó el mapa de pendientes, sin embargo por razones de espaciamiento entre los niveles de curvas de nivel el mapa registra una interpretación de la realidad, un poco incompleta, ya que entre los intervalos de curvas utilizados aparecen geoformas de orden menor que no se pueden apreciar en el DEM, es por ello que la descripción fisiográfica no atiende a los resultados del proceso cartográfico del MDE, se utiliza por tanto las mediciones y observaciones realizadas en campo y las detalladas mediante el proceso de fotointerpretación, la homogeneidad en el trabajo y nomenclatura de los rangos de pendiente aseguran una adecuada articulación de los diferentes mapas, inicialmente el mapa de pendientes muestra la distribución de ésta expresión morfológica, los mismos rangos son utilizados en la descripción de las unidades fisiográficas, y consecuentemente como estas posiciones son las que inciden en el desarrollo evolutivo de los suelos.

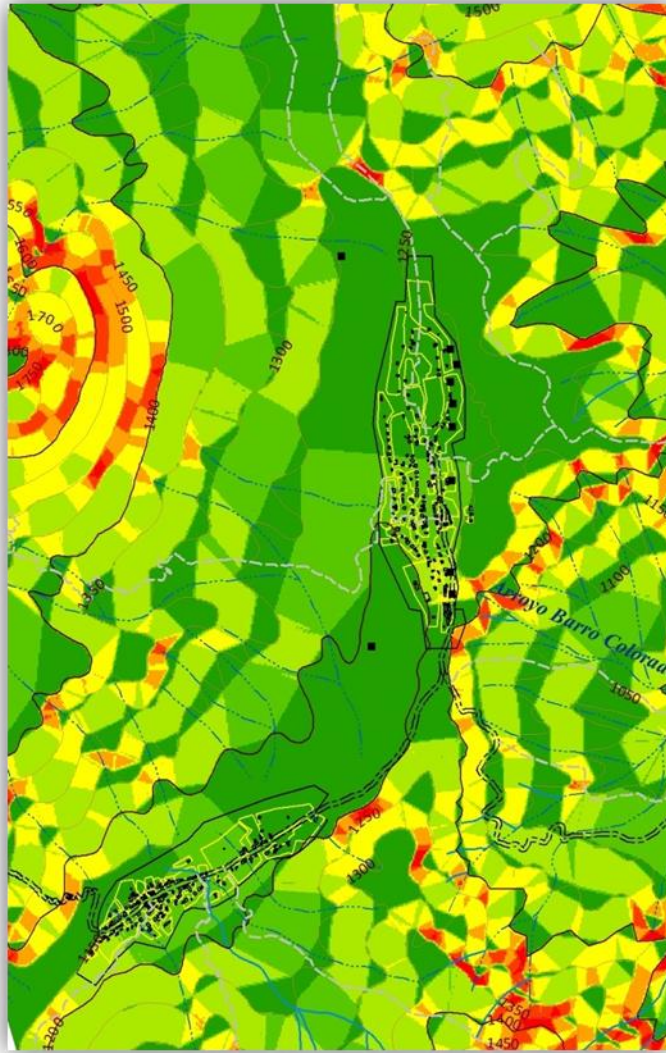


Ilustración 3: Mapa de pendientes.

La cartografía desarrollada para la descripción de éste punto se basa principalmente en fotointerpretación, control de campo basándose principalmente en las discontinuidades topográficas como cambios bruscos de pendientes, cambios en las facies litológicas y la morfología general de la superficie considerada, a partir de estos puntos se describen los grandes paisajes y paisajes; la estructura de la leyenda designa en primer lugar al gran paisaje, que para el presente caso la F corresponde al paisaje FluvioErosional, luego el subpaisaje

según sea el caso y las letras en minúsculas que hacen referencia al rango de la pendiente.

8.2 RELIEVE MONTAÑOSO FLUVIAL EROSIONAL

Hace referencia a las unidades morfológicas cuya génesis depende de las rocas ígneas, bien sea volcánicas o intrusivas, que una vez aflorantes y por acción de los agentes geomorfológicos iniciaron su proceso de degradación y avenamiento, en la historia geológica de la sierra nevada de Santa Marta, durante el triásico y principios del jurásico se generaron los procesos magmáticos que emplazaron las formaciones de Los Mangos y los Granitoides de la Sierra Nevada, luego al final del periodo Jurásico suceden algunos eventos volcánicos que emplazan las rocas volcánico-riolíticas, estos paisajes se caracterizan por la ausencia de una estructura definida, y dependiendo de la roca los procesos de degradación o alteración mineral generan horizontes de meteorización o saprolitos que son los que finalmente generan la expresión erosiva de cada una de las unidades.

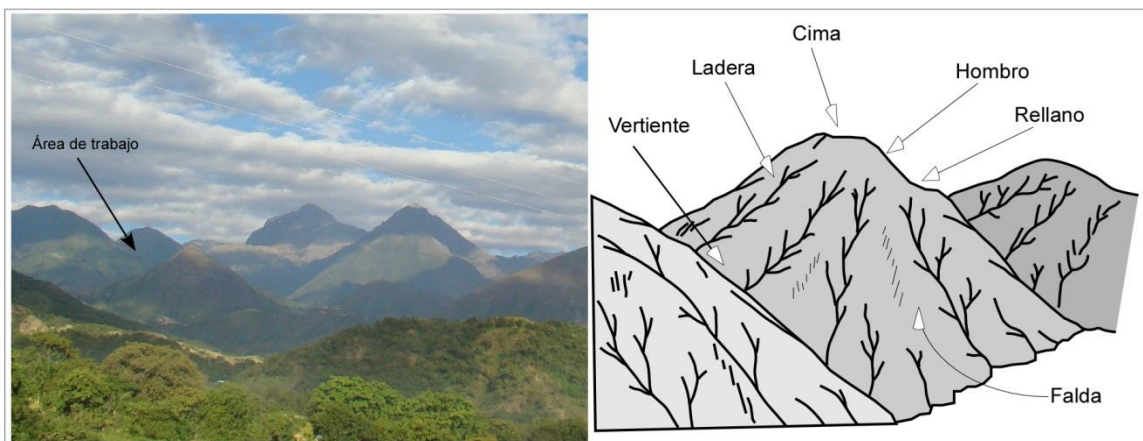


Foto 16: Esquema de las vertientes fluvioerosionales

La estructura fisiográfica que se utilizó para la definición de unidades utiliza la siguiente organización, posteriormente cada polígono fue ponderado para alimentar el modelo SIG.

GRAN PAISAJE	PAISAJE	SUBPAISAJE	PENDIENTE	SÍMBOLO	SUP. (ha)	%
RELIEVE MONTAÑOSO FLUVIO EROSIONAL	Crestas ramificadas	Laderas	d	F.1.1.a	47,4	340,0
		Depósitos de Ladera reciente	c	F.1.3.c	6,8	48,4
		Depósitos de Ladera actual	c	F.1.6.c	6,7	47,7
		Calvas de erosión	c	F.1.4.c	5,8	41,8
		Deslizamiento activo	d	F.1.5.e	0,8	5,6
	Montañas cupulares	Cima/ladera	f	F.2.1.f	8,4	60,1
	Vertientes fluvioerosionales	Laderas	d	F.3.1.d	7,0	50,1
		Calvas de erosión	d	F.3.2.d	0,6	4,6
		Depósitos de Ladera	c	F.3.3.c	0,6	3,9
	Laderas erosionales	Laderas	d	F.4.1.d	7,0	49,9
	Vallecito aluvial	Plano de terraza	a	F.5.1.a	9,1	65,2

Tabla 9. Leyenda de posiciones fisiográficas

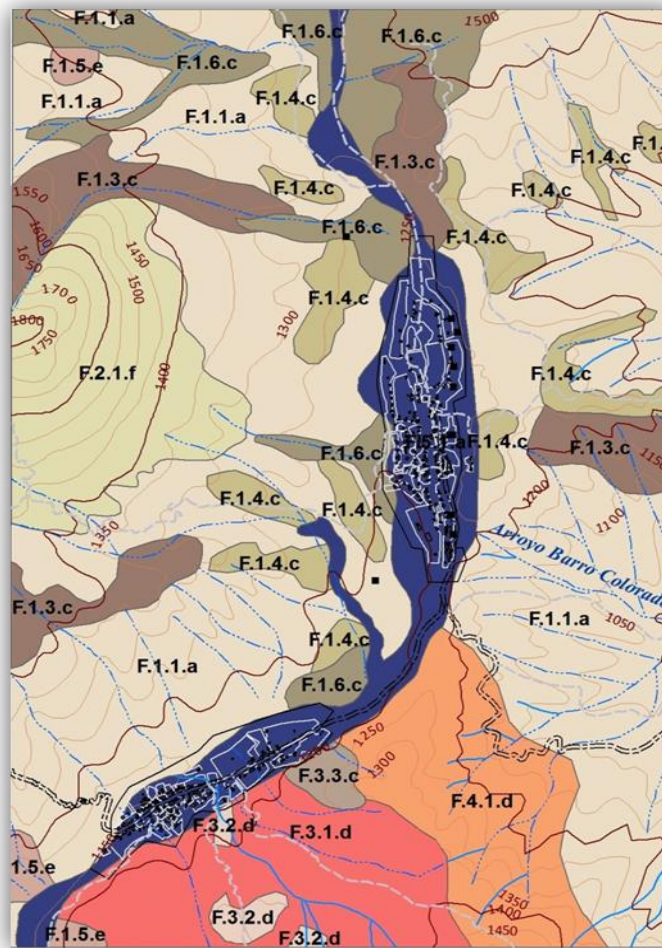


Ilustración 4: Mapa de Fisiografía

Se divide el Gran paisaje en 5 paisajes:

Crestas Ramificadas: que hacen referencia a las vertientes que desarrolla los granitoides de la Sierra, esta formación es la que mayor número de proceso erosivos trae consigo, las calvas de erosión, la erosión hídrica difusa y concentrada y los procesos de cárcavamiento son los más evidentes, eso sin mencionar que se presentan algunos movimientos en masa.



Foto 17: Panorámicas de cárcavas identificadas en el cuadrángulo de estudio.

Este paisaje presenta una alta erosionabilidad, de modo que cuando se alteran las cubiertas vegetales se desatan intensos fenómenos erosivos; la siguiente imagen es un mosaico de fotografías todas ellas del sector donde se evidencian lo problemas erosivos de la unidad.

Montañas Cupulares: Hace referencia a la Granulita de los Mangos, Un montaña cupular muy resistente a la erosión y con las formas típicamente ígneas.

Vertientes y laderas fluvioerosionales: se refiere a las rocas volcánicas que se localizan al sur del cuadrángulo de estudio; rocas volcánicas con diferencias en los horizontes de meteorización altamente susceptibles a los movimientos en masa.

Y los vallecitos aluviales que con por sus características se hacen inestables toda vez que la dinámica natural del río genera erosión lateral, y variaciones en el cauce, y algunas quebradas que llegan al río con cargas torrenciales que eventualmente pueden modificar el cauce de manera seria.



Foto 18: Mosaico de fotografías con procesos erosivos hídricos

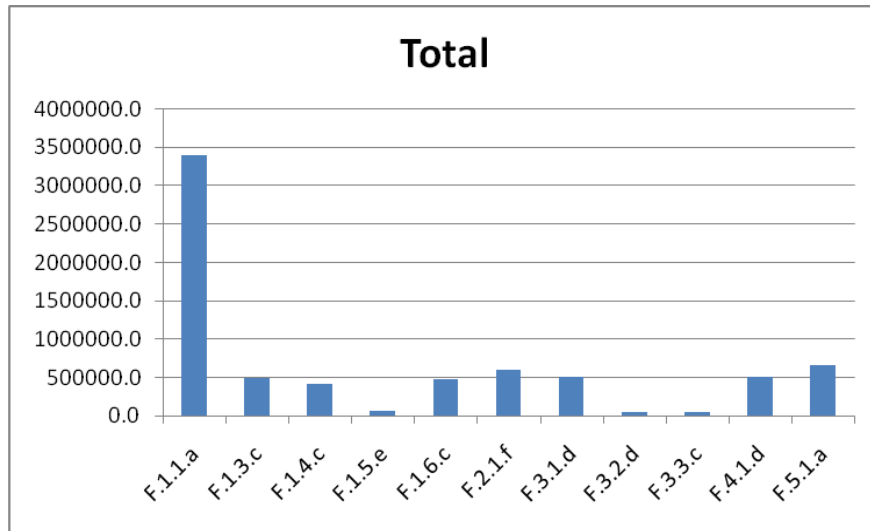


Ilustración 5: Histograma de representatividad de área de las unidades geomorfológicas.

9 COBERTURA DEL SUELO

El uso del suelo y la cobertura de éste cumplen un papel trascendental en la ocurrencia de deslizamientos en una ladera. A través del tiempo se ha demostrado que la vegetación tiene un efecto positivo para evitar la erosión, fallas superficiales y deslizamientos. Por ejemplo, los árboles y arbustos de raíz profunda le aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelos más superficiales.

La cobertura vegetal natural es aquella que está compuesta por un manto continuo o discontinuo de árboles, arbustos o hierbas, o en combinaciones, producto de la interacción natural de factores bióticos y abióticos en especial las condiciones climáticas, edáficas e hídricas. La vegetal semi natural, se refiere a la vegetación no plantada por el hombre pero influenciada por las actividades humanas, como el pastoreo o sobre pastoreo de la cobertura natural, prácticas de extracción selectiva de maderas en bosques naturales, con la alteración de la composición florística y estratificación; también se incluye bajo esta denominación las áreas donde la agricultura ha sido abandonada y la vegetación se encuentra en diferentes estados de sucesión y en proceso de regeneración. La cobertura vegetal cultural ó antrópica es aquella que se obtiene mediante la remoción o modificación y reemplazo de la vegetación natural, producto de las actividades humanas, con el propósito de obtener productos agropecuarios, forestales y de bienestar social. Estas áreas pueden estar temporalmente sin cobertura vegetal

El tipo de vegetación tanto en la ladera como en el área arriba de la ladera es un parámetro importante para la estabilidad de ésta. La vegetación determina el contenido de agua en la superficie, además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Adicional a lo mencionado anteriormente, la vegetación también intercepta lluvia, aumenta la capacidad de infiltración, extrae la humedad del suelo, ancla el suelo

superficial a mantos más profundos, aumenta el peso sobre el talud , transmiten al suelo fuerza del viento, retienen las partículas de suelo disminuyendo así la erosión, entre otras.

Por el contrario, si el suelo se encuentra sin cobertura vegetal aumenta el desprendimiento de material, el transporte y el depósito de éste, agregándole que no hay absorción del agua por plantas por tal motivo hay mayor infiltración al talud, de tal forma que se satura más y puede ser susceptible a deslizarse. Cabe destacar que la quema de vegetación también causa inestabilidad al talud.

El efecto más importante de la vegetación, es la protección contra la erosión en todos los casos y con todos los tipos de ésta.

La vegetación con mayor densidad de follaje amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión. En hierbas y pastos la densidad y volumen del follaje actúan como un colchón protector contra los efectos erosivos del agua de escorrentía.

Para jerarquizar en lo que se refiere al control de erosión, se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en arbustos. Además se ha observado que las hierbas o maleza protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos.

En la zona de estudio se identificaron cuatro tipos de cobertura vegetal que son:

- Bosques
- Rastrojos
- Pastos
- Suelos desnudos

Es importante resaltar que en el área de estudio existen pequeñas zonas de cultivo de caña, pero dado las características de esta planta, se puede asumir como un tipo de cobertura vegetal de pastos.

9.1 METODOLOGIA APLICADA

Para la elaboración del mapa de cobertura vegetal se llevan a cabo diferentes pasos.

En el proyecto realizado se procedió a la compra de fotos aéreas de la región de estudio en el IGAC. Con estas fotos básicamente lo que se realiza es la interpretación de ellas, de tal forma que se identifique las áreas de los distintos tipos de cobertura vegetal. Para este proceso es necesario el uso de un buen estereoscopio, el manejo y adaptación adecuada de la vista para la interpretación.

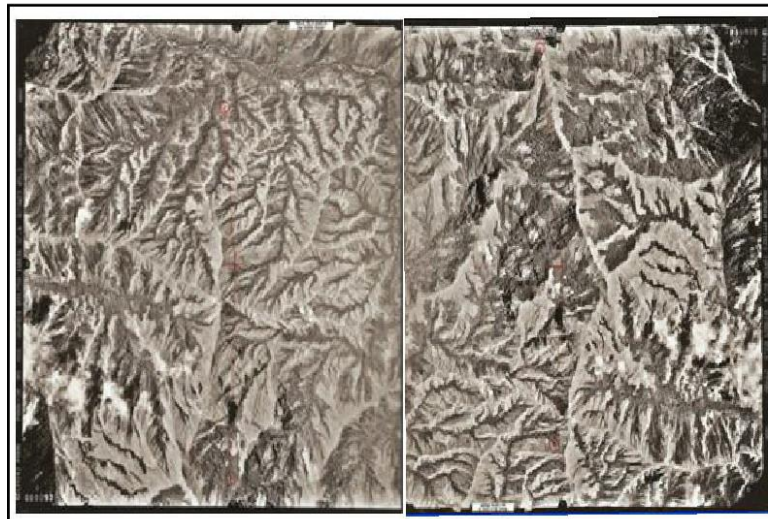


Figura 12: Fotografías aéreas interpretadas posteriormente



Figura 13: Fotografías aéreas interpretadas posteriormente



Foto 19: Ubicación adecuada de las fotos



Foto 20: Observación de fotos



Foto 21: Interpretación de fotos

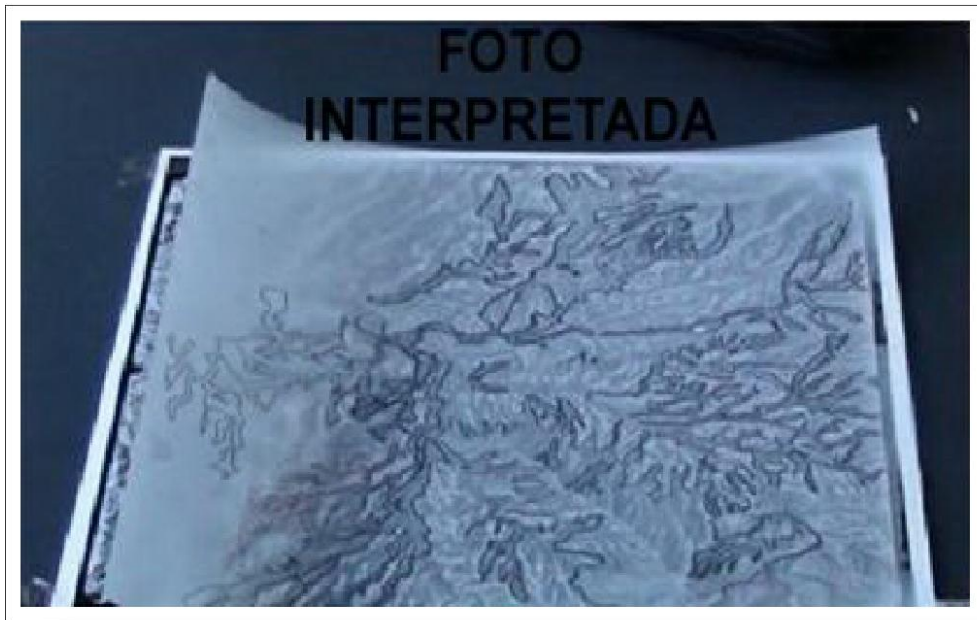


Foto 22: Foto interpretada

A la imagen original se les realizó clasificación supervisada. De las imágenes de las fotos aéreas se tomaron las tres bandas, las imágenes fueron desplegadas y clasificadas inicialmente de manera supervisada, luego de un control en campo se ajustó de nuevo la clasificación para obtener el producto final.

La mezcla de clases debida a semejanzas de la respuesta espectral de los objetos que las conforman, fue corregida para la clasificación supervisada, utilizando una técnica de “depuración de clases” aplicable con el software Erdas; esta consiste en recodificar los valores de los píxeles contaminados con una clase que no corresponde, para asignarles el valor de la clase a la que realmente pertenecen. Las principales correcciones de este tipo se aplicaron a los píxeles afectados por nubosidad, también a los sitios en donde sabiendo que existen cultivos limpios fueron registrados como suelos pastos, y a los demás sectores que sabiendo de su verdadera cobertura fueron alterados por medidas semejantes.

Es de anotar que el observador debe saber con precisión a que corresponde la clase de píxel que se está corrigiendo, de lo contrario se corre el riesgo de introducir errores en los resultados.

Después de realizar el proceso anteriormente explicado, se obtienen las áreas de cada tipo de cobertura vegetal en la zona. A continuación se muestra el producto obtenido para cada tipo de vegetación representado en mapas realizados en ARC GIS versión 9,3.

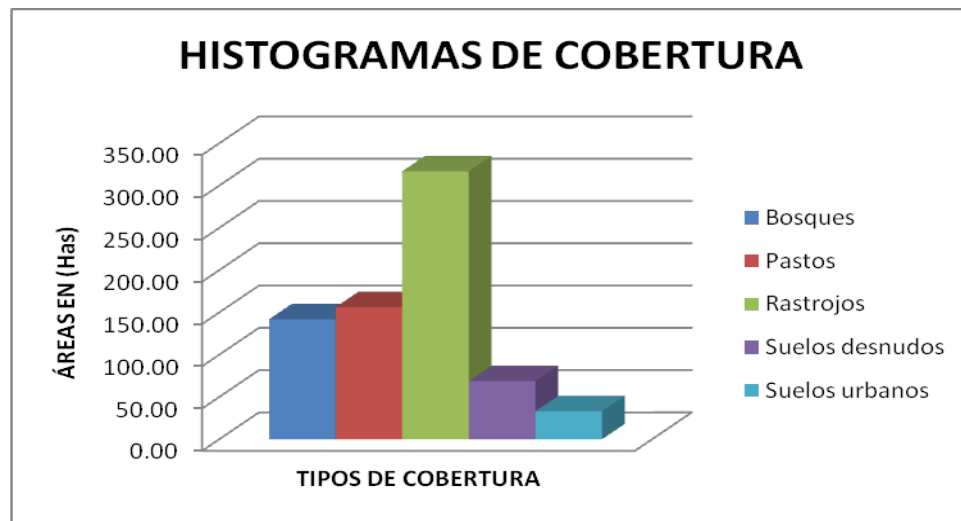


Figura 14: Histograma de áreas (Has) y clases de cobertura vegetal

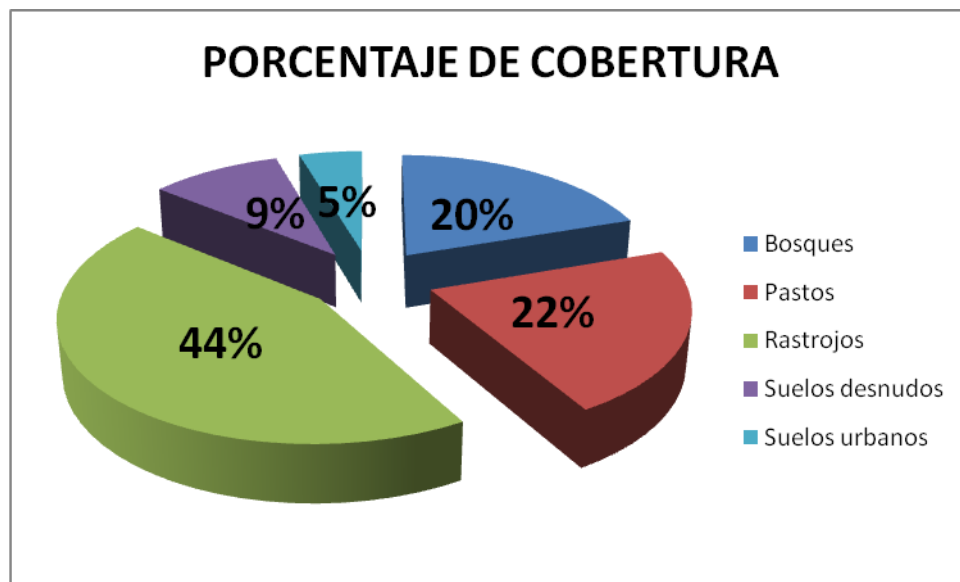


Figura 15: Porcentaje de las coberturas

La anterior figura muestra las 5 clases de cobertura que se sintetizaron para la obtención del mapa de amenaza.

El cuadrángulo o sector de estudio abarca un área de aproximadamente 910 hectáreas. Se puede observar que la mayor parte de la zona tiene una vegetación de rastrojos, seguido por pastos y bosques y en menor proporción suelos desnudos y suelos urbanos.

9.1.1 Bosques

Se define de esta forma la cobertura de vegetación arbórea, que presenta intervención humana en forma de viviendas subnormales. Este tipo de cobertura corresponden las zonas boscosas compuestas por árboles que en su contexto general poseen tamaños superiores a los 8 m. La cobertura boscosa ocupa el 19.8% del área total, es decir 142.03 hectáreas.

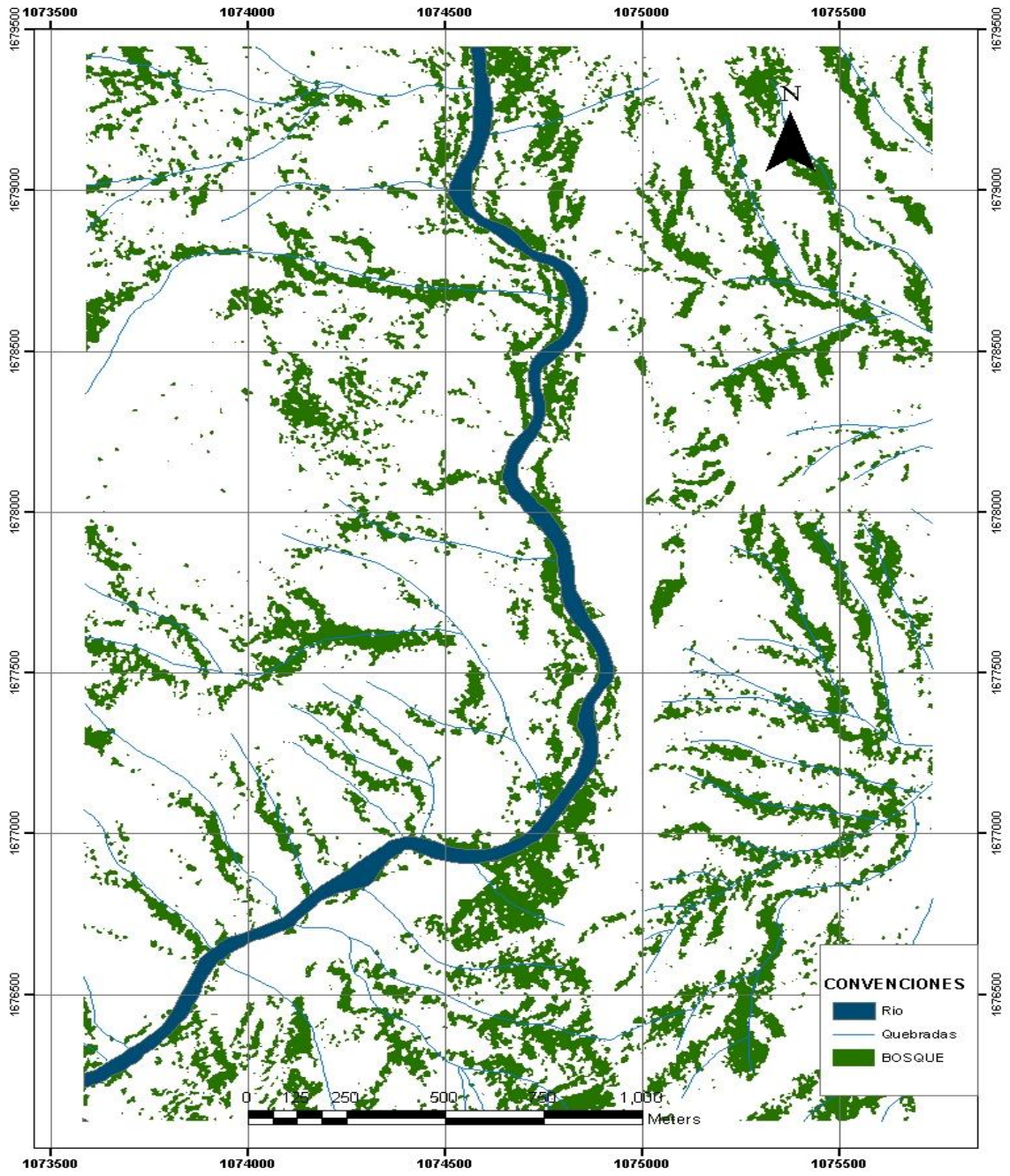


Figura 16: Mapa de bosques

9.1.2 Rastrojos

Las áreas con arbustales o herbazales leñosos que se registran espectralmente con más actividad clorofílica que el pasto pero menos que los bosques se clasificaron como rastrojo. En la zona de estudio la mayor parte de la vegetación son rastrojos, ocupa alrededor de un 44.2% del área, es decir 317 hectáreas.

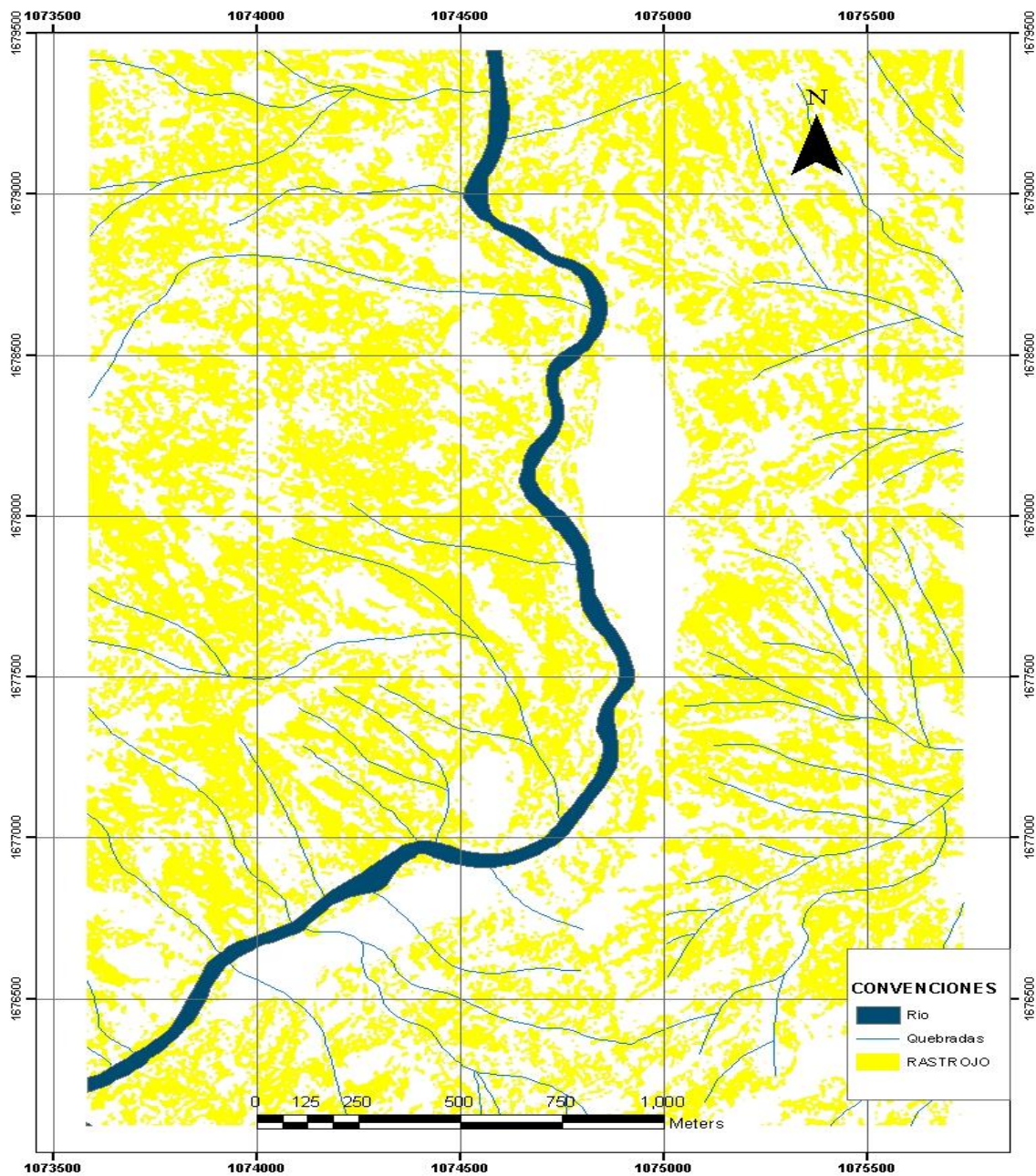


Figura 17: Mapa de rastrojos

9.1.3 Pastos

Las marcas espectrales para los polígonos de pastos, herbazales o terrenos en descanso empleados normalmente en ganadería extensiva, es importante resaltar que dentro de esta unidad se incluyen algunos tipos de matorrales y como se dijo anteriormente también se incluyen los cultivos de caña de la zona. Los pastos ocupan el 21.8% del área total, es decir 156.38 hectáreas.

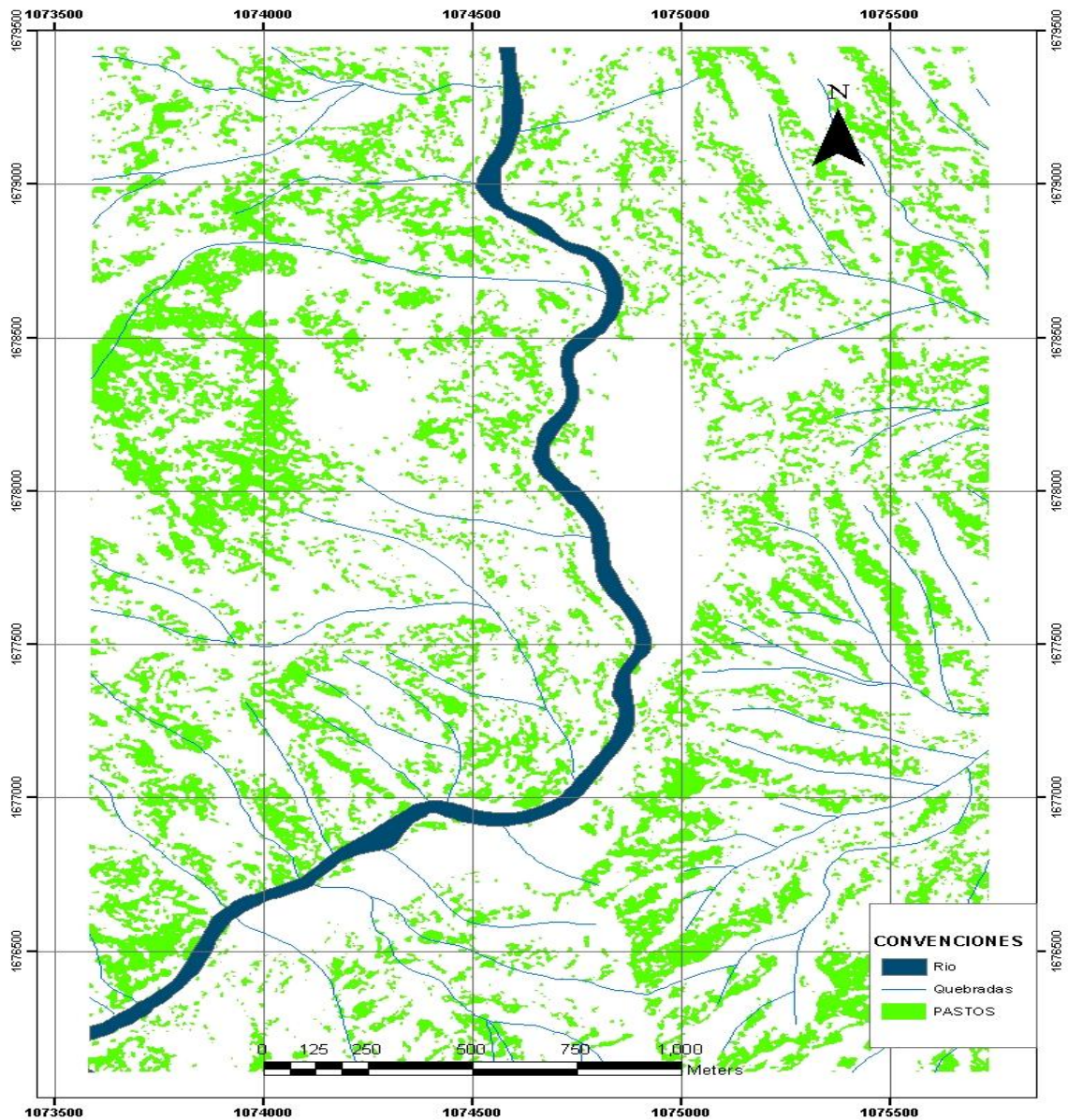


Figura 18: Mapa de pastos

9.1.4 Suelos desnudos

Esta unidad constituye los suelos desnudos que por alguna razón estaban en esta condición al momento de la toma de la imagen, bien sea por preparación o por fenómenos de erosión laminar o en masa que dejaron la superficie libre de vegetación y no se registra actividad clorofílica, es una superficie que incide notablemente en la estabilidad de las áreas donde están estos suelos. El porcentaje del área que representa este tipo de cobertura es de 9.6%, es decir 68.78 hectáreas.

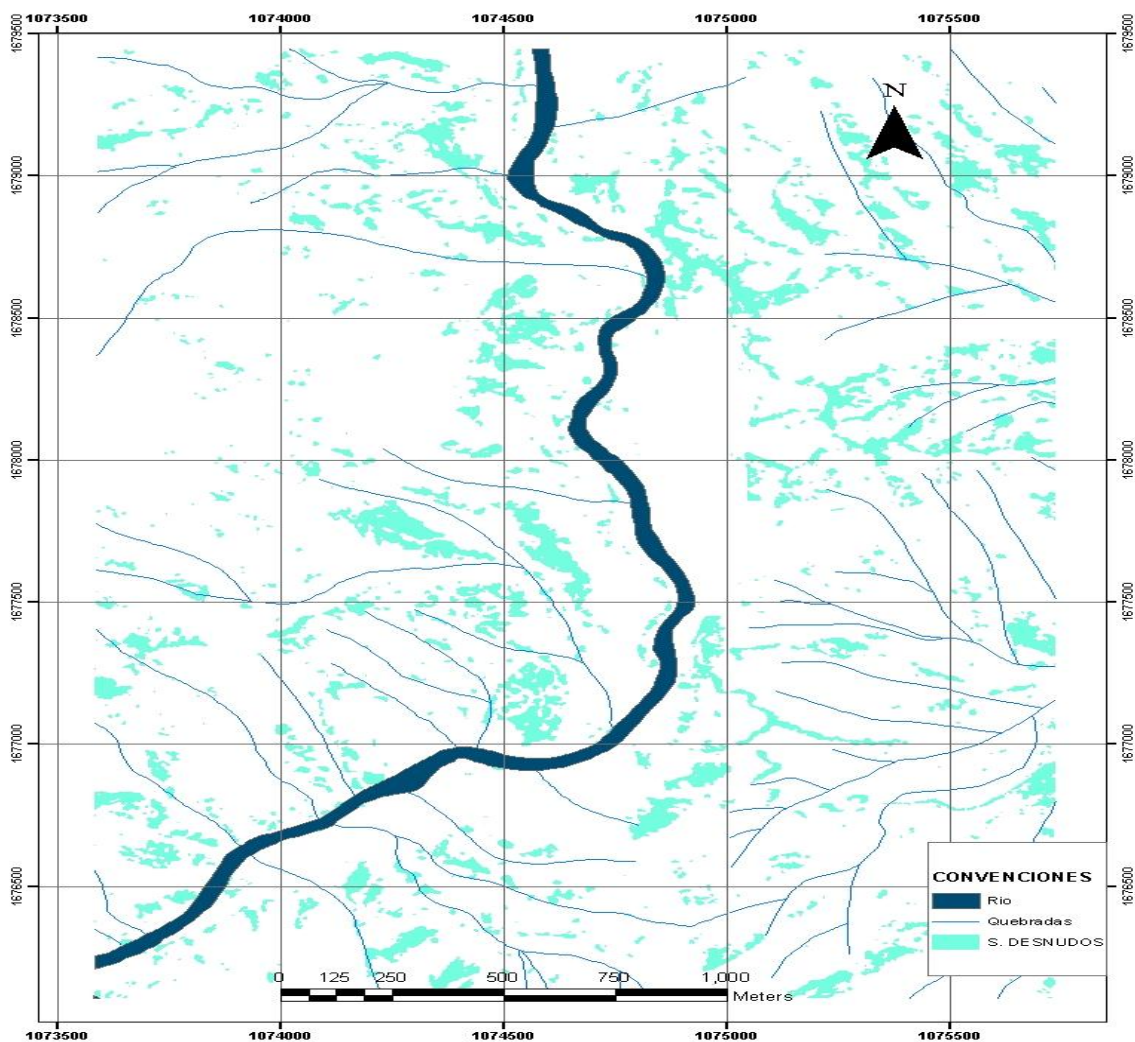


Figura 19: Mapa de suelos desnudos

9.1.5 Urbano

Esta unidad corresponde al área limitada por el perímetro urbano que se conforma por los corregimientos de Chemesquemena y Guatapurí. Este tipo de cobertura es menos susceptible que los pastos y suelos desnudos a los deslizamientos. El porcentaje del área que representa este tipo de cobertura es de 4.63%, es decir 33.2 hectáreas.

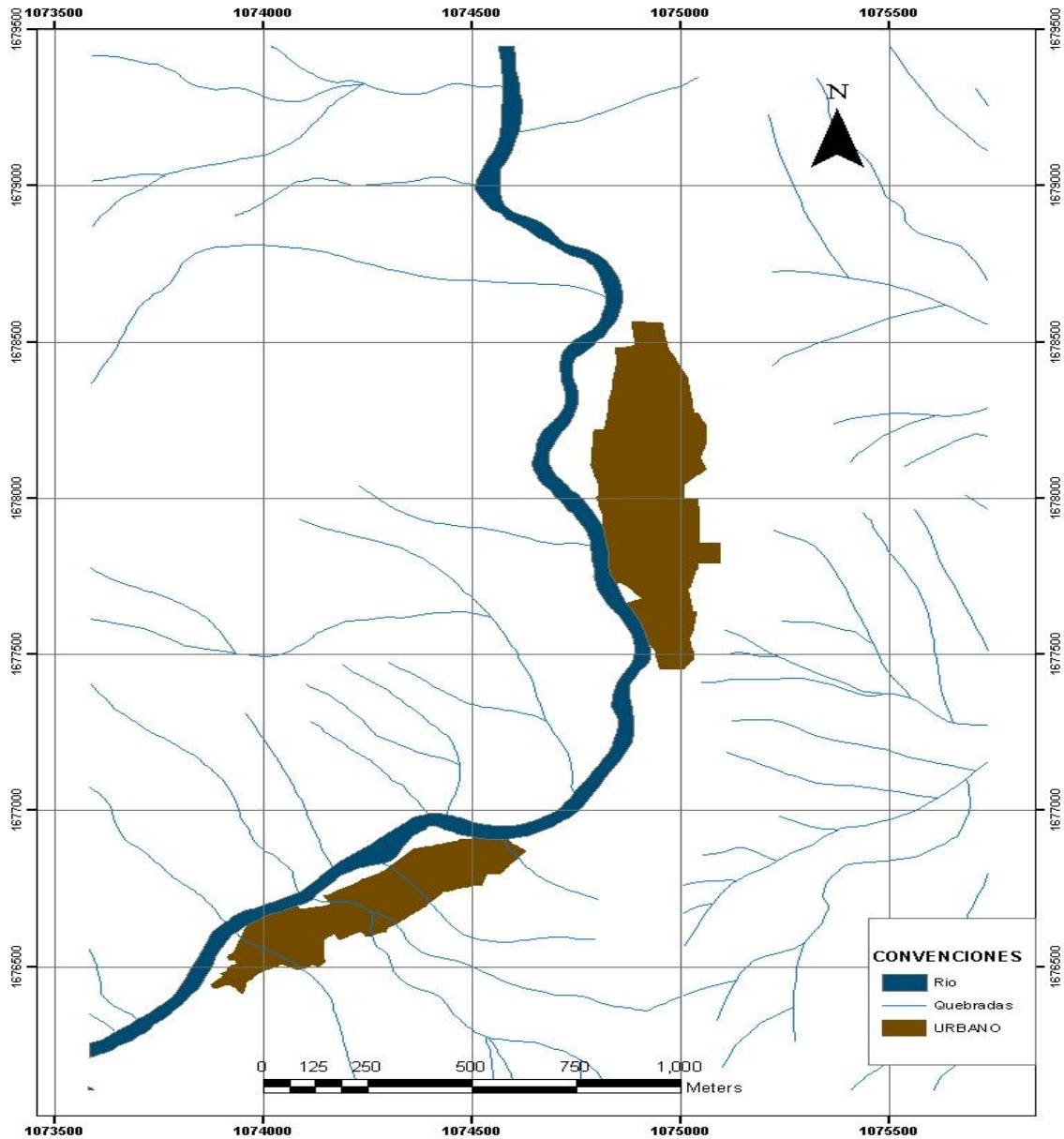


Figura 20: Mapa urbano

9.2 MAPA DE COBERTURA SUELO

Después de definir las diferentes clases de vegetación que se encontraron en la zona y que fueron trabajadas en el proyecto, se obtiene de la unión de las áreas de cada cobertura el mapa definitivo de uso de suelo y vegetación. Como se ve a continuación la mayor parte del área de estudio está cubierta por rastrojos, seguidos de pastos, bosques suelos desnudos y áreas urbanas.

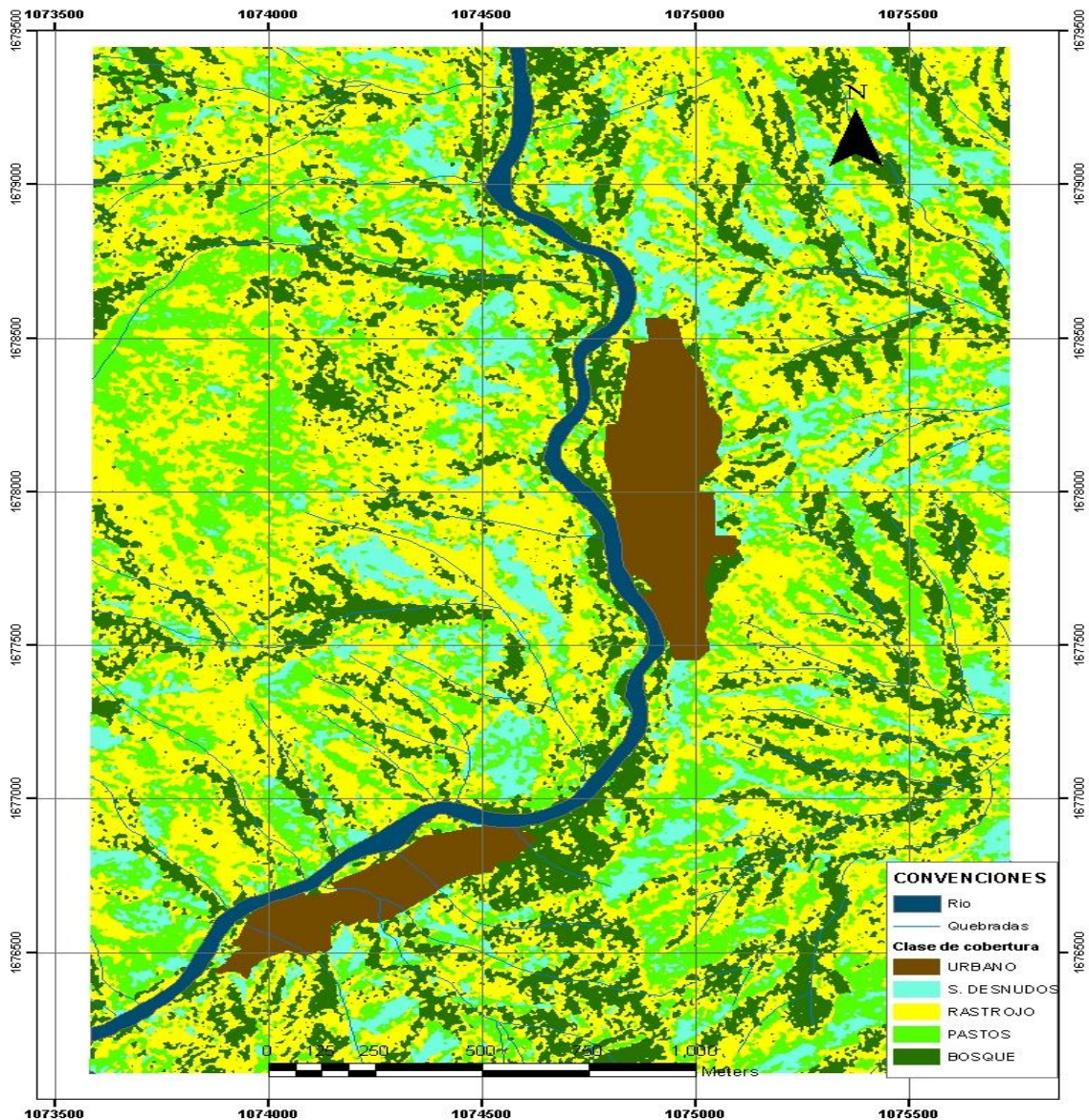


Figura 21: Mapa de cobertura vegetal

10 GEOTECNIA

Como se sabe, el estudio de los suelos es un parámetro importante para determinar los niveles de amenaza por deslizamientos de toda la zona. En este capítulo se analizarán los suelos del área, sus características, su comportamiento, clasificación según USCS y AASHTO, y sus propiedades.

10.1 TOMA DE MUESTRAS

Este paso es muy importante para todo el estudio que se está realizando debido a que si no se toman las muestras de puntos necesarios y de interés, o no se hace un proceso adecuado de extracción, el estudio puede variar completamente en referencia a la realidad, arrojando así resultados inciertos y erróneos.

Para definir los puntos de toma de muestras se determinó como base aquellos en donde han ocurrido la mayor cantidad de movimientos en remoción en masa en la zona.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el área de estudio se extrajeron cuatro muestras en los puntos que históricamente han sido susceptibles a deslizamientos.

La primera muestra pertenece a la zona del corregimiento de Guatapurí, se encuentra en la parte derecha viniendo por la vía de Valledupar. Este punto se escogió teniendo en cuenta que se conforma por barrancos con procesos erosivos severos y con alto grado de meteorización.



Foto 23: Zona de extracción de la muestra 1

La muestra dos pertenece al punto llamado la “Y”, que es donde se divide la vía para tomar camino hacia Chemesquemena y hacia Guatapurí. En este punto se han presentado leves movimientos de tierra ocasionados en gran parte por la construcción del camino que desestabilizó las laderas.



Foto 24: Zona de extracción de la muestra 2

La tercera muestra se tomó de un área a la que se le llama san José, en esta parte ocurrió recientemente un deslizamiento se puede decir de gran envergadura que taponó el cauce del río Guatapurí y ocasionó varios problemas a la comunidad.



Foto 25: Zona de extracción de la muestra 3

La muestra cuatro fue tomada en el corregimiento de Chemesquemena en donde ocurrió recientemente el deslizamiento más grande en los últimos años en la zona.



Foto 26: Zona de extracción de la muestra 4

10.2 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

En el proceso de extracción de muestras se lleva a cabo varios pasos en procura de que éstas conserven su condición natural para poder realizar exitosamente los respectivos ensayos de suelo. Estos pasos se resumen así:

- Retiro de la materia orgánica presente en el punto de extracción
- Excavación de aproximadamente un metro y medio para obtener una muestra de suelo sin raíces vegetales ni nada de materia orgánica.

- Dar forma al cubo que se va a tomar como muestra, aproximadamente un cubo con medidas de 30 cms X 30 cms X 30 cms
- Envolvimiento de la muestra en papel película.
- Parafinar totalmente la muestra para que ésta conserve su humedad natural.
- Depositación de la muestra en una caja que la proteja totalmente.
- .Esparcimiento de aserrín en las paredes de la caja para evitar golpes fuertes y daños en las muestras.
- Marcado de la caja con el nombre del punto de extracción.

A continuación se ilustra cómo fue la toma de muestras en la zona de la parte media de la cuenca hidrográfica del Rio Guatapuri.



Foto 27: Retiro de la materia orgánica presente en el punto de extracción



Foto 28: Excavación



Foto 29: Dar forma al cubo que se va a tomar como muestra



Foto 30: Envolvimiento de la muestra en papel película



Foto 31: Parafinar totalmente la muestra



Foto 32: Deposición de la muestra en una caja



Foto 33: Esparcimiento de aserrín en las paredes de la caja



Foto 34: Marcado de la caja con el nombre del punto de extracción

10.3 ENSAYOS DE SUELOS

Después de la extracción de muestras, se procede a llevarlas al laboratorio para ensayarlas. Para lograr clasificar los suelos es necesario realizar los ensayos de granulometría y Límites de Atterberg, pero también se necesita realizar otras prácticas que muestren con claridad todas las propiedades del material, como lo pueden ser corte directo y gravedad específica.

10.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIOS

Con los resultados de los ensayos de granulometría y límites de Atterberg se tiene suficiente información para realizar la clasificación de los suelo por medio del método del sistema unificado de clasificación y por el método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la descripción de las propiedades de todos éstos.

Muestra: # 1

Método USC

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método USC se obtuvo lo siguiente:

- Con los resultados del ensayo de granulometría se estableció que mas del 50% de la muestra es retenida en el tamiz # 200 por tanto es un suelo grueso.
- Luego, se determinó que es una arena ya que mas de la mitad del suelo grueso está entre la malla #4 y la #200.
- Se determina qué porcentaje de la muestra pasa el tamiz #200, como vemos en la tabla de resultado pasa el 28.4% por tanto pasa más del 12%.,se remite a la carta de plasticidad de Casagrande y con los valores de límite líquido y límite plástico se encontró en qué parte de la gráfica se encuentra este suelo.
- Con los valores de limite liquido y limite plástico e índice de plasticidad de la muestra # 1, se llegó a que el punto representativo del suelo en la gráfica, se encuentra arriba de la línea A y con un índice de plasticidad mayor de 7, por tanto este suelo es una **Arena arcillosa (SC)**, mezcla de arena y arcilla pobremente gradada, con un color amarillento.

Método AASHTO

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método AASHTO se obtuvo lo siguiente:

- Se remite a la tabla de la AASHTO
- De entrada se sabe que es un material granular, ya que menos del 35% de la muestra pasa por el tamiz #200.

Luego, dejándose guiar por la tabla y los resultados del ensayo de granulometría, se observa que la muestra se encuentra en el grupo A2 ya que el porcentaje que pasa el tamiz #200 es menor de 35% pero mayor de 25%.

- Luego se remite a los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenidos en el laboratorio. De acuerdo a los resultados de la muestra #1, se obtiene que es un suelo **A-2-7**, es decir una Arena arcillosa o limosa, ya que el límite líquido es mayor de 41 y el índice de plasticidad es mayor de 11.

Muestra: #2

Método USC

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método USC se obtuvo lo siguiente:

- Con los resultados del ensayo de granulometría se estableció que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz # 200 por tanto es un suelo grueso.
- Luego, se determinó que es una arena ya que más de la mitad del suelo grueso está entre la malla #4 y la #200.
- Se determina qué porcentaje de la muestra pasa el tamiz #200, como vemos en la tabla de resultado pasa el 16.9 % por tanto pasa más del 12%.,se remite a la carta de plasticidad de Casagrande y con los valores de límite líquido y límite plástico se encontró en qué parte de la gráfica se encuentra este suelo.
- Con los valores de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad de la muestra # 2, se llegó a que el punto representativo del suelo en la gráfica, se encuentra arriba de la línea A y con un índice de plasticidad mayor de 7, por tanto este suelo es una **Arena arcillosa (SC)** , mezcla de arena y arcilla pobremente gradada, con un color marrón en un tono no tan oscuro.

Método AASHTO

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método AASHTO se obtuvo lo siguiente:

- Se remite a la tabla de la AASHTO
- De entrada se sabe que es un material granular, ya que menos del 35% de la muestra pasa por el tamiz #200.
- Luego, dejándose guiar por la tabla y los resultados del ensayo de granulometría, se observa que la muestra se encuentra en el grupo A2 ya que el porcentaje que pasa el tamiz #200 es menor de 35% pero mayor de 25%.
- Luego se remite a los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenidos en el laboratorio. De acuerdo a los resultados de la muestra #2, se obtiene que es un suelo **A-2-7**, es decir una Arena arcillosa o limosa , ya que el límite líquido es mayor de 41 y el índice de plasticidad es mayor de 11.

Muestra: # 3

Método USC

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método USC se obtuvo lo siguiente:

- Con los resultados del ensayo de granulometría se estableció que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz # 200 por tanto es un suelo grueso.
- Luego, se determinó que es una arena ya que más de la mitad del suelo grueso está entre la malla #4 y la #200.

- Se determina qué porcentaje de la muestra pasa el tamiz #200, como vemos en la tabla de resultado pasa el 41.2 % por tanto pasa más del 12%, se remite a la carta de plasticidad de Casagrande y con los valores de límite líquido y límite plástico se encontró en qué parte de la gráfica se encuentra este suelo.
- Con los valores de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad de la muestra # 3, se llegó a que el punto representativo del suelo en la gráfica, se encuentra arriba de la línea A y con un índice de plasticidad mayor de 7, por tanto este suelo es una **Arena arcillosa (SC)**, mezcla de arena y arcilla pobremente gradada, con un color café rojizo claro.

Método AASHTO

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método AASHTO se obtuvo lo siguiente:

- Se remite a la tabla de la AASHTO
- De entrada se sabe que es un material limoso-arcilloso, ya que más del 35% de la muestra pasa por el tamiz #200.
- Luego, dejándose guiar por la tabla y los resultados del ensayo de granulometría, se observa que la muestra se encuentra en el grupo A7 ya que el porcentaje que pasa el tamiz #200 es mayor de 36%.
- Luego se remite a los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenidos en el laboratorio. De acuerdo a los resultados de la muestra #3, se obtiene que es un suelo **A-7**, es decir un suelo arcillosa, ya que el límite líquido es mayor de 41 y el índice de plasticidad es mayor de 11.

Muestra: # 4

Método USC

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método USC se obtuvo lo siguiente:

- Con los resultados del ensayo de granulometría se estableció que más del 50% de la muestra es retenida en el tamiz # 200 por tanto es un suelo grueso.
- Luego, se determinó que es una arena ya que más de la mitad del suelo grueso está entre la malla #4 y la #200.
- Se determina qué porcentaje de la muestra pasa el tamiz #200, como vemos en la tabla de resultado pasa el 20.8% por tanto pasa más del 12%., se remite a la carta de plasticidad de Casagrande y con los valores de límite líquido y límite plástico se encontró en qué parte de la gráfica se encuentra este suelo.
- Con los valores de límite líquido y límite plástico e índice de plasticidad de la muestra # 1, se llegó a que el punto representativo del suelo en la gráfica, se encuentra arriba de la línea A y con un índice de plasticidad mayor de 7, por tanto este suelo es una **Arena arcillosa (SC)**, mezcla de arena y arcilla pobremente gradada, con un color café medianamente oscuro.

Método AASHTO

De acuerdo a los pasos que se llevan a cabo para clasificar un suelo por medio del método AASHTO se obtuvo lo siguiente:

- Se remite a la tabla de la AASHTO
- De entrada se sabe que es un material granular, ya que menos del 35% de la muestra pasa por el tamiz #200.
- Luego, dejándose guiar por la tabla y los resultados del ensayo de granulometría, se observa que la muestra se encuentra en el grupo A2 ya que el porcentaje que pasa el tamiz #200 es menor de 35% y el índice de plasticidad es mayor de 6.

- Luego se remite a los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenidos en el laboratorio. De acuerdo a los resultados de la muestra #4, se obtiene que es un suelo **A-2-7**, es decir una Arena arcillosa o limosa, ya que el límite líquido es mayor de 41 y el índice de plasticidad es mayor de 11.

RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

Muestra	%Gravas	%Arenas	%Finos	Clasificación. Según USC	Clasificación según AASHTO
1	0.6	71	28.4	SC	A-2-7
2	1	82.1	16.9	SC	A-2-7
3	0	58.8	41.2	SC	A-7
4	14.5	64.7	20.8	SC	A-2-7

Tabla 10: Clasificación y descripción de los suelos

PROPIEDADES GEOMECHANICAS

Muestra	Ángulo de fricción (ϕ)	Cohesión (gr/cm ²)	Cohesión (Kg/m ²)
1	21	330.74	3307.4
2	18	336.11	3361.1
3	20	282.99	2829.9
4	18	339.58	3395.8

Tabla 11: Propiedades geomecánicas

Como se ve en la tabla, todas las muestras dan como resultado la misma clase de suelo, **(SC)**, es decir **Arena arcillosa**, las principales características de este tipo de suelo son las siguientes:

- Presenta buena manejabilidad.
- Es semipermeable tendiendo a ser impermeable.
- Tiene una resistencia a la tubificación alta.
- Tiene mediana tendiendo a baja susceptibilidad al agrietamiento.
- La resistencia al cortante es alta tendiendo a media

11 EVALUACION DE AMENAZA

La Amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado periodo de tiempo.

Para evaluar la amenaza de un deslizamiento se requiere hacer un estudio de susceptibilidad y también la posibilidad de que ocurra un evento detonante.

Amenaza = Susceptibilidad + Evento detonante

Existen diferentes causas de los movimientos en masa. En la formación y detonación de un movimiento en masa intervienen diferentes factores externos e internos.

Los factores externos que pueden producir un movimiento en masa son:

Cortes del terreno: Son cambios de la morfología del terreno por cortes no tecnificados

Sobrecarga: Obras civiles, tránsito vehicular, descarga de material, entre otros.

Choques y vibraciones: Explosiones a cielo abierto o subterránea por explosivos, impactos de meteoritos.

Cambios en el régimen hidrológico superficial: Desviación de cauces, construcciones inadecuadas de canales de riego, presas o estanques.

Por otra parte los factores internos se relacionan principalmente a las condiciones intrínsecas de los materiales litológicos y los factores geodinámicas producidos al interior de la superficie terrestre, y los principales son:

Características texturales y mineralógicas de los materiales: Las rocas o suelos presentan diferentes grados de estabilidad por estas propiedades, favoreciendo o reduciendo la resistencia al corte.

Grado de alteración y meteorización: Entre más alterado o meteorizado se presente un material litológico, es más susceptible a originar fenómenos de remoción en masa.

Grado de fracturamiento: Entre más fracturado se encuentra un material litológico, es más susceptible a desarrollar movimientos en masa.

Cambios en el nivel freático: Los cambios en el nivel freático produce cambios en las propiedades físicas y químicas en los materiales rocosos, contribuyendo a la formación de movimientos en masa.

Aumento de la presión de poros: Puede producir la saturación del material litológico originando movimientos en masa. Este aumento de la presión de poros puede ser consecuencia de lluvias o incremento del nivel freático.

Como se dijo anteriormente, la amenaza es el resultado de la suma de la susceptibilidad y un factor detonante. Los factores internos mencionados básicamente están ligados con la susceptibilidad del terreno, es decir éstos muestran las condiciones locales del talud o ladera de estudio. En cuanto a los agentes detonantes, los movimientos en masa pueden clasificarse en sismos tectónicos, hidrológicos, meteorológicos y antrópicos.

Movimientos en masa de origen sismo tectónicos: La ocurrencia de un sismo asociado a una falla geológica, puede generar un gran número de movimientos en masa.

Movimientos en masa de origen hidrológico: Cuando el agente detonante es un agente de agua superficial o subterránea.

Movimientos en masa de origen meteorológico: Son los debidos a altas precipitaciones y presencia de vientos huracanados.

Movimientos en masa de origen antrópicos: Son los generados o inducidos por actividades antrópicas. Por ejemplo por la construcción de vías y urbanizaciones, desarrollo de actividades agrícolas y pecuarias, entre otras actividades.

Para efecto de este estudio se va a tener en cuenta como agentes detonantes la hidrología, y la meteorología ya que en la zona de estudio el nivel de amenaza sísmica es bajo por lo tanto no es un agente de importancia en los movimientos en masa.

11.1 FACTORES DETONANTES QUE INTERVIENEN EN LA AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS EN LA ZONA

11.1.1 Hidrometeorología

En el estudio hidrometeorológico se elaboran mapas de clima y zonas de vida, y se identifica la red hidrográfica con sus cuencas y micros cuencas para determinar, con base en datos de precipitación, las isoyetas medias mensuales, anuales y las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) que definen las lluvias torrenciales o aguaceros fuertes. Toda esta información se utiliza para el cálculo de las lluvias detonantes de los fenómenos de remoción en masa en las cuencas y de los caudales y áreas inundables por las avenidas torrenciales a su paso por las zonas urbanas.

11.1.2 Lluvias

La mayor parte de los deslizamientos que se originan en laderas de zonas montañosas ocurren después de intensas lluvias, lo que hace necesario, para cualquier estudio de amenazas, conocer la cantidad de lluvia necesaria para detonarlos, a la que se suele llamar *lluvia crítica*.

Durante el procesamiento de la información se elaboran histogramas de precipitación anual, mensual y diaria, con los cuales se observa la variación de la precipitación en el tiempo.

La elaboración de la gráfica de lluvias máximas acumuladas y su promedio para diferentes duraciones, junto con la precipitación diaria acumulada que antecede al evento, permiten observar la magnitud de la precipitación que pudo producir el movimiento de masa.

11.2 IDENTIFICACION DE PARAMETROS EN EL ANALISIS DE LA AMENAZA

Las variables a estudiar deben ser aquellas que intervengan en la zonificación de la amenaza. El estudio de las variables debe ser objetivo, no solamente es importante involucrar un mapa temático representativo de una variable, sino evaluar el enfoque y orientación con que fue realizado.

A lo largo del libro se ha hablado sobre los diferentes parámetros involucrados en la ocurrencia de deslizamientos. En este capítulo se pretende reforzar la importancia de cada uno de éstos y analizar cada aspecto intrínseco de todas las variables de estudio.

Para un estudio de zonificación de la amenaza por movimientos en masa se deben tener en cuenta lo siguiente:

Climatología e Hidrología

- Precipitación
- Temperatura
- Inventario de datos

Geología

- Estratigrafía
- Litología
- Evolución geológica
- Geología estructural
- Descripción del macizo rocoso

- Clasificación del macizo rocoso

Geomorfología

- Morfología
- Morfometría
- Morfodinámica

Cobertura vegetal

- Vegetación

Geotecnia

- Extracción de muestras de suelo
- Ensayos de laboratorios
- Análisis de resultados
- Clasificación de suelos

Topografía

Sismología

- Inventario de eventos sísmicos
- Recurrencia de magnitudes
- Fuentes sismogénicas

El estudio en general de amenaza por fenómenos de remoción en masa implica el análisis de los parámetros mencionados anteriormente, pero es importante destacar que dependiendo del tamaño del área de estudio se omiten o se implementan algunas variables. La región de estudio tiene aproximadamente una superficie de 300 hectáreas, por lo tanto, la sismología, climatología e hidrología es uniforme para toda la zona así que no inciden directamente en el mapa final de amenaza, es decir tomaría más relevancia otros criterios como lo pueden ser la geología, la topografía, geotecnia, entre otros.

Es de suma importancia tener claro que según el alcance y la escala de trabajo, las variables geoambientales por considerar en el estudio de amenaza varían, por lo cual se han de utilizar únicamente aquellos mapas que se juzguen importantes para el estudio.

A continuación se pretende dejar claramente expresada la importancia de los aspectos de estudio en los deslizamientos y describir la metodología que se lleva a cabo para obtener un análisis completo y bien fundamentado de éstos.

11.2.1 Climatología e Hidrología

El objeto de este estudio es la caracterización climática, mediante el análisis y procesamiento de los elementos climáticos (temperatura, precipitación, entre otros) existente en la región de estudio. Se deben analizar las lluvias, la evapotranspiración y los mapas de niveles freáticos.

11.2.2 Geología

El objeto de este estudio es evaluar la información geológica disponible o levantada para la caracterización de las unidades litológicas respecto a su resistencia o favorecimiento a los procesos de erosión y remoción en masa. De otra parte, se caracteriza el ambiente regional, identificando y caracterizando las diferentes estructuras geológicas.

Lo primero que se hace en el estudio de la geología es evaluar y analizar la información geológica disponible como mapas, informes, y perforaciones; luego se realiza la fotointerpretación y se continúa con la salida de campo para definir los contactos litológicos y fallas geológicas.

Se llega a la obtención de un mapa geológico y se realiza una evaluación y zonificación con base en las propiedades genéticas (composición, textura, dureza, etc.) de los materiales.

11.2.3 Geomorfología

El objeto de este estudio es caracterizar la génesis de las geoformas, identificar y caracterizar los procesos de erosión y remoción en masa y cuantificar la morfometría de las geoformas del terreno para la evaluación de procesos morfodinámicos. Dicho en otras palabras, en esta fase del análisis se cuantifican las pendientes, altitud relativa, orientación de las pendientes y otros, y se clasifican las formas del terreno de acuerdo con su origen para predecir la estabilidad y comportamiento frente a los procesos erosivos.

En la geomorfología se destacan tres ramas importantes: Morfometría, morfología y morfodinámica.

La morfometría cuantifica o mide las formas del terreno. Se llega a la determinación eficaz de ésta a través de un modelo digital del terreno basado en fotografías aéreas o imágenes de satélite. Realizado el modelo digital del terreno se procede a la elaboración de mapas morfométricos.

La morfología identifica y zonifica las formas del terreno. Para obtener la morfología se recopila la información existente, se analiza la información geológica, estructural y morfometría, se definen los posibles tipos de ambientes morfogenéticos existentes en la región de estudio. Luego se realiza la interpretación de fotografías aéreas o interpretación de imágenes de satélites. Finalmente se elabora el mapa morfológico apoyándose en los resultados de la interpretación estereoscópica de las fotografías aéreas. En la foto siguiente se muestra la morfología en parte de la zona de estudio.



Fot

o 35: Morfología de escarpes y laderas bastante inclinadas con procesos erosivos activos

La morfodinámica identifica, clasifica, caracteriza y zonifica los diferentes procesos erosivos pasados y recientes. Para obtener la morfodinámica de la zona se recopila y analiza la información ya existente, la interpretación de movimientos en masa puede realizarse por fotointerpretación o procesamiento digital de imágenes de satélites, luego se verifica la identificación y clasificación de los movimientos de masa en la visita de campo. Finalmente se llega a la elaboración del mapa morfodinámico. En las fotos a continuación se muestran diferentes procesos erosivos presentes en la zona.



o 36: Erosión laminar representada en calvas erosivas

Fot



o 37: Erosión en surcos.

Fot



o 38: Erosión en cárcavas

Fot

11.2.4 Cobertura vegetal

El objetivo del mapa de vegetación o de la cobertura vegetal, es definir las áreas cubiertas por bosques primarios o secundarios, rastrojos, cultivos etc. Es importante definir no solamente el tipo de vegetación, sino su densidad y características específicas. Adicionalmente, deben incluirse las áreas expuestas o desprovistas de vegetación. También es importante identificar, caracterizar y cartografiar los diferentes tipos de coberturas de suelo hacia la evaluación de procesos morfodinámicos. En la parte media de la cuenca básicamente se encontró como tipos de cobertura vegetal los bosques, rastrojos, cultivos y pastos.

Para llegar al producto final en esta etapa, es decir el mapa de cobertura vegetal hay que recorrer varias fases, iniciando con la recopilación de la información

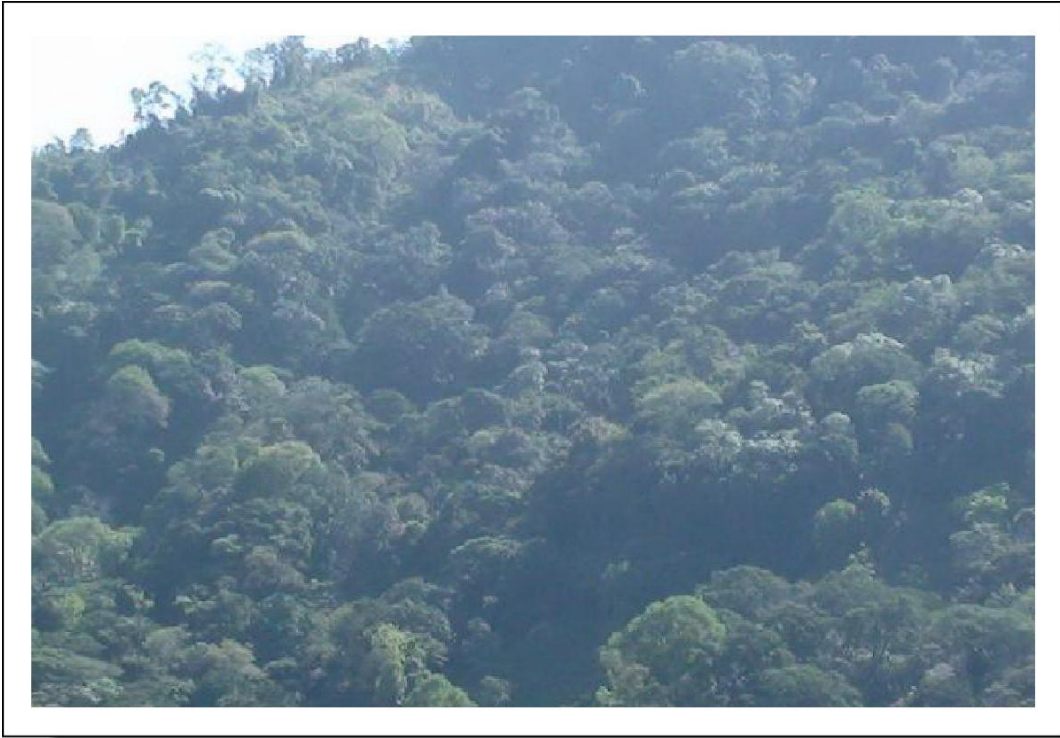
existente, se procede a realizar la interpretación de fotografías aéreas recientes adquiridas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, se organiza la salida de campo para verificar la información de las fotografías aéreas y finalmente se elabora el mapa de cobertura del suelo.

En las fotos siguientes se puede ver los distintos tipos de vegetación que se encuentran en el área de interés.



o 39: Pastos

Fot



o 40: Bosques

Fot



o 41: Rastrojos

Fot



o 42: Cultivos de caña de azúcar

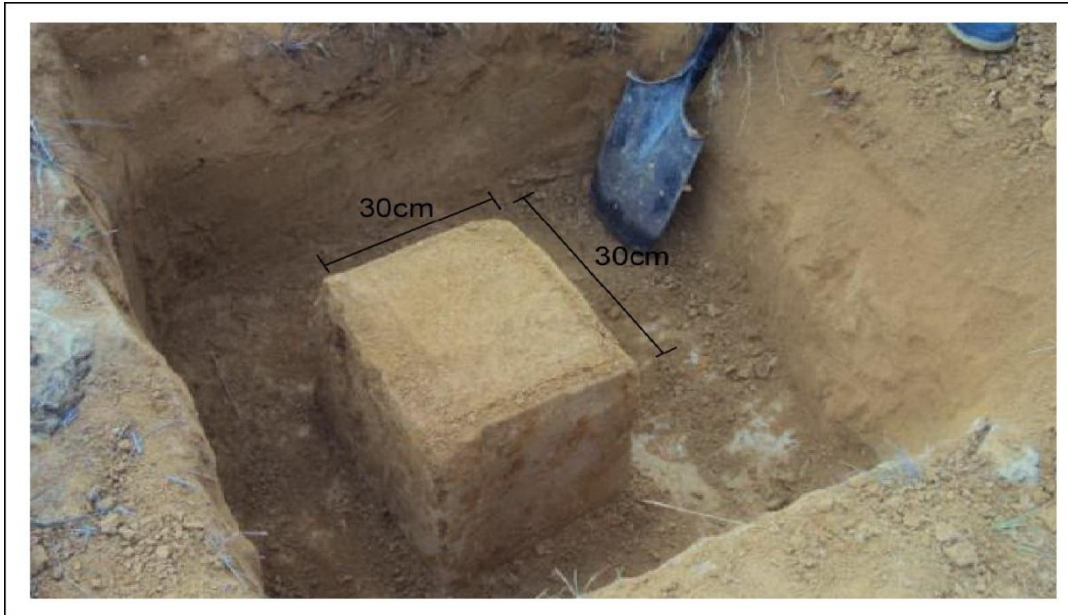
Fot

11.2.5 Geotecnia

Este estudio tiene como finalidad la caracterización geomecánica de los suelos y rocas para la evaluación de la estabilidad de los taludes y la determinación del factor de seguridad. Se centra como objetivo necesario también la clasificación adecuada de los suelos para así determinar las zonas más susceptibles a deslizamientos.

Se llevan a cabo las fases metodológicas para llegar al objetivo, primero se recopila la información geotécnica proveniente de estudios anteriores, ensayos de laboratorio, mapas etc. Luego se procede a establecer diferentes puntos claves para la extracción de las muestras de suelo, se toman las muestras y se pasan a los laboratorios en donde se realizan los ensayos de suelos como granulometría, humedad, límites de Atterberg, corte directo, consolidación entre otros.

Una vez se obtengan los resultados de los ensayos de laboratorio, se modela el terreno en zonas geotécnicamente homogéneas.



o 43: Muestra de suelo tomada en ladera del área

Fot

11.2.6 Topografía

El estudio de la topografía del terreno es de mucho valor para la determinación de zonas de amenaza a deslizamientos, ya que muchas veces prima este aspecto ante otros como lo son la cobertura vegetal o la geotecnia. En esta fase básicamente lo que se pretende es tener un modelo digital del terreno que muestre claramente las pendientes, las direcciones de pendientes, longitudes de pendientes y la forma exacta del relieve.

Para realizar el estudio topográfico es obligatorio la realización de la salida de campo que entrega datos para procesar en oficina, y así obtener planos que contengan curvas de nivel que puedan ser procesados por SIG para la elaboración de modelos digitales del terreno.

11.2.7 Sismología

Se debe identificar la cercanía a las fallas geológicas, volcanes y otras fuentes de energía sísmica y realizar un análisis de la sismicidad histórica para definir la intensidad de los fenómenos sísmicos que puedan activar los deslizamientos.

Como se mencionó anteriormente, Ingeominas cataloga la zona de la cuenca hidrográfica del río Guatapurí como una zona de baja amenaza sísmica basada en estudios realizados como lo es “EVALUACION TETONICA Y SISMOLÓGICA Y DESPLIEGUE DE LA RED SISMOLÓGICA PORTATIL EN EL AREA DEL PROYECTO MULTIPROPÓSITO LOS BESOTES”.

La red fue instalada a finales del 2005 y permaneció hasta mediados de abril del 2006 para un total de de 140 días de registro sísmológico.

Se registraron 6.720 señales sísmicas, que fueron almacenadas y depuradas, obteniéndose para el área de interés, enmarcada entre los 10° y 11° de Latitud Norte y 73° y 74° de Longitud Oeste, un total 137 eventos sísmicos que fueron procesados con el paquete sísmológico SEISAN, utilizando el programa de localización HYPOCENTER.

La información obtenida muestra que en la zona existe una sismicidad, de baja magnitud, que debe tenerse muy presente para el emplazamiento de obras de infraestructura y la planificación territorial. La distribución de los epicentros de los sismos registrados no muestra una relación clara con las fallas y lineamientos geológicos presentes en superficie. La mayoría de los sismos registrados tuvieron

magnitudes entre 1.1 y 2.0 distribuidos irregularmente en la región, el registro de profundidades del hipocentro es variable entre 0 y 120 kilómetros.

11.3 PONDERACION DE LOS PARAMETROS

En la elaboración de mapas de amenaza por cualquier fenómeno natural, en este caso deslizamientos, es claro que hay que definir las variables que intervienen directamente en la ocurrencia de éstos y realizar un estudio exhaustivo de cada una de ellas.

Del análisis metodológico de las variables ambientales presentado anteriormente, se aprecia la complejidad de los estudios y la gran variedad de temas, y disciplinas que involucra una zonificación de la amenaza por movimientos en masa. Sin embargo no toda esta información tiene la misma relevancia o importancia ya que esto depende de la extensión del área de estudio y de las características propias de la zona.

Por lo dicho en el párrafo anterior, se hace imprescindible darle peso o valores a las variables y analizarlas, de tal forma que se llegue a la ponderación de todos estos parámetros.

Existen varios métodos para analizar las variables. Un método es un conjunto de procedimientos y de medios que permiten llegar a un resultado. El método debe presentar una disposición ordenada y lógica, para poder ser desarrollado por otra persona, bajo las mismas condiciones y llegar al mismo resultado.

11.3.1 Métodos empíricos

Los métodos empíricos son de tipo subjetivo y están basados en opiniones de expertos. La evaluación por expertos es tal vez, el método de mapeo más

utilizado. Este se fundamenta en la experiencia de un profesional quien define las reglas y criterios de estabilidad y evolución de los movimientos.

El alcance de la utilización de este método depende fundamentalmente de la capacidad y experiencia técnica del evaluador o evaluadores, del conocimiento científico del terreno y de la información técnica disponible.

La opinión de expertos es una técnica que presenta incertidumbre, pues la opinión de cada especialista varía de acuerdo a la capacidad y experiencia técnica, del entendimiento del fenómeno, las habilidades y conocimientos de la zona. Para el desarrollo adecuado de este método se requiere de profesionales con conocimiento muy completo y específico de las causas y factores que producen la inestabilidad en el área de estudio y del conocimiento previo de cómo han ocurrido los deslizamientos históricos en la zona.

En la zona que se está analizando se descarta este método ya que hace más de dos décadas no se realiza un estudio similar al actual y el alcance de éste era menor, y con herramientas más limitadas de trabajo. Por lo anterior, se cometería un error al definir los pesos o valores de los parámetros por medio de profesionales que no tienen un conocimiento profundo de las características de la zona.

11.3.2 Métodos determinísticos

Están basados en modelos o reglas físicas de conservación de masas de energía o de momento de una fuerza, y por sus características morfométricas, hidrodinámicas y estructurales. En los métodos determinísticos el grado de amenaza se expresa con el factor de seguridad de la ladera. Se elaboran los modelos de análisis de estabilidad de taludes con base a la información obtenida y se calculan los factores de seguridad para el deslizamiento.

Estos modelos requieren información específica sobre la estratificación, estructura, propiedades de resistencia de los materiales y modelos de simulación de niveles freáticos de acuerdo con los periodos de retorno.

El objetivo de estos métodos es crear un mapa cuantitativo de amenaza de acuerdo con los factores de seguridad.

Los métodos determinísticos presentan varias debilidades entre las cuales se encuentran la precisión que requieren de los parámetros de entrada, modelos predictivos difíciles de evaluar, además que los modelos complejos son difíciles de evaluar a escalas pequeñas.

Por lo mencionado anteriormente, se optó por no utilizar métodos determinísticos para el análisis de los parámetros que intervienen en los deslizamientos.

11.3.3 Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos son métodos matemáticos indirectos que permiten evaluar un gran número de variables y parámetros de terreno con la ayuda de un SIG. Estos métodos generalmente, se refieren al cálculo de la densidad en los deslizamientos, para cada unidad geomorfológicamente homogénea o para determinados rangos de factores determinantes de la estabilidad. La densidad de los deslizamientos se toma típicamente, como el porcentaje del área que es ocupada por éstos.

El método estadístico superpone mapas de parámetros y mapas de unidades homogéneas al mapa de inventario de deslizamientos y calcula densidades del deslizamiento..

El mapa de distribución de deslizamientos se combina con los diversos parámetros dentro de una grilla o matriz, la cual se analiza mediante el análisis de regresión múltiple o discriminante.

Los modelos estadísticos se basan en la suposición, que un área donde han ocurrido deslizamientos, posee un ambiente susceptible para la ocurrencia de nuevos deslizamientos de forma similar a los deslizamientos históricos.

Los valores de pesos de cada factor pueden basarse en la experiencia del profesional especializado, o en el análisis estadístico independiente para cada factor utilizando el inventario de deslizamientos.

En resumen, en estos métodos lo que se hace es combinar los mapas de parámetros seleccionados, con el mapa de deslizamientos, utilizando el sistema de cruce de mapas para producir las tabulaciones de cruce que definen las correlaciones espaciales entre los mapas de parámetros y el mapa de deslizamientos y separar los grupos de unidades estables o inestables.

Se puede concluir que estos modelos no son los apropiados para el análisis y ponderación de parámetros en este caso, ya que no se tiene un inventario de los deslizamientos que han ocurrido en la zona, simplemente se tiene información de movimientos de masa que han sido vistos o detectados por habitantes de la región, lo cual constituye un gran impedimento para el buen desarrollo de los modelos estadísticos.

11.3.4 Métodos heurísticos

Los métodos heurísticos son de tipo subjetivo y se fundamentan en conocimiento del terreno, la compilación y evaluación de información secundaria y levantamiento del terreno.

El método de evaluación de las variables para la zonificación de la susceptibilidad se basa en el establecimiento de modelos condicionales o la calificación subjetiva de las variables y unidades cartográficas de parámetro (UCP).

Los modelos condicionantes se apoyan en el uso de Sistemas de Información Geográfica SIG de tipo manual o digital estableciendo condiciones como lo son mapas de geología, pendientes, procesos erosivos etc.

La precisión de los resultados en la calificación del peso de las variables depende de varios factores:

- Características del terreno
- Conocimiento biofísico del terreno
- El nivel y escala de estudio
- La experiencia de los especialistas participantes

Este método puede aplicarse en todos los niveles y escalas de estudio, aunque es mayormente útil en estudios a escalas pequeñas y medias.

Teniendo claro como es el desarrollo de cada modelo, se llega a la conclusión que el más apropiado de acuerdo a la escala de estudio, características del terreno, disposición de personal profesional, condiciones de la zona, material e información del área , entre otros, es el método heurístico, ya que éste garantiza que con la realización de mapas geológicos, topográficos, de cobertura vegetal, geotécnico, y geomorfológicos de la zona y con las respectivas visitas de campo, se puede obtener una ponderación de variables que verificándolas con lo visto y

estudiado en campo, ejecutando un proceso de prueba y error, arroja resultados muy aceptables y coherentes con la realidad.

11.4 NIVELES DE AMENAZA

No existe un estándar internacional para la calificación de la amenaza. Los términos utilizados incluyen desde la amenaza muy baja a la amenaza muy alta.

Entre más categorías se utilicen, el mapa es más difícil de interpretar. Se recomienda, por su utilidad práctica, la utilización de tres escalas de clasificación. Sin embargo, la zonificación no debería ser subjetiva sino que debería representar un margen de probabilidad.

Para efectos de realización e interpretación se decidió clasificar el nivel de amenaza en cinco (5) categorías:

- Nivel de amenaza muy alta
- Nivel de amenaza alta
- Nivel de amenaza media
- Nivel de amenaza medio bajo
- Nivel de amenaza baja

11.5 ELABORACION MAPA DE AMENAZA

Para el proceso del desarrollo del mapa de amenaza se realiza una serie de pasos que permiten hacer la elaboración de este.

El primer paso que llevo estudio fue la decisión y ponderación de cada parámetro que contiene cada mapa; para no caer en errores y asegurarse que la clasificación va tener la misma metodología se tomo como el valor de calificación el siguiente; diez (10) para el mejor comportamiento o menor grado de susceptibilidad a deslizamiento y cero (0) la peor calificación y el más propenso a deslizarse.

El paso a seguir es la asignación de pesos por mapa, cada uno de los 5 mapas que interactúan entre si y se evalúan por medio de parámetros propios que se desarrollaron bajo la supervisión de expertos en el tema que colaboraron en la ponderación de la susceptibilidad que tiene cada uno de ellos a eventuales deslizamientos. Los mapas que debe contener el proceso de análisis de la amenaza son los siguientes:

- Mapa de cobertura y uso del suelo
- Mapa de pendientes
- Mapa geológico
- Mapa geomorfológico
- Mapa de corredores de fallas sísmicas

11.5.1 Mapa de cobertura y uso del suelo

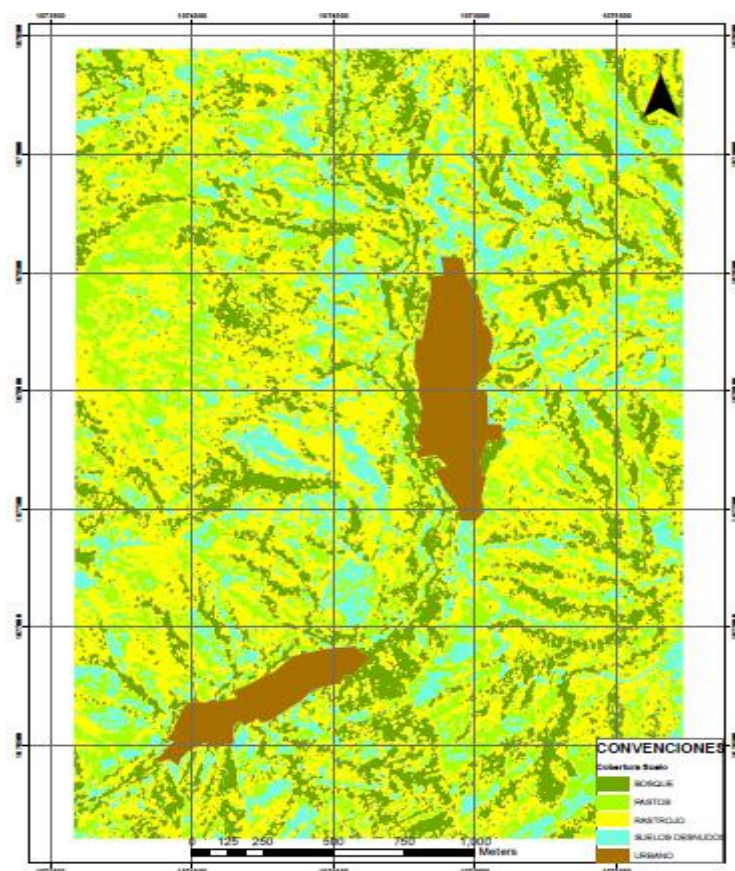


Figura 22: Mapa de cobertura vegetal

11.5.1.1 Parámetros y pesos evaluados

- Pastos 3
- Rastrojos 6
- Bosques 9
- Suelos desnudos 1
- Urbano 8

11.5.2 Mapa de pendientes

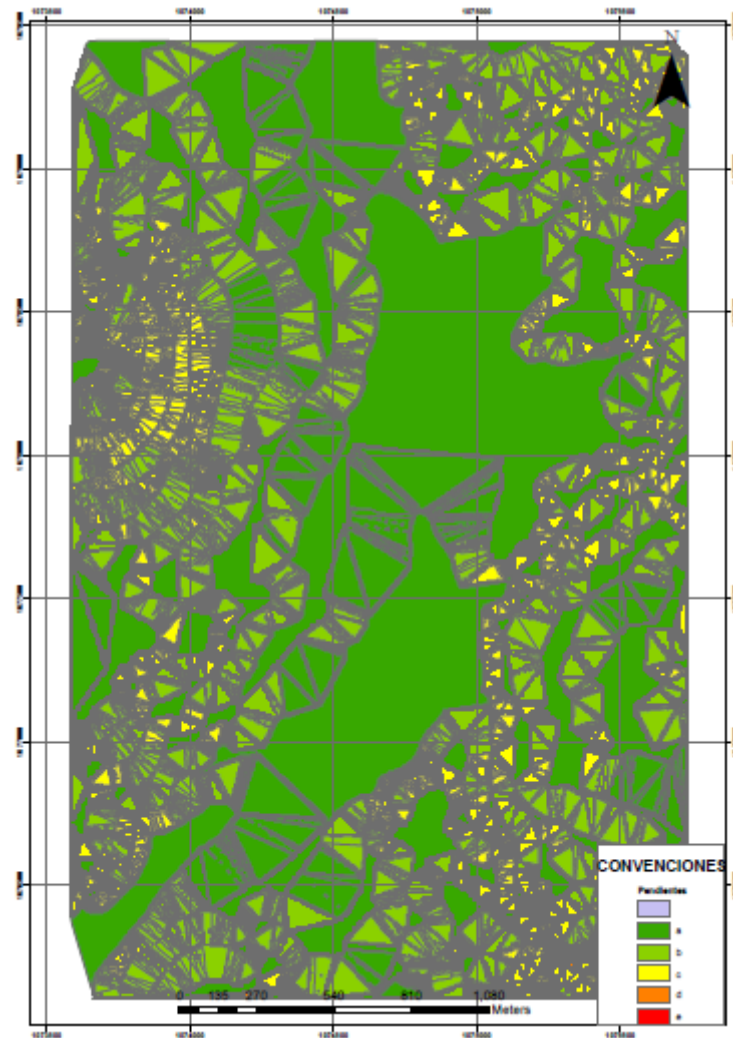


Figura 23: Mapa de pendientes

11.5.2.1 Parámetros y pesos evaluados

Rangos:

- **A** de 0% a 32% **10**
- **B** de 33% a 63% **9**
- **C** de 64% a 144% **6**
- **D** de 145% a 297% **4**
- **E** de 298% a 470% **1**

11.5.3 Mapa geológico

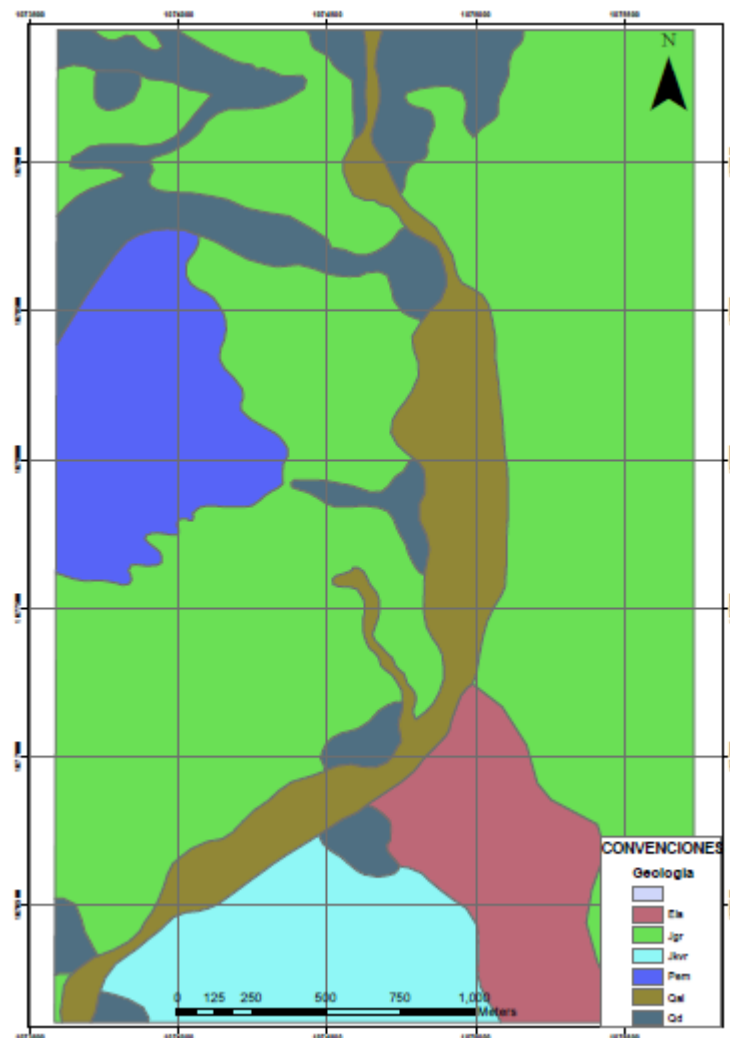


Figura 24: Mapa geológico

11.5.3.1 Parámetros y pesos evaluados

- Qd 1
- Jgr 4
- Rem 10
- Egl 6
- Qat 2
- Jkvr 4

11.5.4 Mapa geomorfológico

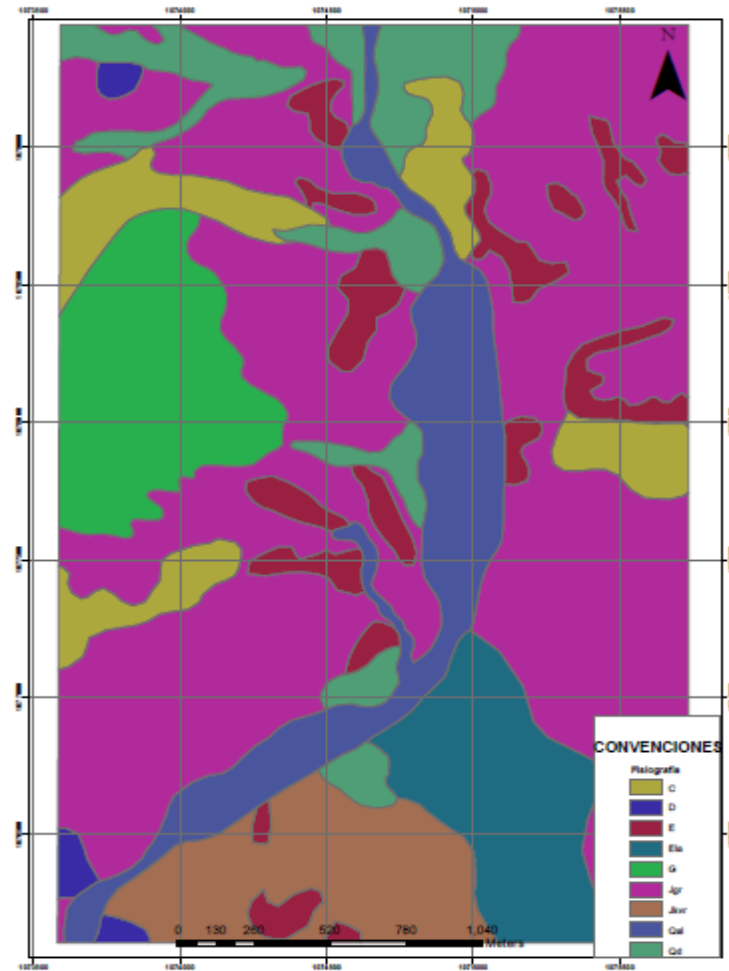


Figura 25: Mapa geomorfológico

11.5.4.1 Parámetros y pesos evaluados

- Qd 1
- C 2
- E 3
- D 1
- Jgr 4
- G 9
- Ela 7
- Jkvr 5
- Qat 3

11.5.5 Mapa de corredores de fallas sísmicas



Figura 26: Mapa de corredores de fallas sísmicas

11.5.5.1 Parámetros y pesos evaluados

- A = Fallas con escarpe de fallas 1
- B = Lineamientos 3

11.6 GENERACION DEL MAPA DE AMENAZA

Para la generación del mapa de amenaza se desarrollara en el programa ArcGIS 9.3 siguiendo los pasos de a continuación:

1. Se añaden los shapes que contienen los mapas para el cruce

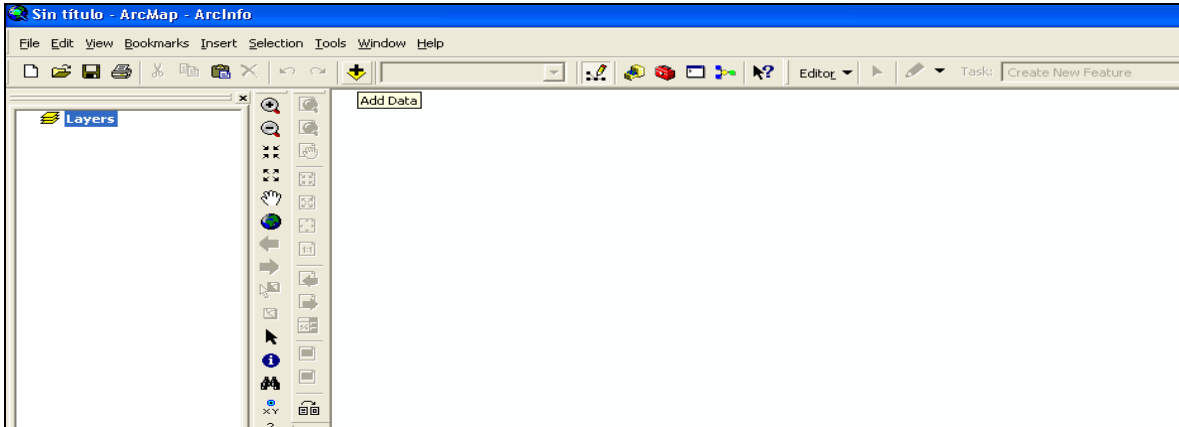


Figura 27: Agregar shapes

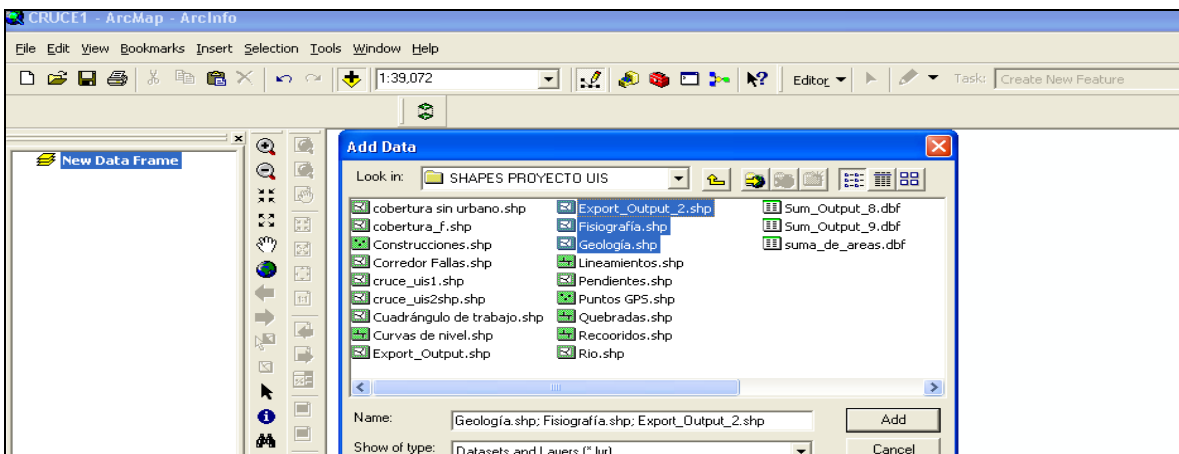


Figura 28: Shapes de los mapas

2. Se obtienen todos los shapes para cruzar

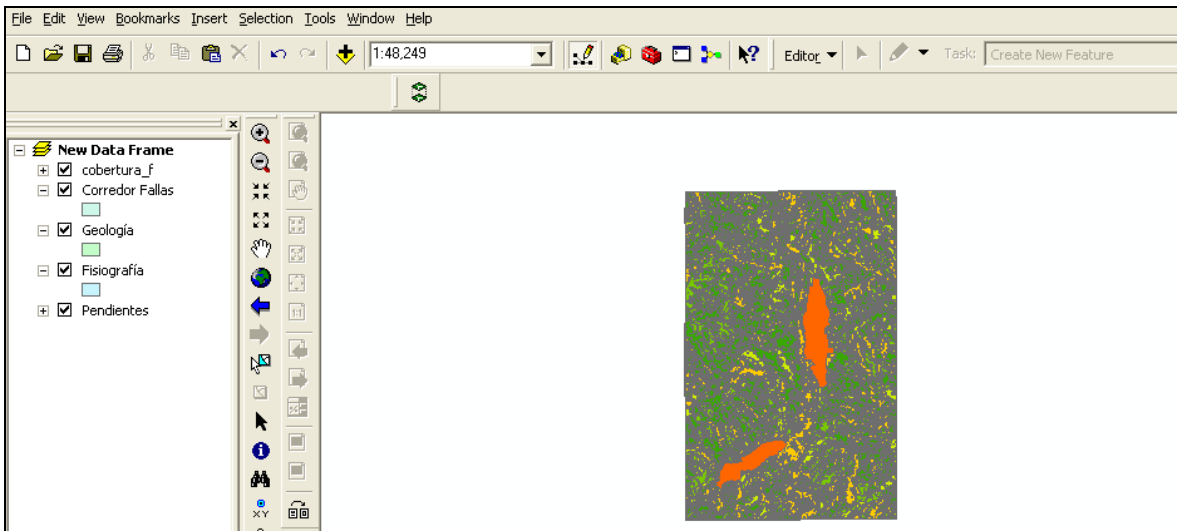


Figura 29: Mapas agregados

3. Luego de tener los shapes, se busca la aplicación desarrollada por la empresa de **Incorgmap** y suministrada por el co-director del proyecto Ing. Francisco Pérez, esta aplicación se llama Project Module 4-cr

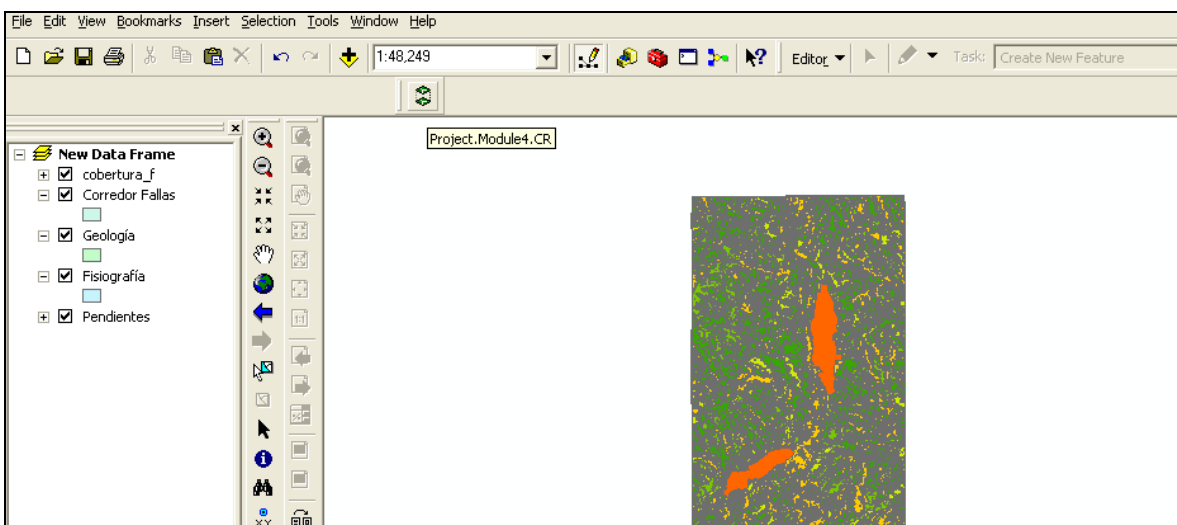


Figura 30: Aplicación de cruces de mapas

4. Se empieza a darles los porcentajes considerados a cada plano, y también se establecen los pesos de los parámetros internos de cada mapa.

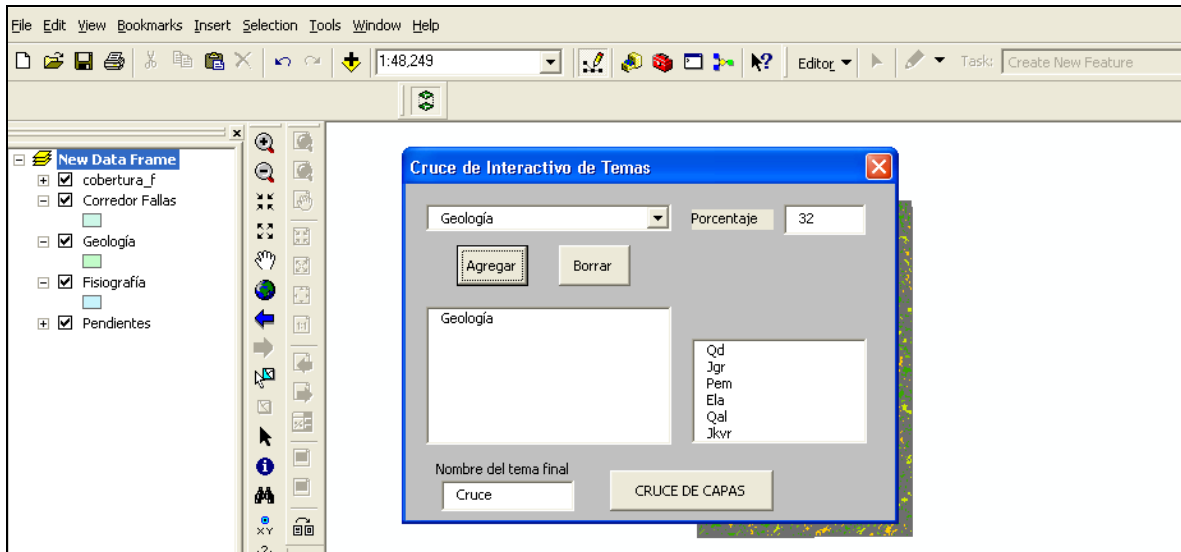


Figura 31: Ponderación del Mapa de geología

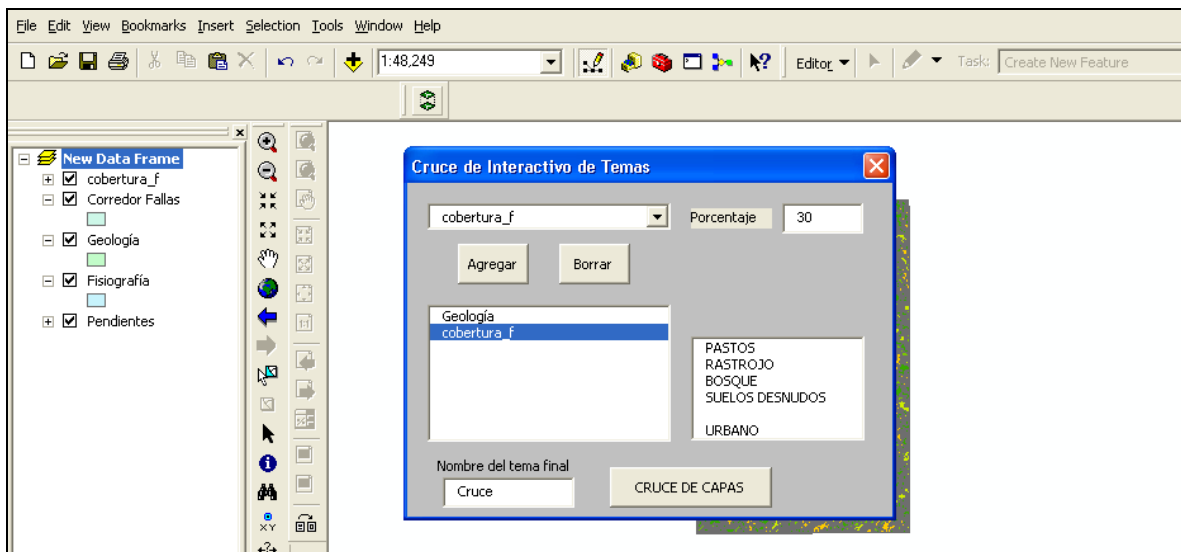


Figura 32: Ponderación del Mapa de cobertura

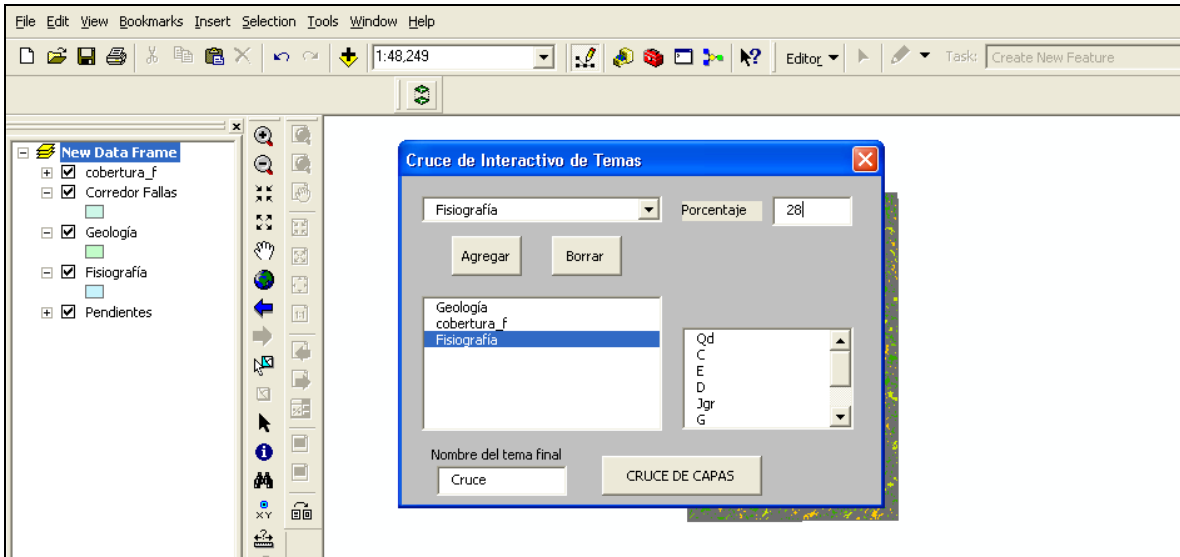


Figura 33: Ponderación del Mapa geomorfológico

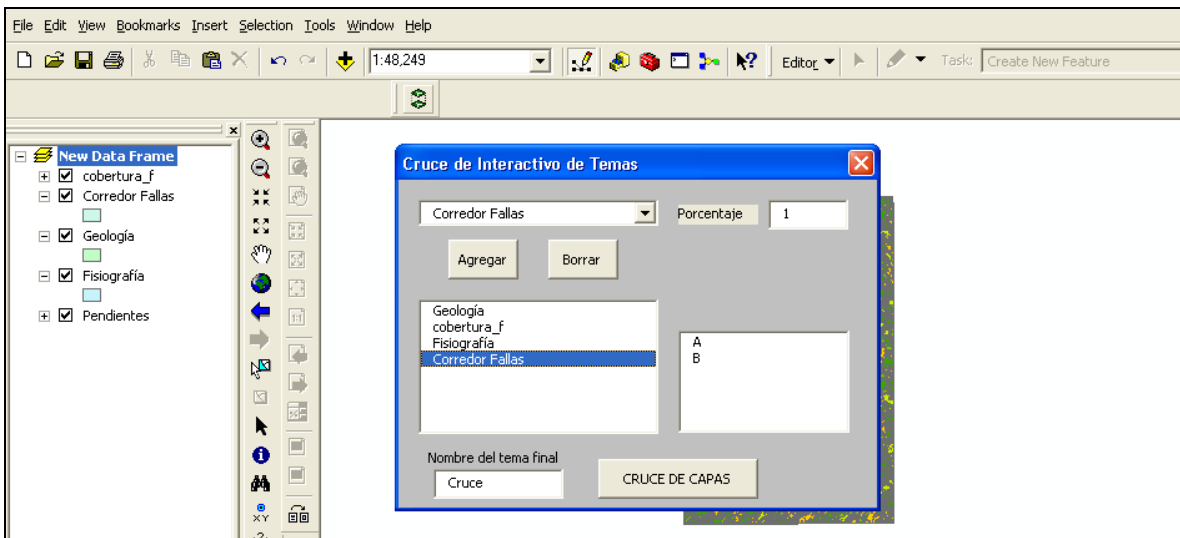


Figura 34: Ponderación del Mapa de corredores de fallas sísmicas

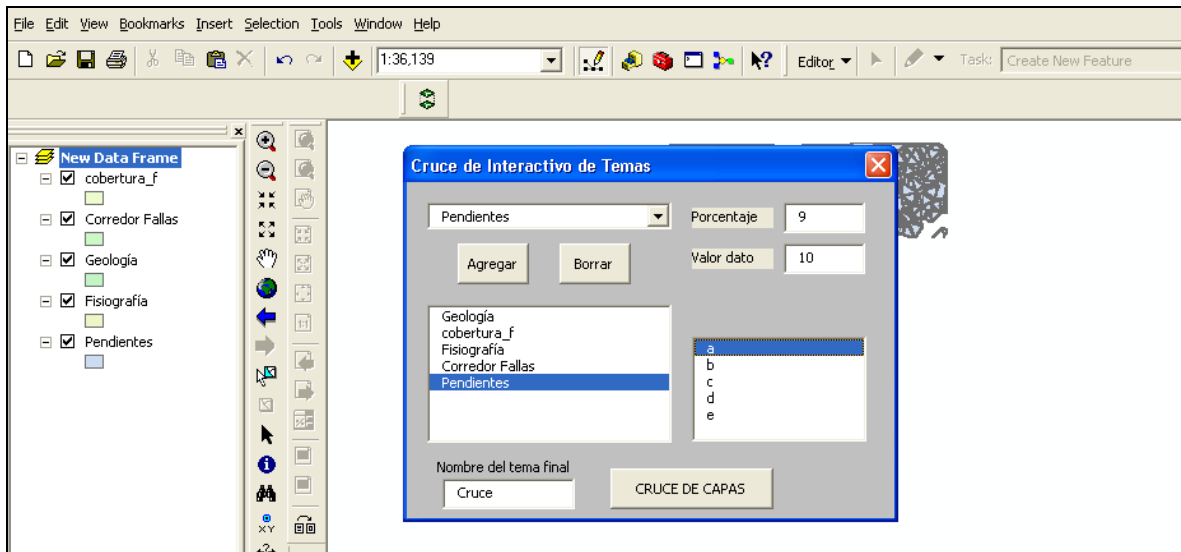


Figura 35: Ponderación del Mapa de pendientes

5. Luego de darles los porcentajes a todos los parámetros y mapas, se da click en la aplicación cruce de capas. Luego lentamente el programa va mostrando los cruces que va ejecutando.

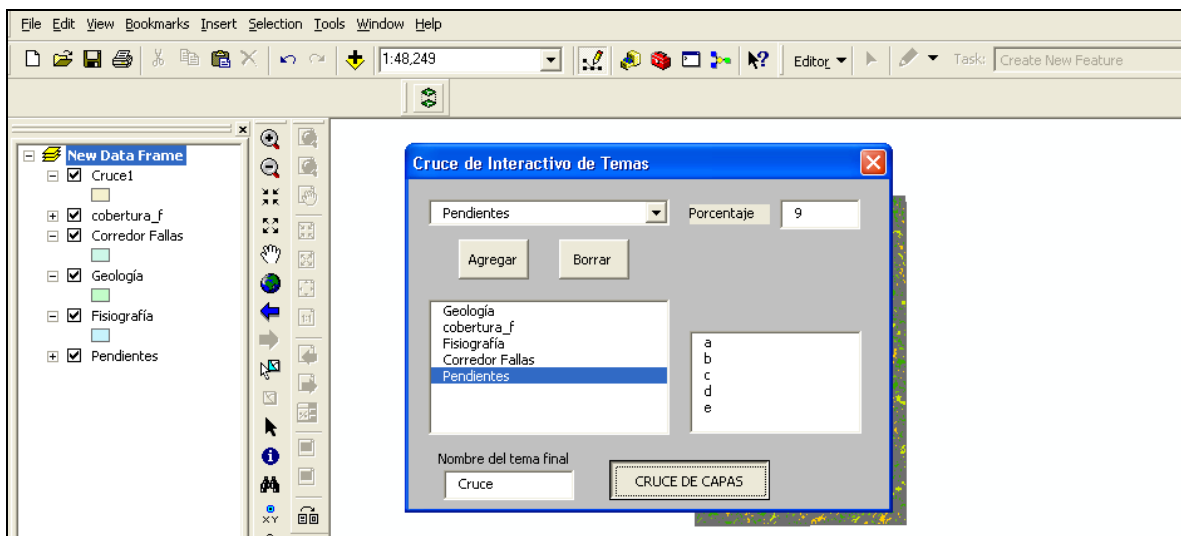


Figura 36: Ejecutando la aplicación de cruces de mapas

6. Luego se va hacia las propiedades del shapes del cruce definitivo. En el campo **Quantities**, en **value** se elige la opción **VALOR FIN**.

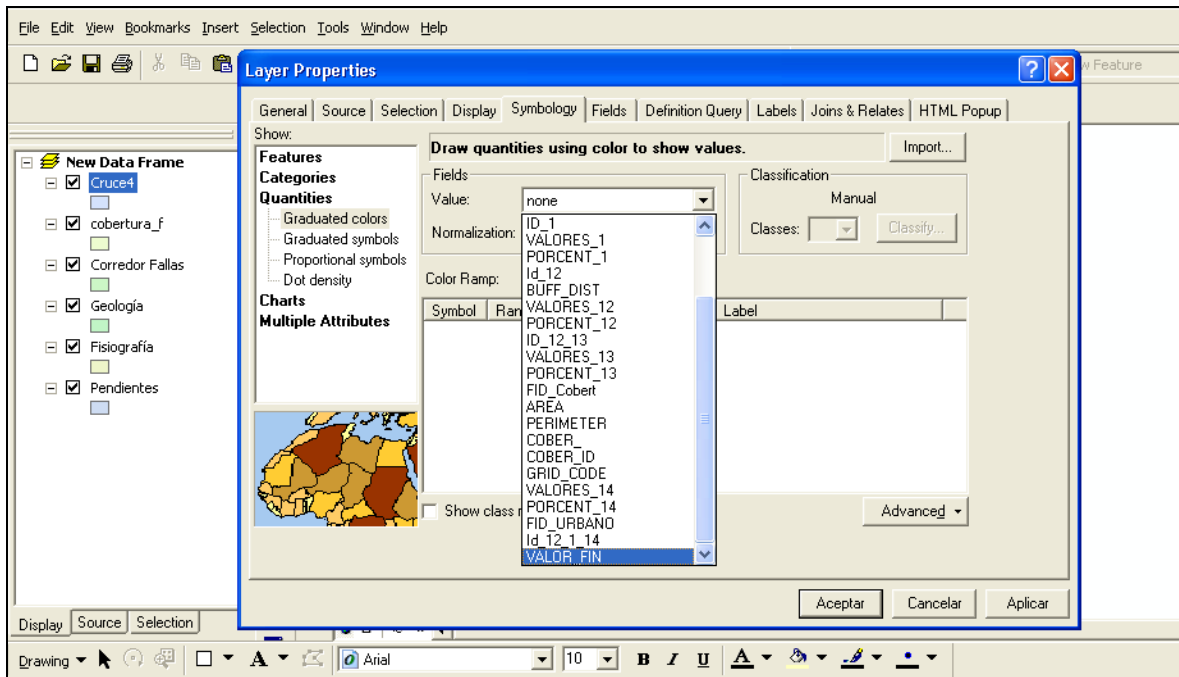


Figura 37: Adjudicación de valores de amenaza

En la ventana se observa los rangos de amenaza, siendo el valor 0 la mayor amenaza y el valor 10 la menor amenaza.

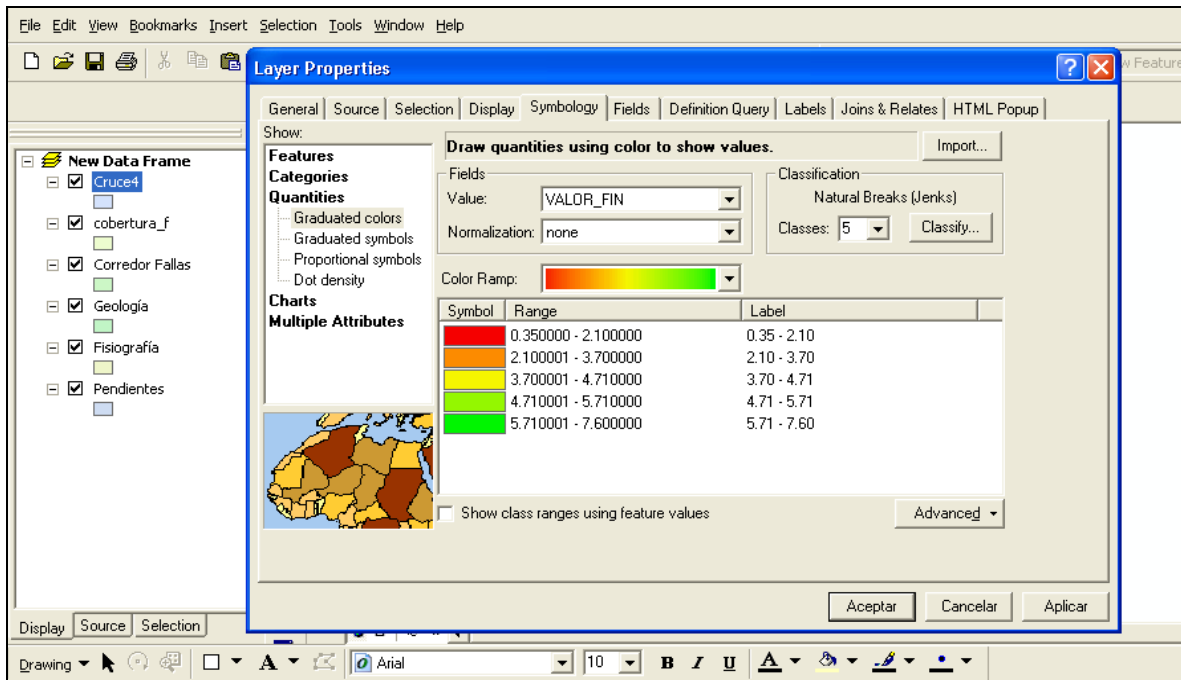


Figura 38: Rango de valores de amenaza

7. Finalmente se obtiene el **MAPA DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS** de la zona.

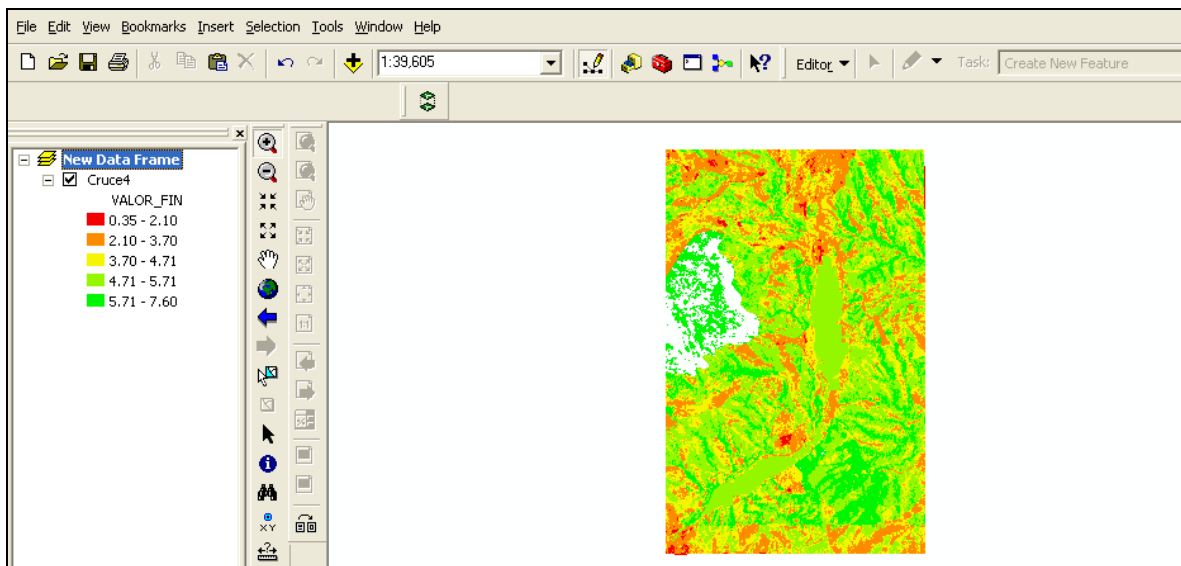


Figura 39: Mapa de amenazas

11.7 MAPAS DE AMENAZAS

La generación del mapa de amenaza se desarrollo mediante una prueba y error en la asignación de valores de pesos que se permiten estar revisando mediante los puntos críticos que se establecieron en la salida de campo; para este desarrollo se realizaron varios cruces.

11.7.1 Cruce 1

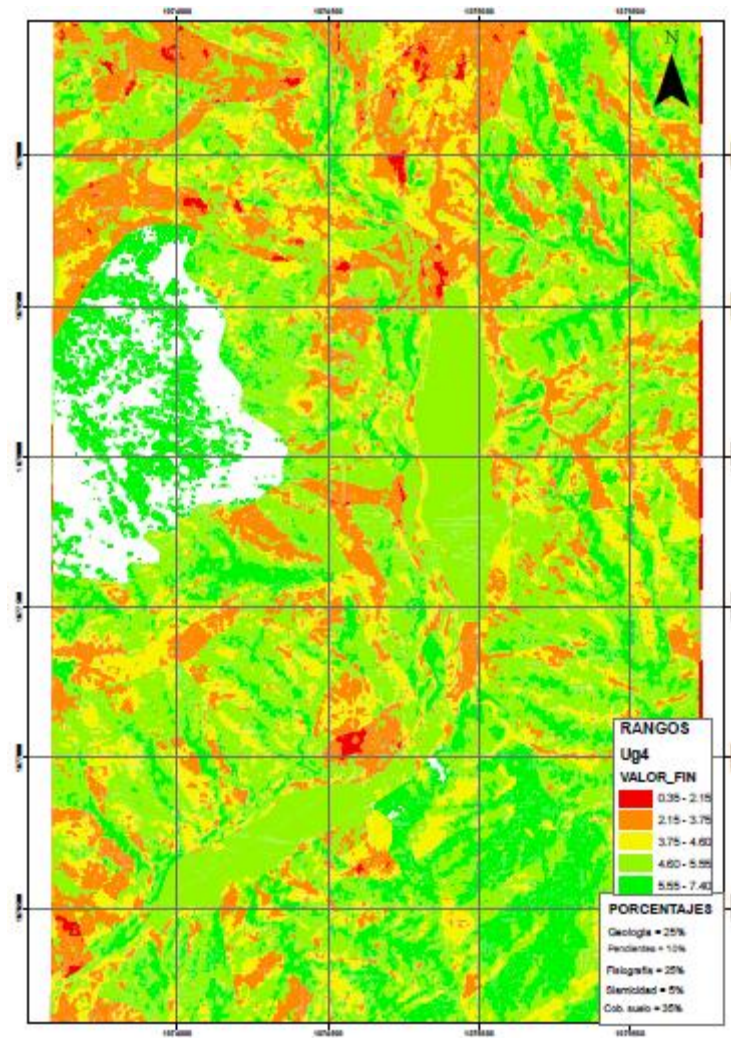


Figura 40: Mapa de amenaza cruce 1

Porcentaje de peso por cada mapa

- Geología 25%
- Pendientes 10%
- Fisiografía 25%
- Sismicidad 5%
- Cobertura del suelo 35%

11.7.2 Cruce 2

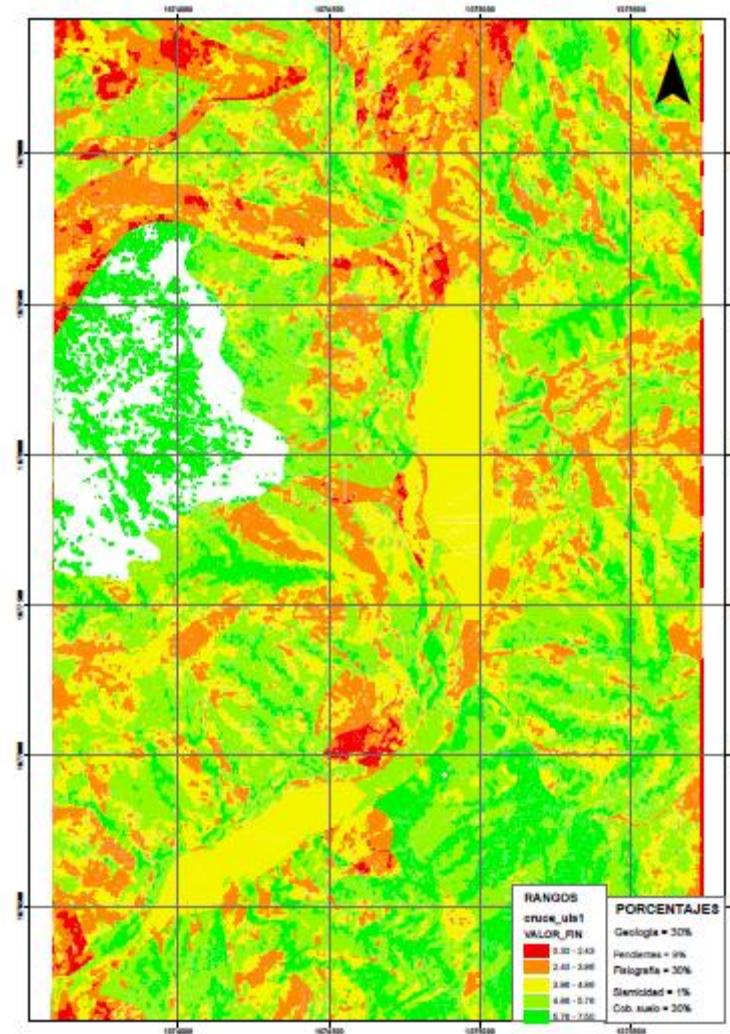


Figura 41: Mapa de amenaza cruce 2

Porcentaje de peso por cada mapa

- Geología 30%
- Pendientes 9%
- Fisiografía 30%
- Sismicidad 1%
- Cobertura del suelo 30%

11.7.3 Cruce 3

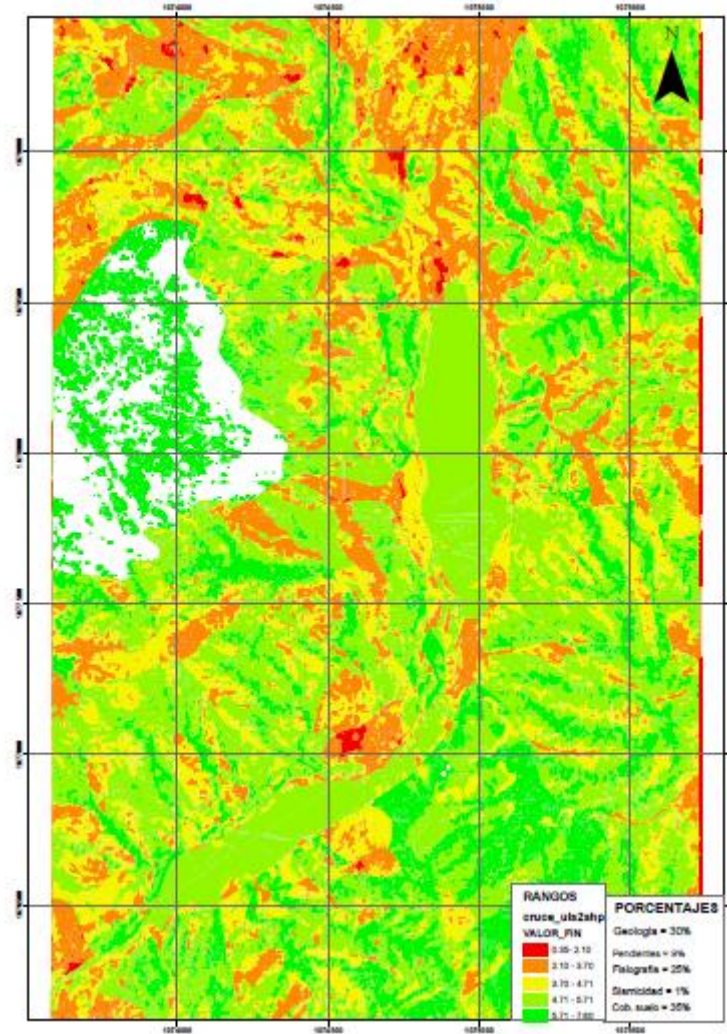


Figura 42: Mapa de amenaza cruce 3

Porcentaje de peso por cada mapa

- Geología 30%
- Pendientes 9%
- Fisiografía 25%
- Sismicidad 1%
- Cobertura del suelo 35%

11.7.4 Cruce 4

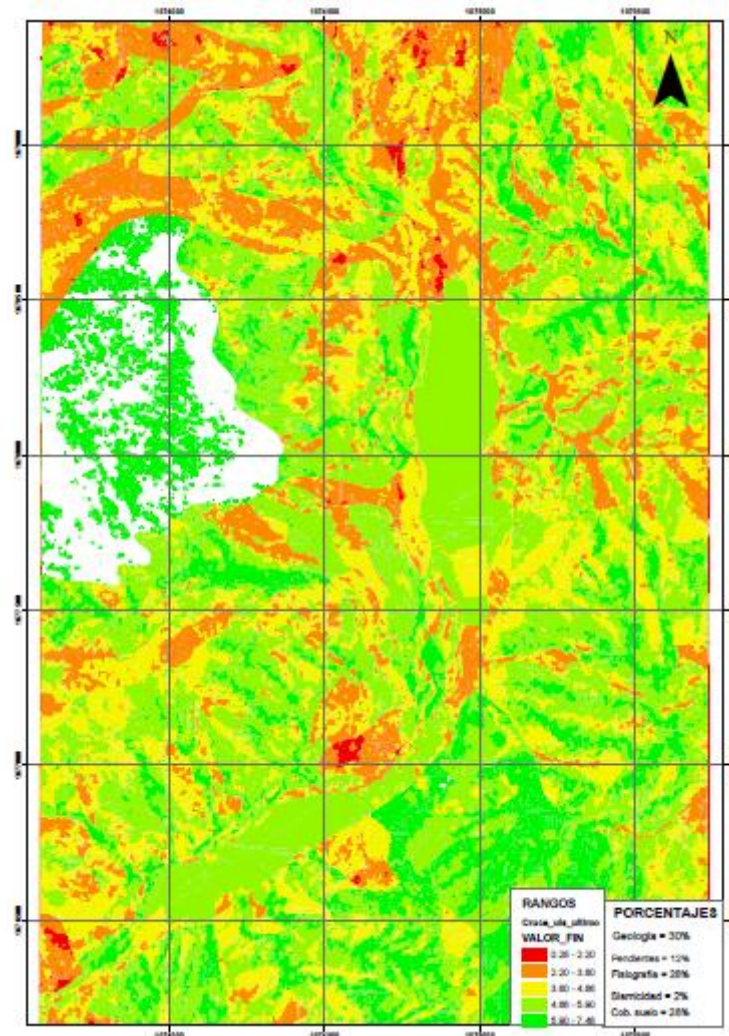


Figura 43: Mapa de amenaza cruce 4

Porcentaje de peso por cada mapa

- Geología 30%
- Pendientes 12%
- Fisiografía 20%
- Sismicidad 2%
- Cobertura del suelo 30%

11.8 MAPA DE AMENAZA

El mapa que más se ajusto fue el de cruce 3 esta decisión se toma debido a lo que se observo en campo y a la experiencia de los profesionales que se encuentran vinculados al proyecto.

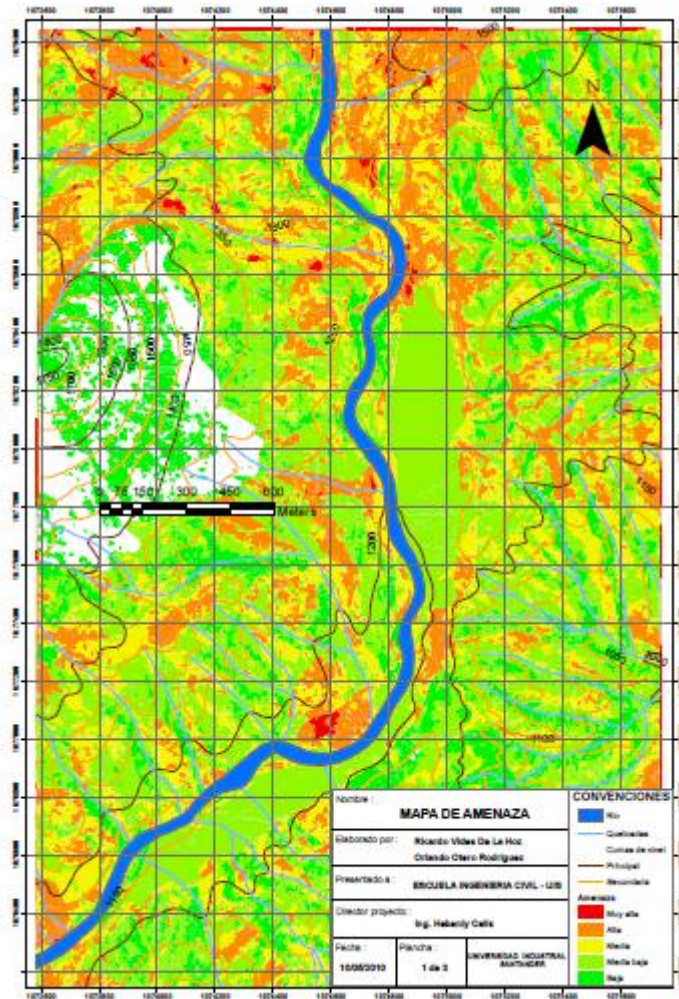


Figura 44: Mapa de amenaza

12 VULNERABILIDAD

Es el grado de pérdida o destrucción de un elemento señalado o de un grupo de elementos en riesgo, como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural de magnitud determinada (Varnes, 1984). (El grado de daño a la población, vidas humanas, propiedades, actividades económicas, servicios públicos, condiciones ambientales etc., en un área específica por la ocurrencia de un determinado evento).

La vulnerabilidad puede comprenderse como aquel conjunto de condiciones a partir de las cuales una comunidad está o queda expuesta al peligro de resultar afectada por una amenaza, sea de tipo natural, antrópicos o socio-natural.

Este concepto, al igual que los demás que se manejan en la gestión del riesgo, es relativo por lo que toma dimensiones y niveles de análisis distintos según sean las condiciones particulares de cada comunidad.

La valoración de la vulnerabilidad puede definirse como el nivel potencial de daño o grado de pérdida de un determinado elemento, expresado en una escala de 0 a 1.

12.1 FACTORES PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad entendida como debilidad frente a las amenazas y como incapacidad de recuperación después de que ha ocurrido un no sólo depende de la vecindad física de las poblaciones a las fuentes de las amenazas, sino de otros múltiples factores de distinta índole, todos presentes en las comunidades.

El análisis de la vulnerabilidad generalmente es realizado por profesionales de disciplinas diferentes a las ciencias de la tierra. El análisis de vulnerabilidad requiere un conocimiento detallado de la densidad de población, infraestructura,

actividades económicas y los efectos de un determinado fenómeno sobre estos elementos en riesgo.

Así pues podemos hablar de una serie de factores los cuales juegan un papel determinante en la mitigación de daños respecto a estos desastres, los componentes de la vulnerabilidad son los siguientes:

- Exposición: la intersección de la actividad humana el uso del suelo y el medio ambiente construido con los patrones de amenaza
- Resistencia: la capacidad de una sociedad y el medio ambiente construido a resistir el impacto de los eventos amenazantes
- Resiliencia: la capacidad de una sociedad de recuperarse después del impacto
- Recuperación: la capacidad de una sociedad de reconstruir después de un desastre
- Aprendizaje: la capacidad de una sociedad de aprender de los desastres ocurridos
- Adaptación: la capacidad de una sociedad de cambiar sus patrones de conducta a raíz de la ocurrencia de desastres.

Considerando estas características que permiten integrar una serie de factores en el análisis, es que puede hablarse de la existencia de una vulnerabilidad global, la que refiere a un proceso complejo, dinámico y cambiante que determina la probabilidad de que una comunidad quede expuesta o no a la ocurrencia e impacto de un desastre, o que tenga más o menos posibilidades de recuperación.

12.2 VULNERABILIDAD EN LAS ESTRUCTURAS

Para las estructuras, la valoración del daño y la vulnerabilidad dependen de la modelación de la interacción del deslizamiento y la estructura. Este factor se puede documentar fácilmente para caídos de roca, cuando las estructuras han sido diseñadas para resistir los impactos y en menor extensión, para los flujos de detritos y movimientos lentos.

El valor de vulnerabilidad para una construcción depende tanto de las características y la calidad de construcción como las de las amenazas.



Foto 44: Casa tipo del corregimiento

12.3 VULNERABILIDAD ECONÓMICA

Sin duda, la condición de pobreza aumenta el riesgo y la magnitud de un desastre. Además de la ausencia de recursos económicos, este tipo de vulnerabilidad tiene que ver con la mala utilización de los recursos disponibles para una correcta gestión del riesgo, entre ellos la dependencia económica nacional, la ausencia de presupuestos públicos que prevean los gastos por el ciclo de los desastres, la poca diversificación productiva de las economías de la región, entre otros.

Para el análisis del riesgo económico, la vulnerabilidad es la relación entre el costo de reconstrucción del elemento afectado por el deslizamiento y el costo total del elemento.

$$VULNERABILIDAD = \frac{\textit{Costo de reconstruccion}}{\textit{Costo total}}$$

La vulnerabilidad depende principalmente de la exposición del elemento a la amenaza. Por ejemplo, a mayor distancia del deslizamiento, la vulnerabilidad tiene a ser menor. Igualmente, la vulnerabilidad depende de la magnitud de la amenaza. Generalmente, a mayor velocidad del movimiento, la vulnerabilidad va a ser mayor en el caso de flujos.

12.4 VULNERABILIDAD SOCIAL

Está relacionada con el conjunto de relaciones sociales, formas de organización, y conductas individuales y colectivas que favorecen una mayor exposición frente a una amenaza, tales como el grado de organización y cohesión interna de comunidades bajo riesgo, vulnerabilidad que se convierte en una incapacidad para prevenir, mitigar o responder a una situación de desastre.

12.5 VULNERABILIDAD AMBIENTAL

Delata la forma adecuada o no de cómo una comunidad explota los elementos de su entorno, debilitándose a sí misma y debilitando al ecosistema para absorber los traumatismos ocasionados. En general, la vulnerabilidad ambiental muestra como los modelos de desarrollo siguen divorciados del medio ambiente y a diferencia de una relación de convivencia, lo que prevalece son prácticas de dominación sobre éste, lo que conduce irremediablemente a la alteración, vulnerabilización y destrucción de los ecosistemas.

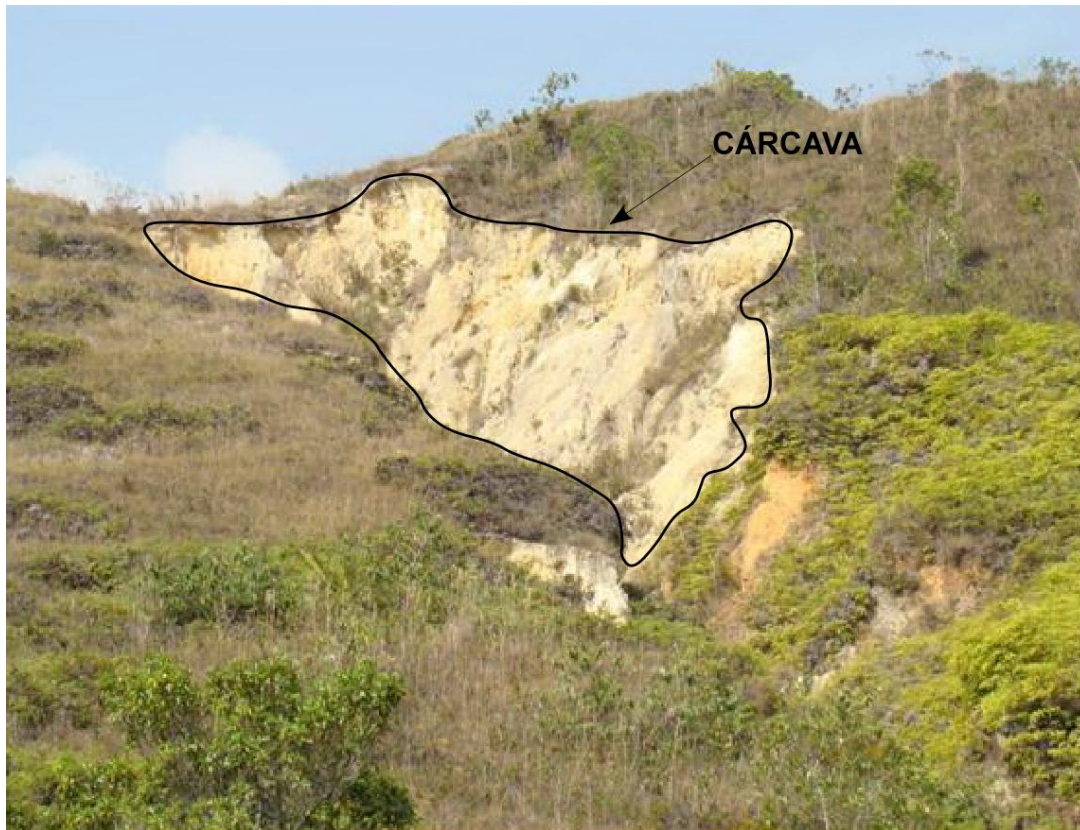


Foto 45: Erosión en cárcava

12.6 PONDERACIÓN DE VARIABLES VULNERABLES

Para la ponderación de variables de la vulnerabilidad se adoptó la metodología de captación de información por medio de una encuesta (ver anexo). Esta se desarrolla de forma clara y concisa que permite al encuestado no hacerla aburrida y atraer toda su atención, para así vincularlo en el desarrollo del proyecto dejando claro que es una necesidad de la comunidad participar en el proceso de su calidad de vida.

A continuación se presentan los resultados que permiten hacer una revisión acerca de la calidad de vivienda, educación, servicios públicos etc. Para así llegar a formular los parámetros que influyen en la vulnerabilidad de la comunidad a un eventual deslizamiento.

12.6.1 INTERPRETACION DE ENCUESTA

1.

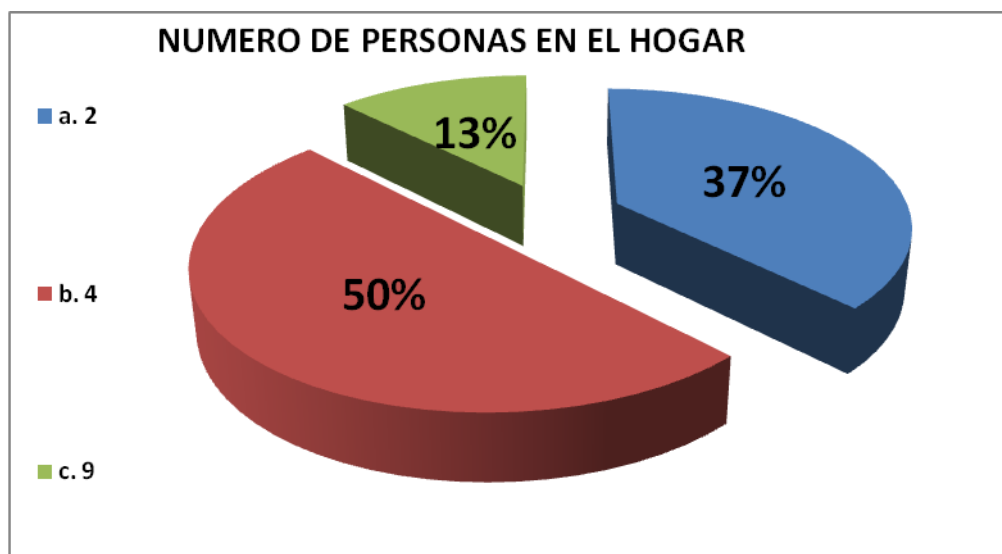


Figura 45: Porcentaje pregunta 1

2.

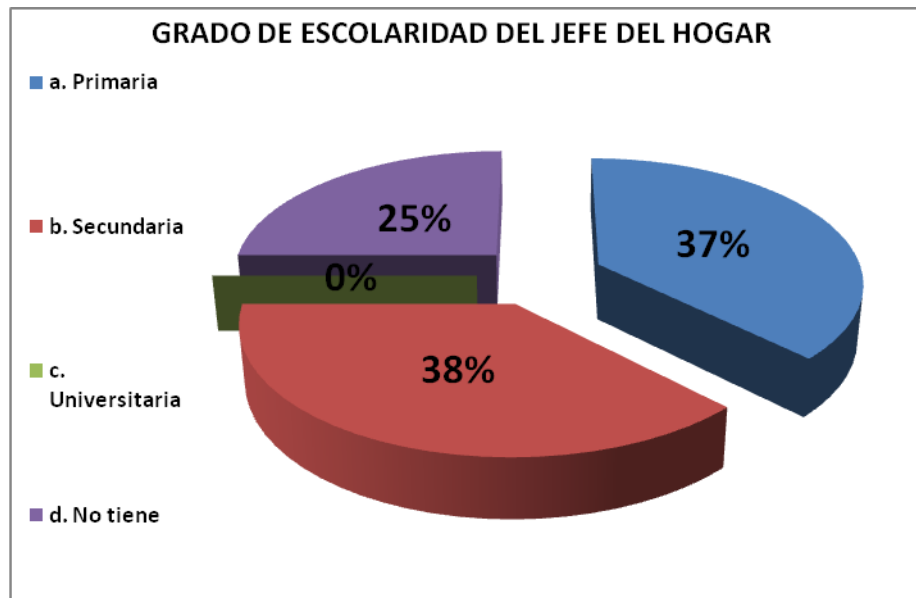


Figura 46: Porcentaje pregunta 2

3.

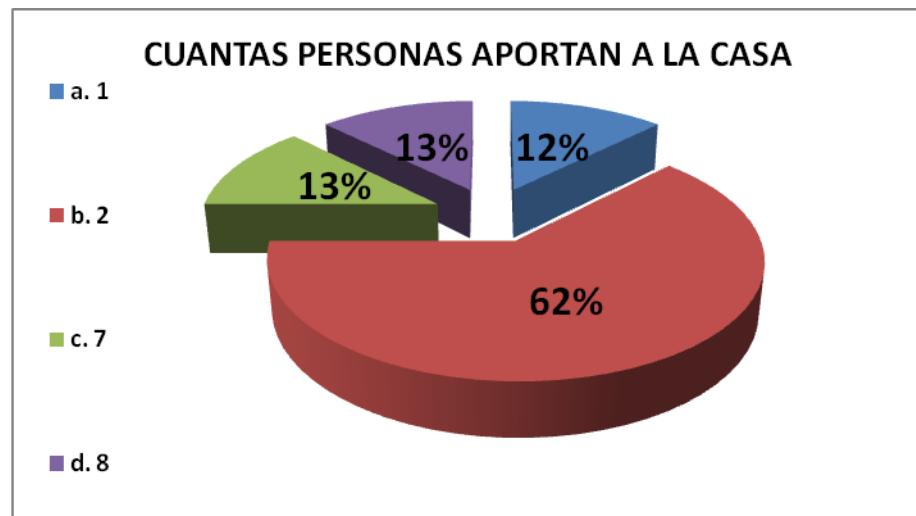


Figura 47: Porcentaje pregunta 3

4.

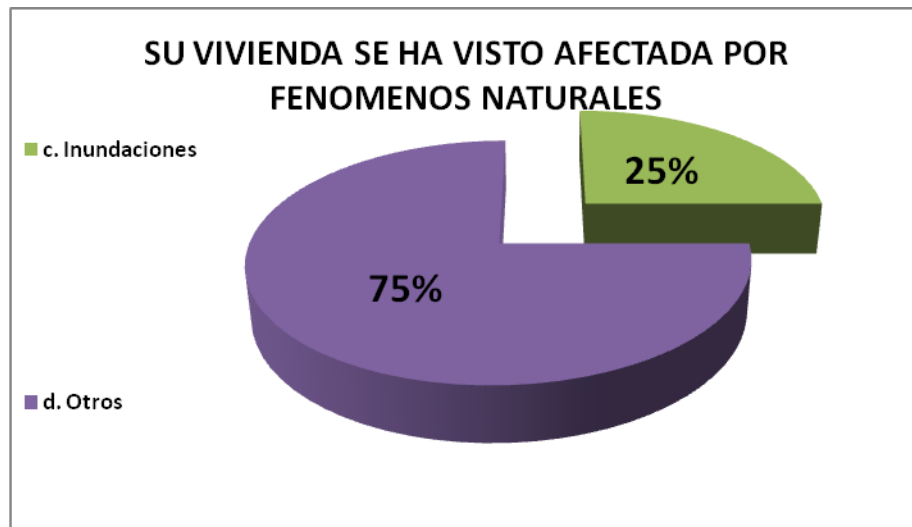


Figura 48: Porcentaje pregunta 4

5.

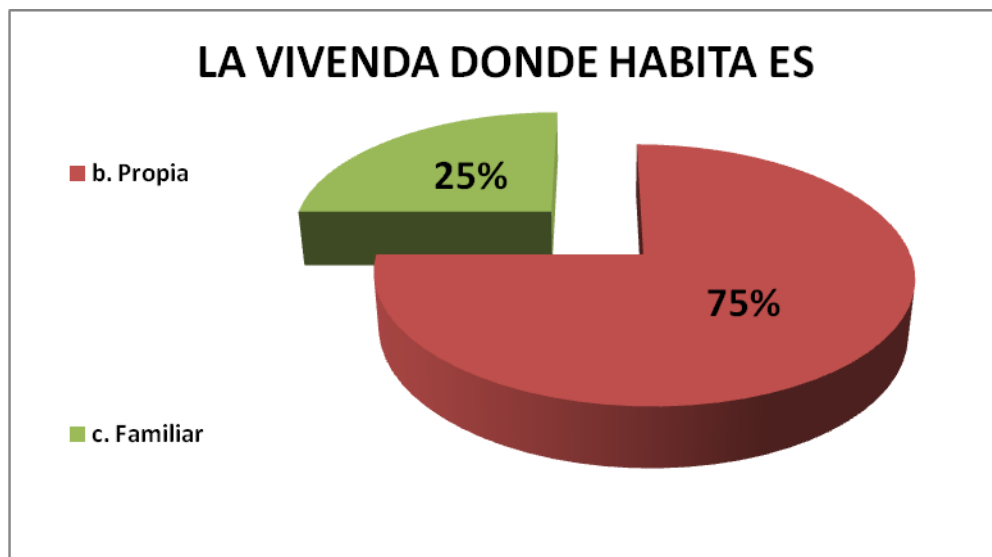


Figura 49: Porcentaje pregunta 5

6.

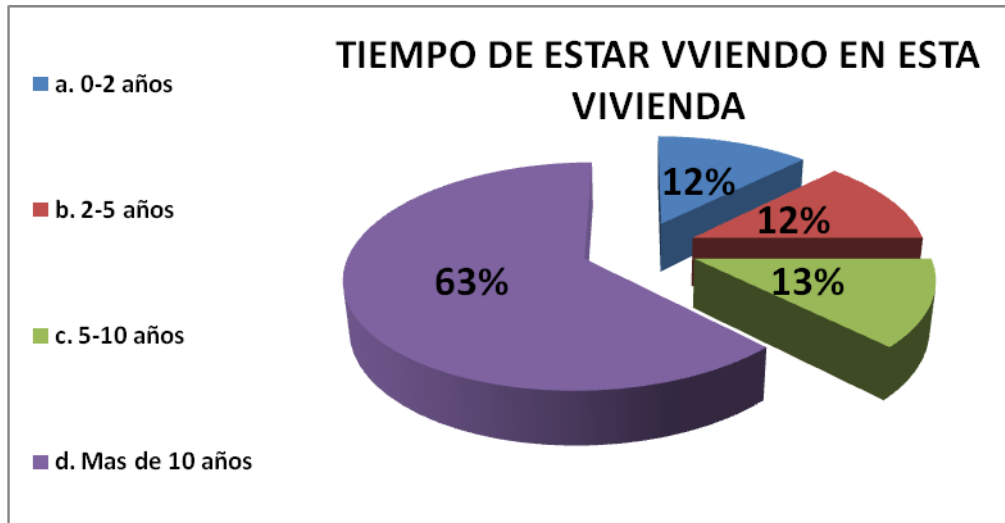


Figura 50: Porcentaje pregunta 6

7.

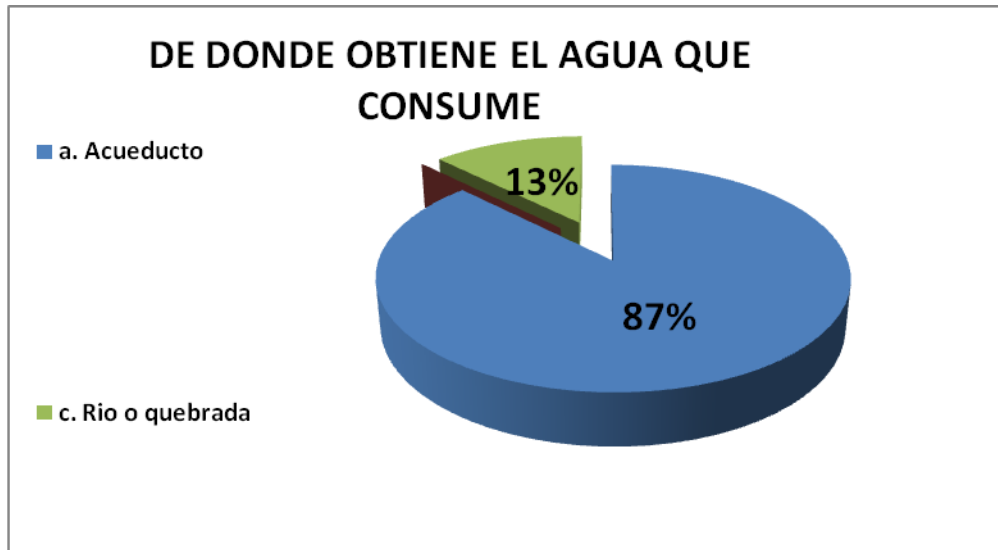


Figura 51: Porcentaje pregunta 7

8.

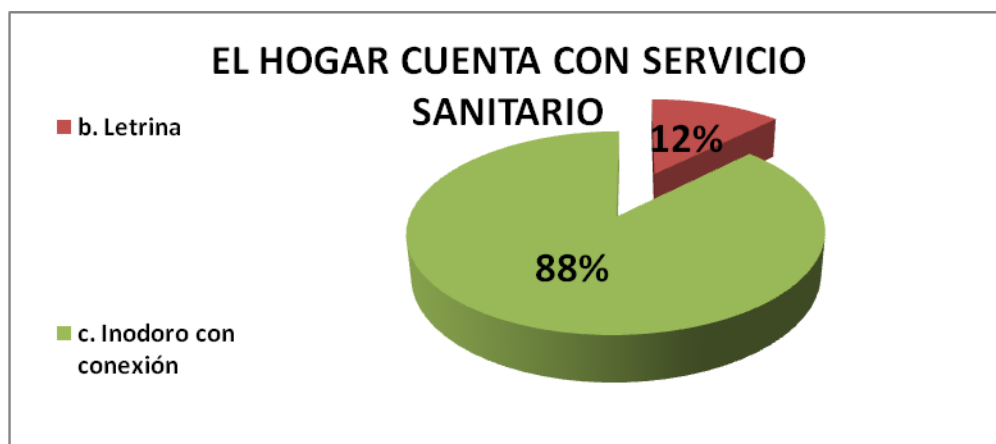


Figura 52: Porcentaje pregunta 8

9.

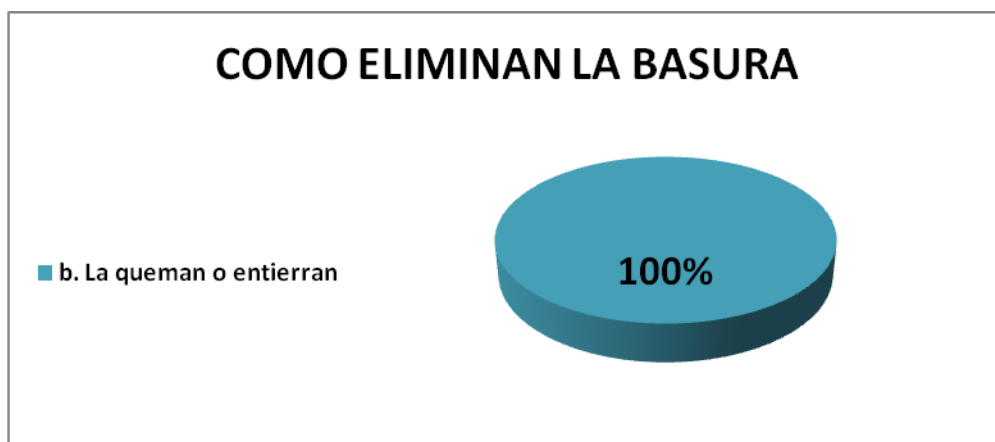


Figura 53: Porcentaje pregunta 9

10.

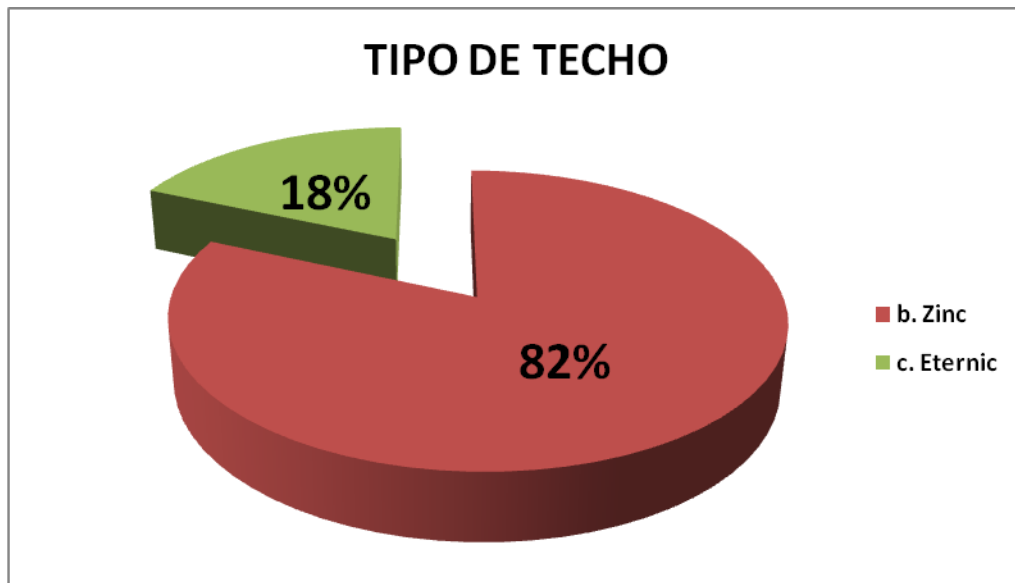


Figura 54: Porcentaje pregunta 10

11.

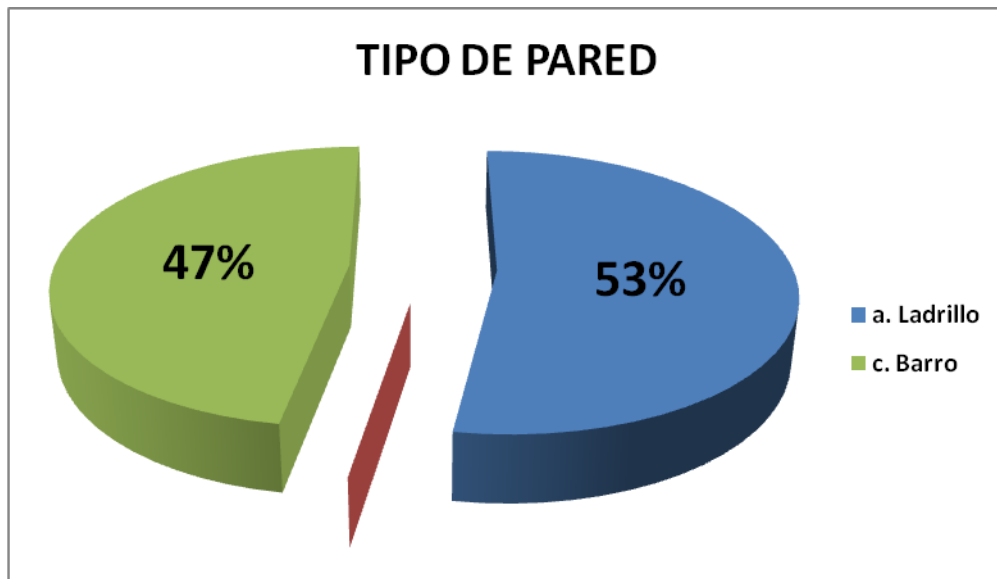


Figura 55: Porcentaje pregunta 11

12.



Figura 56: Porcentaje pregunta 12

13.

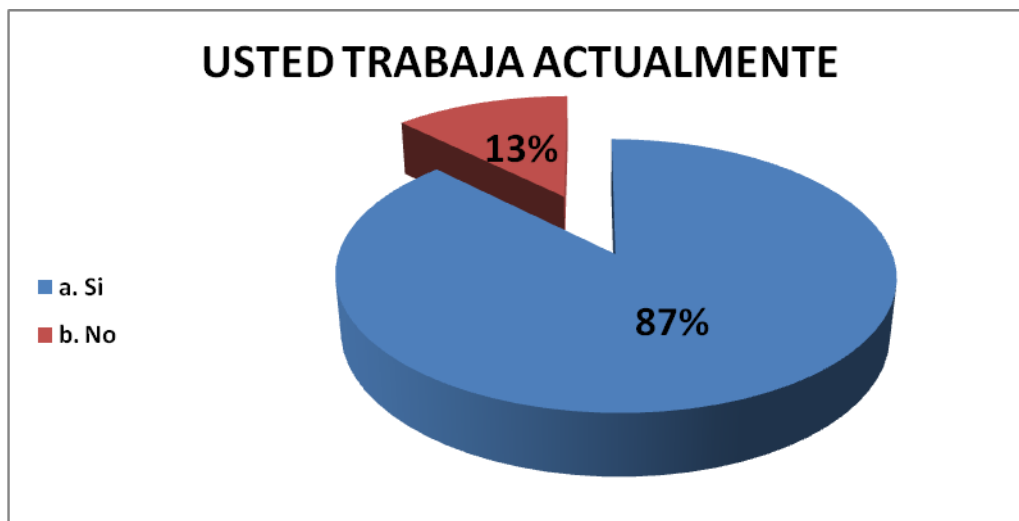


Figura 57: Porcentaje pregunta 13

14.

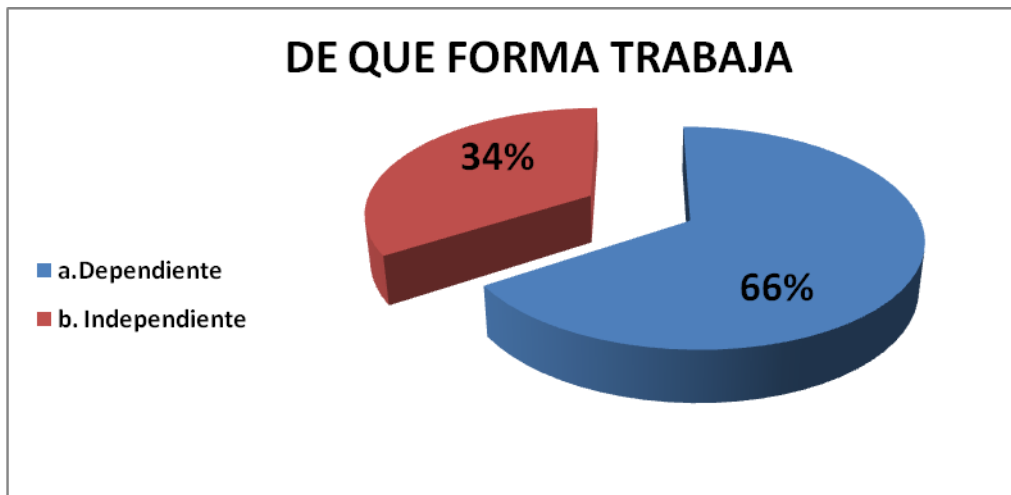


Figura 58: Porcentaje pregunta 14

15.

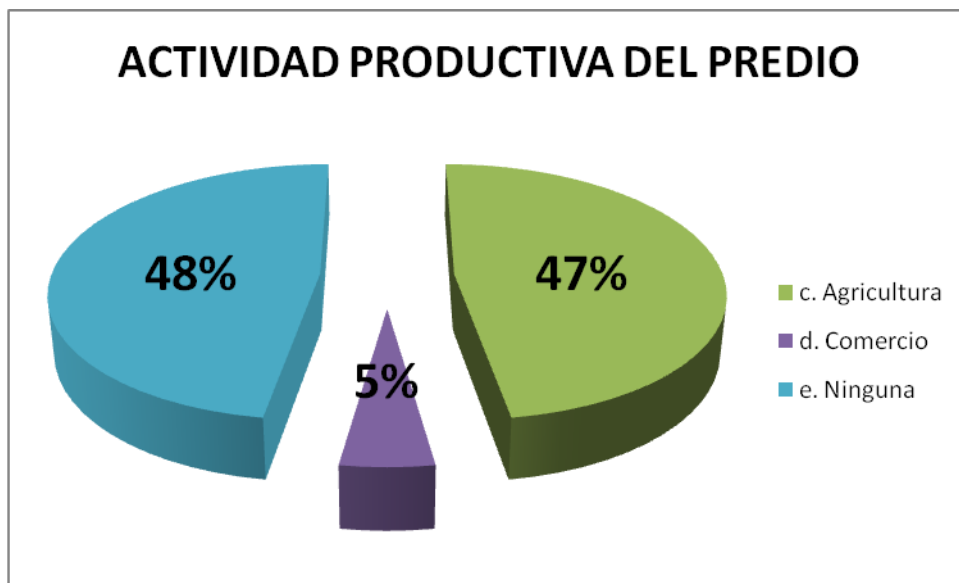


Figura 59: Porcentaje pregunta 15

16.

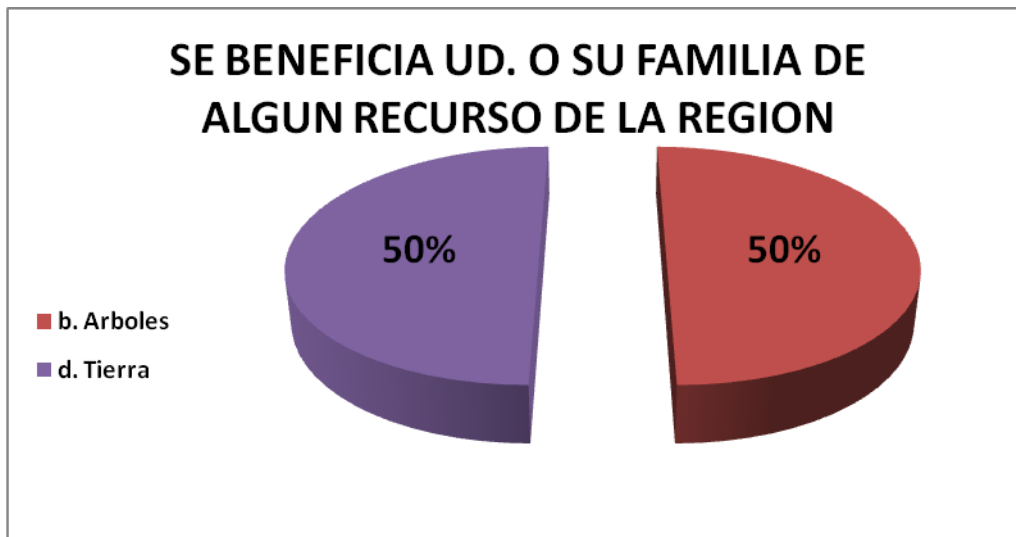


Figura 60: Porcentaje pregunta 16

17.

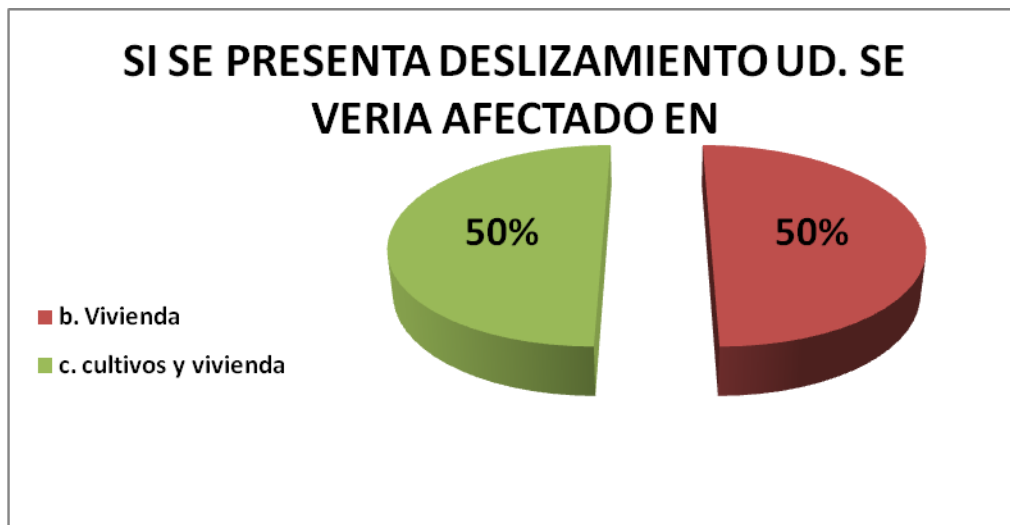


Figura 61: Porcentaje pregunta 17

18.

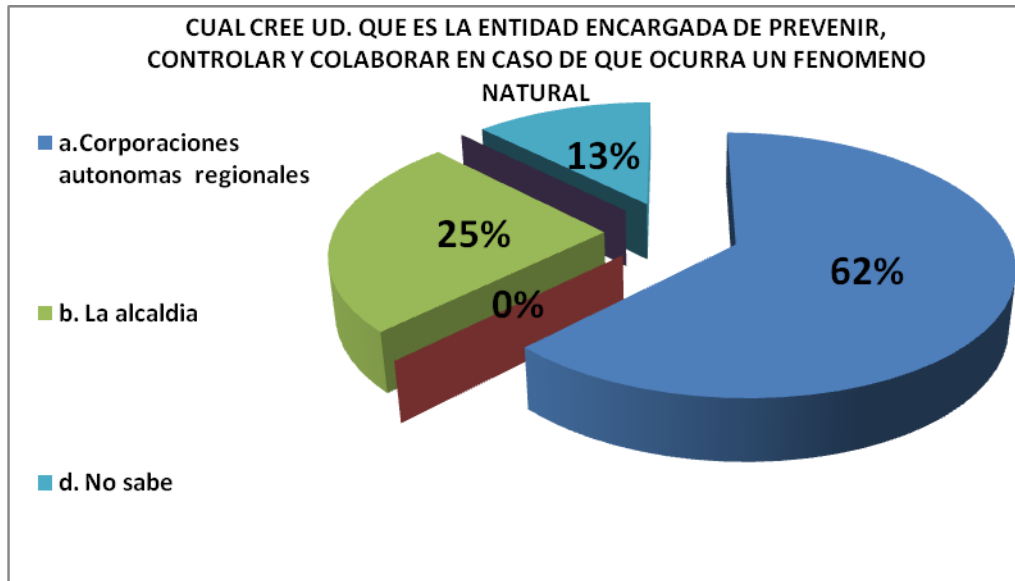


Figura 62: Porcentaje pregunta 18

19.

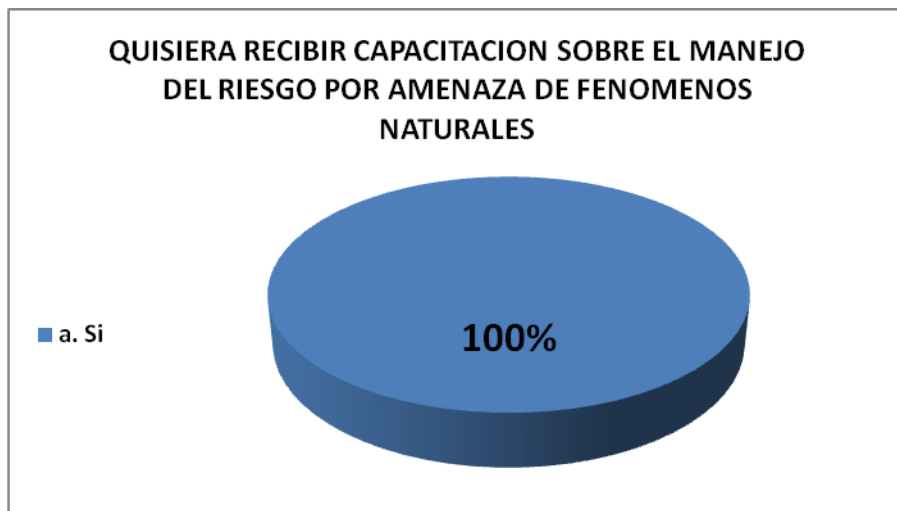


Figura 63: Porcentaje pregunta 19

12.6.2 CRITERIOS Y PONDERACIONES PARA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para el estudio de la vulnerabilidad se hizo énfasis en la vulnerabilidad de las viviendas y predios que se encuentran en el límite urbano tano de Guatapurí como de Chemesquemena. Para esto se estableció que se debía elaborar dos mapas que indiquen la vulnerabilidad en construcción y predios desde criterios diferentes pero complementarios.

El primer criterio se basa en el tipo de construcción de las estructuras, es decir, el tipo de piso, tipo de pared y tipo de techo que se observaron en la zona de estudio. Para esto se determinaron tres tipos de viviendas:

- Tipo 1: Piso de mortero, pared de barro o adobe, techo de zinc.
- Tipo 2: Piso de mortero, pared en mampostería, techo en zinc.
- Tipo 3: Piso de mortero, pared en mampostería, techo de eternit.

Se establecieron valores de vulnerabilidad para cada tipología basándose en la opinión de profesionales, en la opinión de los tesisistas, y en las experiencias vividas con cada tipo de casa frente a fenómenos de remoción en masa.

Para el tipo 1, se le asigno un valor de 1 en una escala de 0 a 10, donde cero es el valor más crítico de vulnerabilidad y 10 es el valor que indica menos vulnerabilidad.

Para el tipo 2 se le asigno un valor de 5, es decir que este tipo de vivienda o estructura muestra cierta resistencia ante un deslizamiento pero aún así sigue siendo vulnerable ya que los materiales que la conforman no son confiables ni seguros totalmente.

Para el tipo 3, se le asigno un valor de 6 ya que la única diferencia de este tipo con respecto al tipo2 es el material del techo, por tanto el valor de vulnerabilidad cambia muy poco.

Teniendo en cuenta los valores asignados a cada tipo de construcción, se determinan los niveles de vulnerabilidad que los van a representar. Para este caso se estableció que las construcciones tipo 1 son nivel de vulnerabilidad alta, los tipos 2 tienen un nivel de vulnerabilidad media, y los tipos 3 tienen un nivel de vulnerabilidad media baja.

TIPOLOGIA	CATEGORIA
TIPO 1	ALTA
TIPO 2	MEDIA
TIPO 3	MEDIA BAJA

Tabla 12: Asignación de vulnerabilidad por tipología de vivienda

Por otro lado, el segundo criterio para la evaluación de la vulnerabilidad, es la localización y ubicación de las construcciones y predios con respecto al Río Guatapurí y a laderas de más de 45 grados de inclinación. Para este criterio se tomó como referencia las normas establecidas por la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar). Básicamente lo establecido en estos códigos es que no puede construirse estructuras o viviendas a menos de 30 metros del cauce de un río, tampoco es permitido la construcción de viviendas a menos de 5 metros del pie o de la corona de una ladera.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, se zonificó el área dependiendo de la distancia de las estructuras o predios al Río Guatapurí y a los taludes con pendientes mayores de 45 grados de inclinación.

CATEGORIA	CRITERIO
BAJA	Más de 50 mts del río ó Más de 20 mts de laderas
MEDIA BAJA	40 - 50 metros del río ó 10 - 20 mts de laderas
MEDIA	30 - 40 mts del río ó 5 - 10 mts de laderas
ALTA	Menos de 30 mts del río ó Menos de 5 mts de laderas

Tabla 13: Asignación de vulnerabilidad dependiendo de la ubicación

Teniendo ya definidos los dos criterios, se elaboran los respectivos mapas y luego superponen y así se obtendrá la vulnerabilidad total de los corregimientos. Las categorías establecidas para el mapa de vulnerabilidad total y sus respectivos colores son:

CATEGORIA	COLOR
BAJA	VERDE OSCURO
MEDIA	VERDE CLARO
MEDIA BAJA	AMARILLO
ALTA	ROJO

Tabla 14: Categorías del mapa de vulnerabilidad

Para la obtención de los niveles de vulnerabilidad mostrados en el cuadro anterior se realizaron las siguientes combinaciones

VULNERABILIDAD TOTAL				
Vul. Tipo de Vivienda	+	Vul. Por Ubicacion	=	Vulnerabilidad Total
Media Baja	+	Baja	=	Baja
Media Baja	+	Media Baja	=	Media Baja
Media Baja	+	Media	=	Media Baja
Media Baja	+	Alta	=	Media
Media	+	Baja	=	Media Baja
Media	+	Media Baja	=	Media
Media	+	Media	=	Media
Media	+	Alta	=	Alta
Alta	+	Baja	=	Media
Alta	+	Media Baja	=	Media
Alta	+	Media	=	Alta
Alta	+	Baja	=	Alta
N.C	+	Alta	=	Baja
N.C	+	Media Baja	=	Baja
N.C	+	Media	=	Media Baja
N.C	+	Alta	=	Media

Tabla 15: Vulnerabilidad total

12.7 ELABORACIÓN DEL MAPA DE VULNERABILIDAD

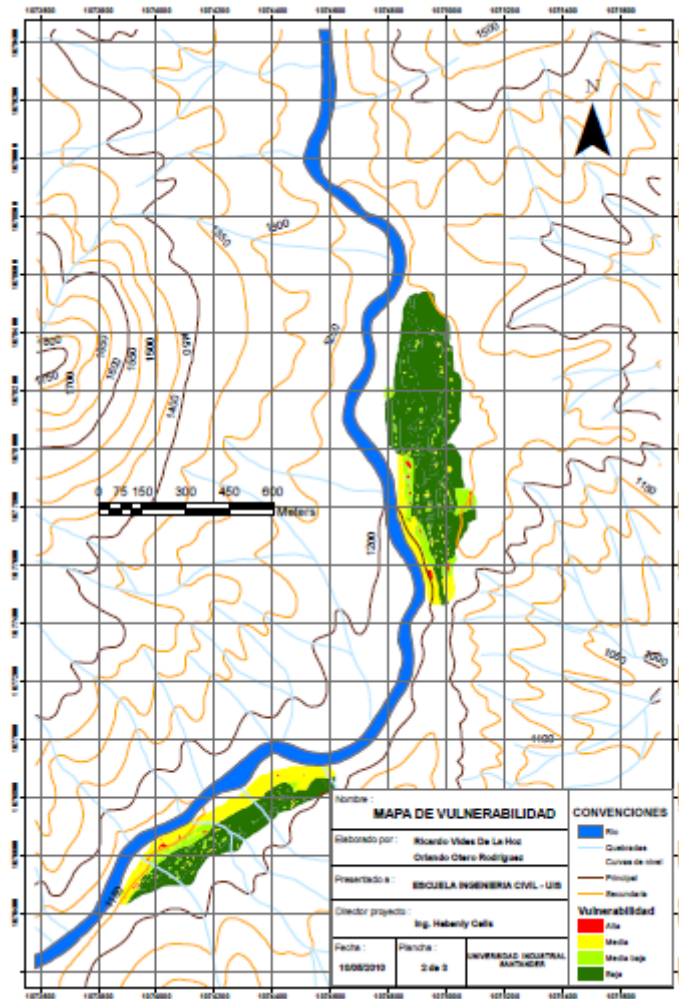


Figura 64: Mapa de vulnerabilidad

13 RIESGO

Como se ha mencionado a lo largo de este libro, el objetivo final del estudio es establecer las zonas de riesgo a deslizamientos en la parte media de la cuenca hidrográfica del Río Guatapuri.

El riesgo se relaciona con algo que aun no ha sucedido, se refiere a una situación potencial.

“Se suele definir como las posibles consecuencias desfavorables económicas, sociales y ambientales que se pueden presentarse a raíz de ocurrir un evento dañino en un contexto de debilidad social y física ante el mismo”

El riesgo se evalúa en términos de los daños y las pérdidas que se podrían presentar si ocurre el fenómeno causante del evento (Lluvia, Sismo, Huracán, Creciente, Avalancha, Deslizamiento, etc.), los cuales no solo están relacionado con la magnitud o fuerza con que se generan, sino básicamente con la capacidad o incapacidad de la sociedad para soportar y sobreponerse al impacto ocasionado por el fenómeno natural presentado.

El riesgo se relaciona con el desarrollo de las comunidades, especialmente con la manera de ocupación del territorio y la administración del mismo y sus recursos, no obstante que los fenómenos peligrosos que inciden como detonantes sean generados por la naturaleza, como lo puede ser un sismo ó una lluvia crítica. En zonas de mayor ocupación, con falta de infraestructura adecuada y deterioro del ambiente, los aspectos generados sobre la población, sus vidas, bienes a raíz de la ocurrencia del fenómeno de origen natural (geológico, sísmico, vulcanológico, hidrometeorológico, fenómeno del niño o niña, tormentas eléctricas entre otras) son cada vez más dañinos e importantes.

Al hablar de riesgo, se está hablando de falta de desarrollo o de un nivel de desarrollo insuficiente del territorio.

El riesgo generalmente, es estimado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo.

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

Esto quiere decir que dado el caso, si una zona “A” presenta el mismo nivel de amenaza que una zona “B” debidos a características naturales similares de éstas, pero en la zona “A” se encuentran tres casas con dos habitantes cada una de ellas y en la zona “B” hay dos casa y cada una con dos habitantes, el riesgo va a ser mayor en la zona “A” ya que hay mas estructuras lo cual implica un riesgo económico y social más grande.



Foto 46: Riesgo económico, humano y ambiental
Fuente: <http://www.google.com.co/imgres>

13.1 TIPOS DE RIESGO

Como se mencionó anteriormente existen varios tipos de riesgo entre lo que se destacan el social ó humano, económico, y ambiental.

El riesgo social incluye los muertos y los desaparecidos, los heridos y discapacitados, o lesiones personales, como resultado de la acción de un deslizamiento. Por ejemplo, en una vía o en un área abierta, el impacto de un caído de roca puede resultar en víctimas humanas.

Entre mayor sea la velocidad de desplazamiento del bloque, el riesgo de vidas humanas puede ser mayor. Si la velocidad del movimiento es inferior a un metro por minuto, se puede considerar que el riesgo social es muy bajo. Igualmente, el riesgo varía si se trata de peatones, personas en viviendas o en vehículos. También es importante destacar que dependiendo de la posición de las viviendas con respecto a la ladera varía el riesgo, ya que si la casa o infraestructura se encuentra en inmediaciones del talud o en la parte baja de éste, existe un riesgo más grande que si se encuentra relativamente alejada.

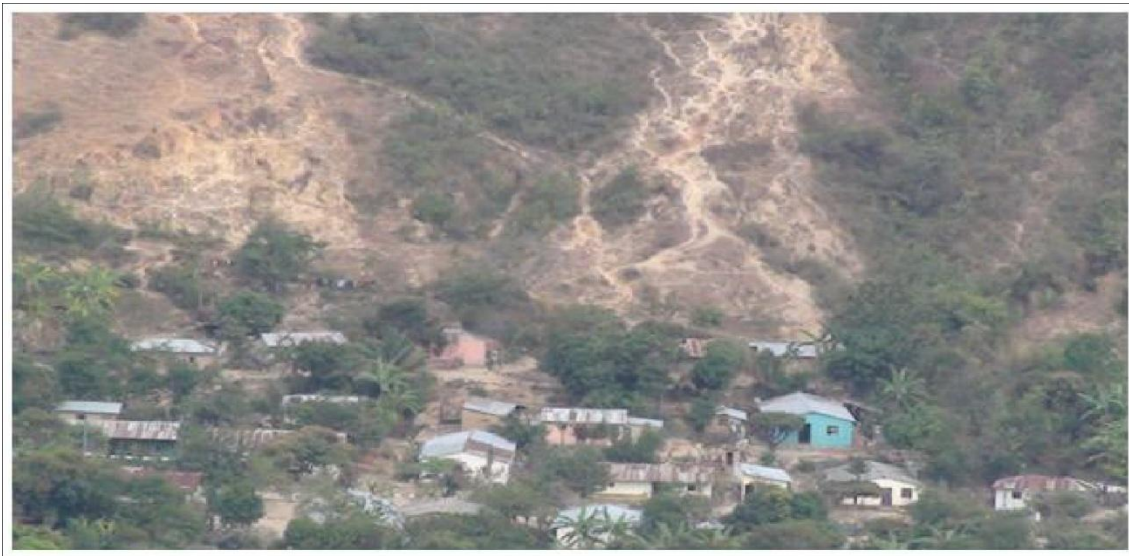


Foto 47: Riesgo social y riesgo económico

El riesgo económico es el valor de las pérdidas económicas después de la acción de un determinado deslizamiento. La evaluación del riesgo económico local y regional, puede realizarse en forma similar a como se evalúa la amenaza por los deslizamientos.

El riesgo ambiental trata de la evaluación de las consecuencias ambientales negativas de un deslizamiento, es un problema muy complejo.

Adicionalmente a la evaluación de las consecuencias ambientales, también se incluye la predicción tentativa de las características de los deslizamientos como profundidad, velocidad del movimiento y longitud de desplazamiento, las cuales van a determinar la afectación ambiental. Las consecuencias de un deslizamiento pueden ser definidas en consecuencias directas ó indirectas y están subdivididas en cercanas y remotas.

13.2 GENERACION DEL MAPA DE RIESGO

Para la generación del mapa de riesgo se cruzaron el mapa de amenaza y el mapa de vulnerabilidad además de las observaciones que se van generando en el cruce de estos mapas.

Por lo anteriormente dicho, se observo el mapa de amenaza que arrojo el estudio con los diferentes parámetros se evidencia que los corregimiento de Chemesquemena y Guatapuri que son los centros poblados del área de análisis presentan una amenaza baja por tal motivo independientemente de la vulnerabilidad el estudio de riesgo social y de estructuras es básicamente bajo.

13.3 ELABORACION DEL MAPA DE RIESGO

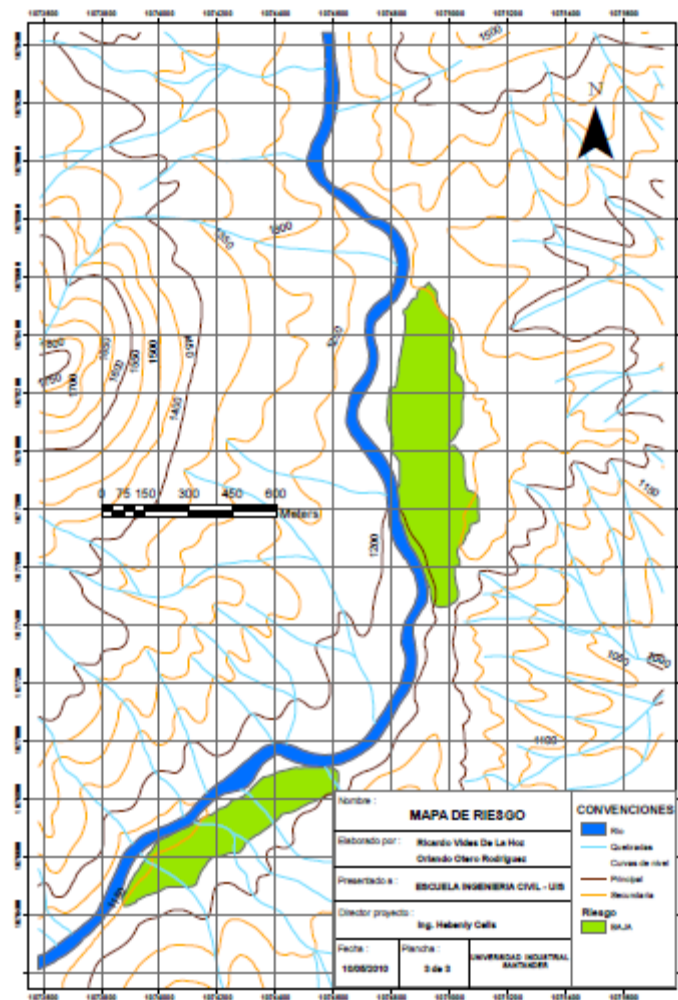


Figura 65: Mapa de riesgo

RECOMENDACIONES

- La realización de un estudio hidrogeológico que permita conocer las zonas de recarga de acuíferos y los niveles freáticos que puedan afectar en la susceptibilidad de las laderas a posibles deslizamientos.
- Evitar la realización de planes de urbanización en las zonas que se encuentren ubicadas en nivel muy alto y alto en el mapa de amenazas que fue producto de esta investigación.
- La elaboración de una campaña educativa acerca del manejo de la erosión que permitan crear una conciencia acerca de la problemática que está presente en esta zona.
- Realizar seguimientos en las zonas que se identifican en el **mapa de amenaza** como zonas de amenaza muy alta y alta.
- Concientizar a los líderes del resguardo indígena Kankuamo que es necesario realizar diferentes estudios en su territorio debido a que esta cuenca es de suma importancia para el desarrollo de las diferentes comunidades a las cuales el río Guatapurí abastece de agua.



Foto 48: Deslizamiento en San José

- Para este deslizamiento que está en las riveras del río que presenta una fuerte pendiente y gran desprendimiento de material orgánico se recomienda realizar una conformación del talud y revegetalización. La conformación del talud se realiza en forma de gradas o bermas para disminuir la pendiente y que se pueda establecer vegetación. Esta vegetación a orillas de un río debe predominar la nativa pero además una gran solución puede ser el Bambú (*Bambusa guadua*), este árbol es invasivo y es muy eficiente en el control de erosión.



Foto 49: Bambú (Bambusa Guadua)
Fuente: <http://www.erosion.com.co>

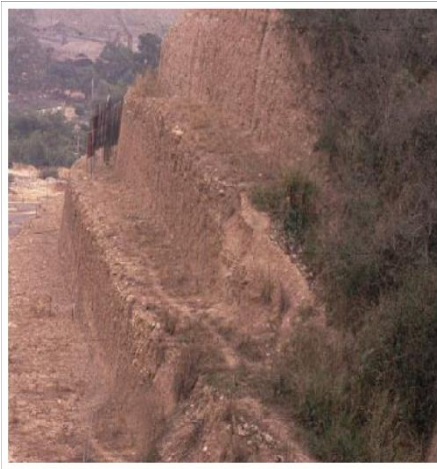


Foto 50: Gradas y bermas
Fuente: <http://www.erosion.com.co>



Foto 51: Barranco en Guatapurí

- En esta zona que se puede evidenciar claramente la falta de vegetación y una gran meteorización, lo más aconsejable es no construir cerca al pie de la ladera, además se debe crear un diseño de vegetación dirigido por un especialista en plantas de la mano de la comunidad para generar conciencia acerca del manejo de erosión.



Foto 52: Terrazas con vegetación

Fuente: <http://www.erosion.com.co>



Foto 53: Sembrado de vegetación

Fuente: <http://www.erosion.com.co>

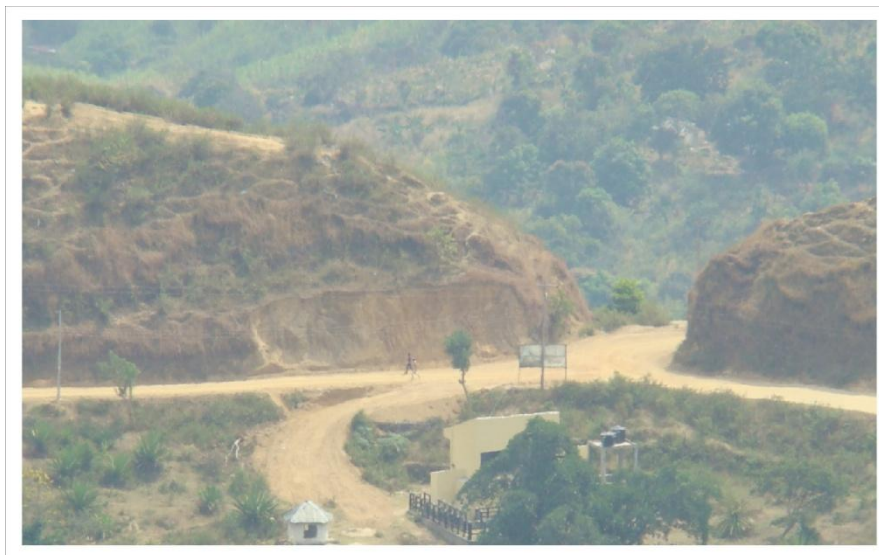


Foto 54: Desvió para Chemesquemena y Guatapurí

- En este sector se detalla que las laderas fueron afectadas por el corte inadecuado que se hizo para la construcción de la vía que generó que la pendiente del talud haya aumentado y se encuentre inestable. Para esta problemática se pueden plantear varias soluciones, una de estas es la conformación del talud por medio de terrazas con una debida protección de vegetación, otra puede ser el corte de la cabeza para prevenir un posible deslizamiento.

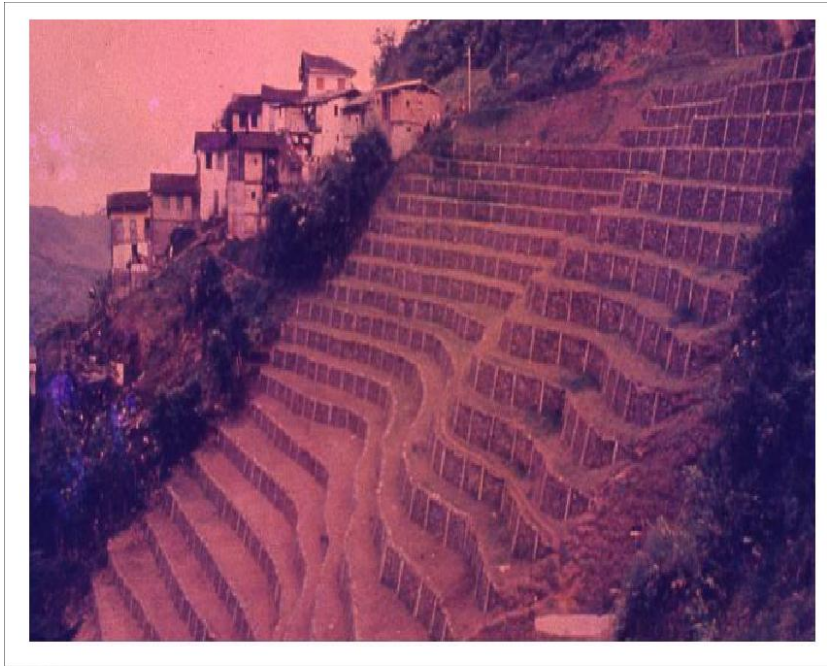


Foto 55: Terrazas

Fuente: <http://www.erosion.com.co>



Foto 56: Deslizamiento en Chemesquemena

- Este es un movimiento lento pero de una gran envergadura que se encuentra en el corregimiento de Chemesquemena, en este movimiento se encuentra con gran vegetación de cultivos, para este se recomienda mejorar el sistema de control de riego debido a que hay pueden haber grandes infiltraciones de agua que influyen en posibles deslizamientos.

CONCLUSIONES

- De acuerdo al estudio geotécnico realizado, se obtuvo que los suelos predominantes en la zona son las arenas arcillosas (sc) ya que en todos los puntos donde se tomaron muestras se obtuvo como resultado este tipo de suelo.
- Tanto la información secundaria como la que se obtuvo en el proceso de fotointerpretación concuerda con lo que se observó en las visitas de campo que se realizaron el 12 de febrero del año 2010 y el 27 de marzo del año 2010.
- En los centros poblados predomina una pendiente suave, en su mayoría el terreno no sobrepasa una inclinación igual o mayor al 32%.
- La vegetación en la parte media de la cuenca básicamente se encontró como tipos de cobertura vegetal los bosques, rastrojos, cultivos y pastos, con una clara superioridad de rastrojos con un porcentaje de 47% del área total.
- En la zona de estudio existen áreas totalmente erosionadas primando principalmente la erosión lineal que tienden a convertirse en surcos y cárcavas.
- Se determinó que no se establece factor detonante en la zona de estudio, por lo que la amenaza depende únicamente de la susceptibilidad que tiene cada parámetro de análisis.

- El modelo que mejor se adapta a la amenaza de la zona es aquel en el que se le da valores a la geología 30%, cobertura suelo 35%, fisiografía 25%, pendientes 9% y sismicidad 1%.
- La región es claramente una zona de muy baja sismicidad por lo que este parámetro no se establece como prioridad en el manejo de la vulnerabilidad.
- Las viviendas de los corregimientos se caracterizan por tener solo tres tipos de tipologías que se reparten en 47% Tipo 1 (Piso de mortero, pared de barro o adobe, techo de zinc), 34% Tipo 2 (Piso de mortero, pared en mampostería, techo en zinc.), 18% Tipo 3 (Piso de mortero, pared en mampostería, techo de eternit.).
- En los centros urbanos de la zona, el riesgo que existe por deslizamientos es bajo garantizándose así la seguridad y tranquilidad para los habitantes.
- La comunidad fue receptiva a que deben recibir capacitación acerca de la prevención, manejo y mitigación del riesgo.

BIBLIOGRAFIA

- Suarez Díaz, Jaime.” Deslizamientos” Versión 2009 tomos 1 y 2
- Suarez Díaz; Jaime. <http://www.erosion.com.co>
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS: “Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa”. Publicaciones INGEOMINAS, 2001.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería. INGEOMINAS. <http://www.ingeminas.gov.co/>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. <http://www.igac.gov.co/>
- Corporación Autónoma Regional del Cesar. CORPOCESAR. <http://www.corpocesar.gov.co/>
- Secretaria de planeación municipal, VALLEDUPAR.

14 ANEXOS

ANEXO 1: LABORATORIOS DE CARACTERIZACION DE SUELOS

El desarrollo de los laboratorios se realizo en las instalaciones de la Universidad del Magdalena en el edificio de laboratorios integrados de ingeniería civil, y fueron realizados por el personal de la universidad.

A continuación se presentara los resultados de estos laboratorios que fueron realizados en la semana del 12 al 16 de Abril del 2010.

14.1.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

14.1.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Muestra: # 1

WTMS (gr): 157.1

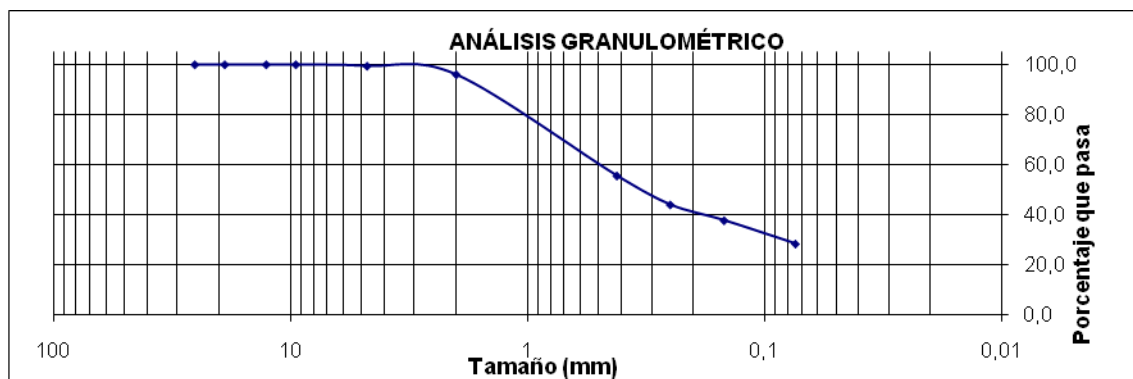
WTMS (gr): Peso total muestra seca

WTLT200 (gr): 114.9

WTLT200 (gr): Peso total seco lavado sobre tamiz -200

Error (%): 8.7

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1	25.4	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4	19	0	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2	12.7	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8	9.51	0	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.76	1.7	1.81	1.0	1.0	99.0
10	2	18	19.19	10.8	11.8	88.2
40	0.42	79.6	84.85	47.6	59.4	40.6
60	0.25	16.5	17.59	9.9	69.2	30.8
100	0.148	9.5	10.13	5.7	74.9	25.1
200	0.074	13.7	14.60	8.2	83.1	16.9
Fondo	---	4	4.26	16.5	99.6	0.4
	Suma	143	152.4			



Muestra: # 2

WTMS (gr): 178.3

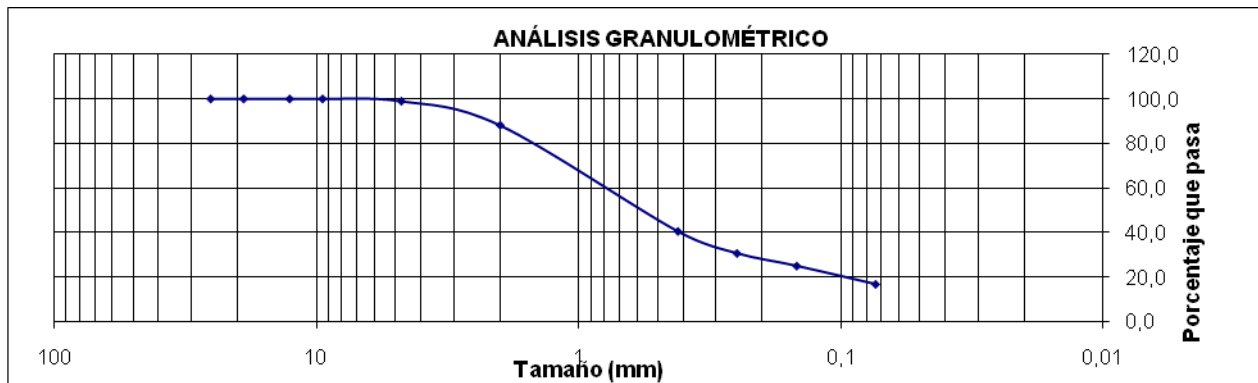
WTMS (gr): Peso total muestra seca

WTLT200 (gr): 153.1

WTLT200 (gr): Peso total seco lavado sobre tamiz -200

Error (%): 6.6

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1	25.4	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4	19	0	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2	12.7	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8	9.51	0	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.76	1.7	1.81	1.0	1.0	99.0
10	2	18	19.19	10.8	11.8	88.2
40	0.42	79.6	84.85	47.6	59.4	40.6
60	0.25	16.5	17.59	9.9	69.2	30.8
100	0.148	9.5	10.13	5.7	74.9	25.1
200	0.074	13.7	14.60	8.2	83.1	16.9
Fondo	---	4	4.26	16.5	99.6	0.4
	Suma	143	152.4			



Muestra: # 3

WTMS (gr): 204.8

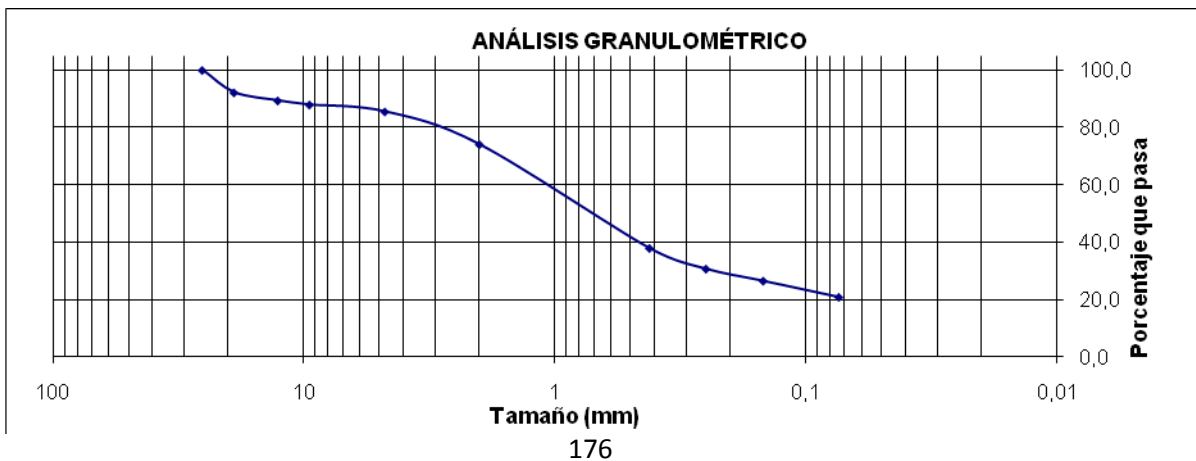
WTMS (gr): Peso total muestra seca

WTLT200 (gr): 138.3

WTLT200 (gr): Peso total seco lavado sobre tamiz ·200

Error (%): 8.75

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1	25.4	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4	19	0	0.00	0.0	0.0	100.0
1/2	12.7	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8	9.51	0	0.00	0.0	0.0	100.0
4	4.76	0	0.00	0.0	0.0	100.0
10	2	1.2	1.30	0.6	0.6	99.4
40	0.42	52.2	56.77	27.7	28.4	71.6
60	0.25	14.3	15.55	7.6	35.9	64.1
100	0.148	10.2	11.09	5.4	41.4	58.6
200	0.074	32.8	35.67	17.4	58.8	41.2
Fondo	---	15.5	16.86	40.7	99.5	0.5
Suma		126.2	137.2			



Muestra: # 4

WTMS (gr): 195.3

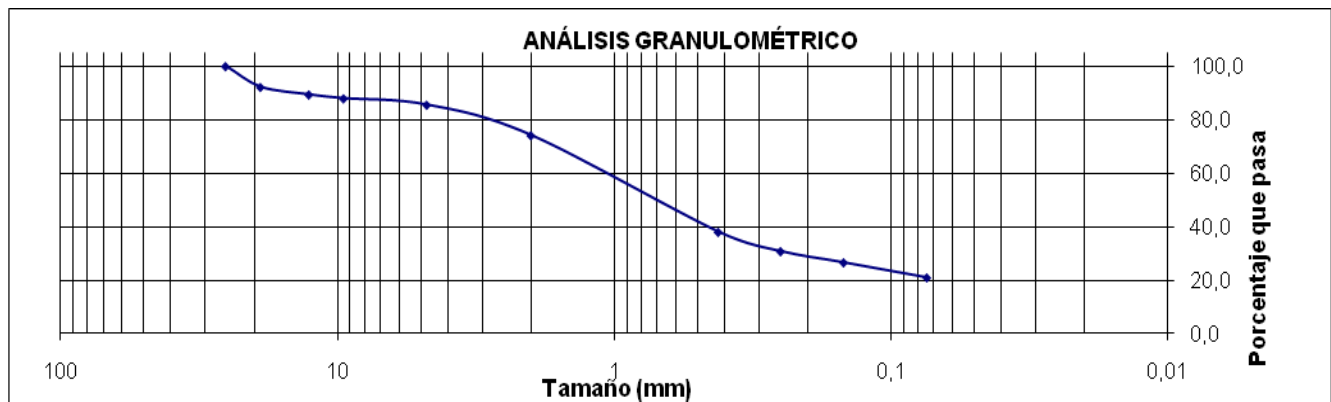
WTMS (gr): Peso total muestra seca

WTLT200 (gr): 156.2

WTLT200 (gr): Peso total seco lavado sobre tamiz ·200

Error (%): 0.19

TAMIZ US ESTÁNDAR	TAMIZ (mm)	PESO SUELO RETENIDO (g)	PESO SUELO RETENIDO CORREGIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
1	25.4	0	0.00	0.0	0.0	100.0
3/4	19	15.2	15.23	7.8	7.8	92.2
1/2	12.7	5.5	5.51	2.8	10.6	89.4
3/8	9.51	2.8	2.81	1.4	12.1	87.9
4	4.76	4.7	4.71	2.4	14.5	85.5
10	2	22.3	22.34	11.4	25.9	74.1
40	0.42	70.6	70.74	36.2	62.1	37.9
60	0.25	14.1	14.13	7.2	69.4	30.6
100	0.148	8.2	8.22	4.2	73.6	26.4
200	0.074	11	11.02	5.6	79.2	20.8
Fondo	---	1.5	1.50	20.8	100.0	0.0
Suma		155.9	156.2			

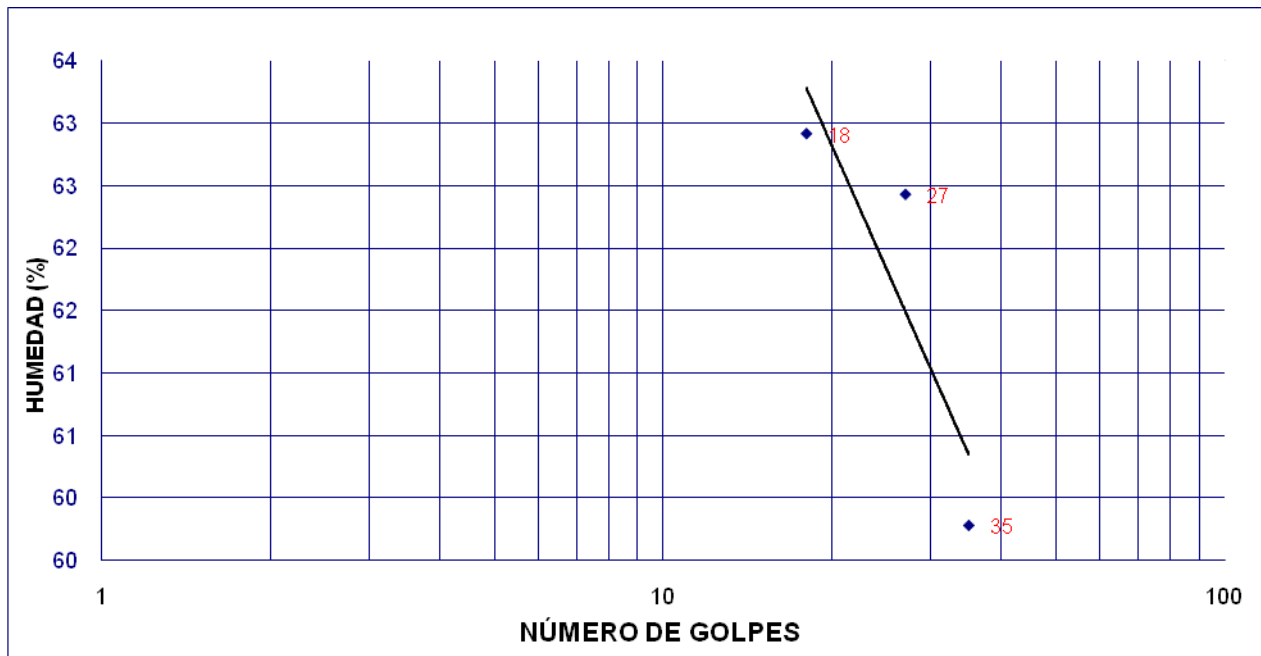


14.1.2 ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

14.1.2.1 ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO Y PLASTICO

Muestra: # 1

LIMITE LÍQUIDO				LIMITE PLÁSTICO
Número de Golpes(N)	23	24	29	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(P1)g	40.6	45.3	34.1	12.0
Peso Suelo Seco + Recipiente (P2)g	29.1	32.3	25.4	11.8
Peso del Recipiente (P3)g	10	10	10	10.0
Contenido de Humedad %	60.2	58.3	56.5	11.1



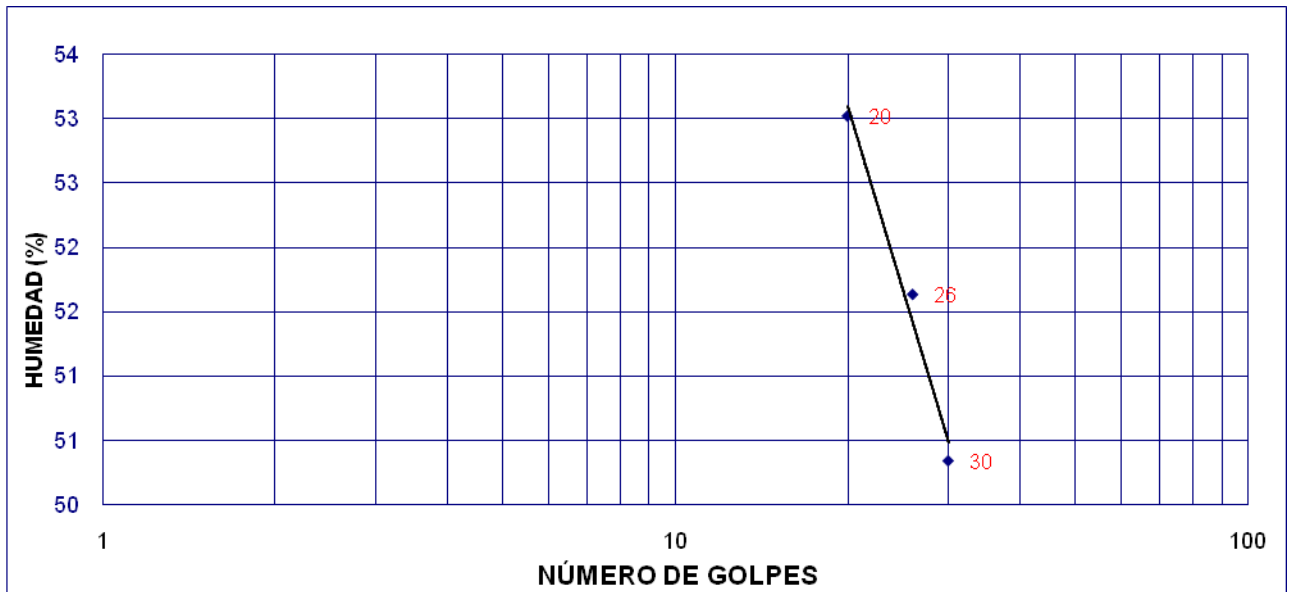
Límite líquido (%): 58.33

Límite plástico (%): 11.11

Índice de plasticidad (%): 47.22

Muestra: # 2

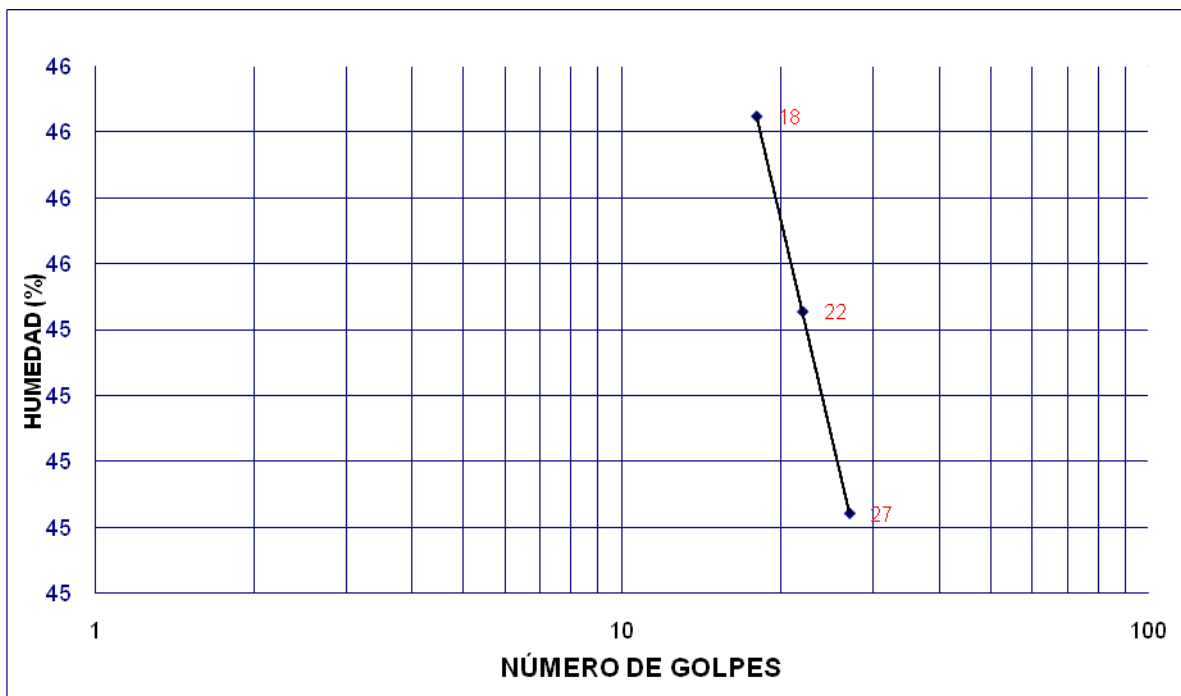
LIMITE LÍQUIDO				LIMITE PLÁSTICO
Número de Golpes(N)	20	26	30	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(P1)g	32,8	33,2	32,1	12,1
Peso Suelo Seco + Recipiente (P2)g	24,9	25,3	24,7	11,8
Peso del Recipiente (P3)g	10	10	10	10
Contenido de Humedad %	53	51,6	50,3	16,7



Limite líquido (%): 51.66
Limite plástico (%): 16.7
Índice de plasticidad (%): 35

Muestra: # 3

LIMITE LÍQUIDO				LIMITE PLÁSTICO
Número de Golpes(N)	18	22	27	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(P1)g	41.4	45.2	42.3	Np
Peso Suelo Seco + Recipiente (P2)g	31.5	34.2	32.3	Np
Peso del Recipiente (P3)g	10	10	10	Np
Contenido de Humedad %	46.0	45.5	44.8	Np



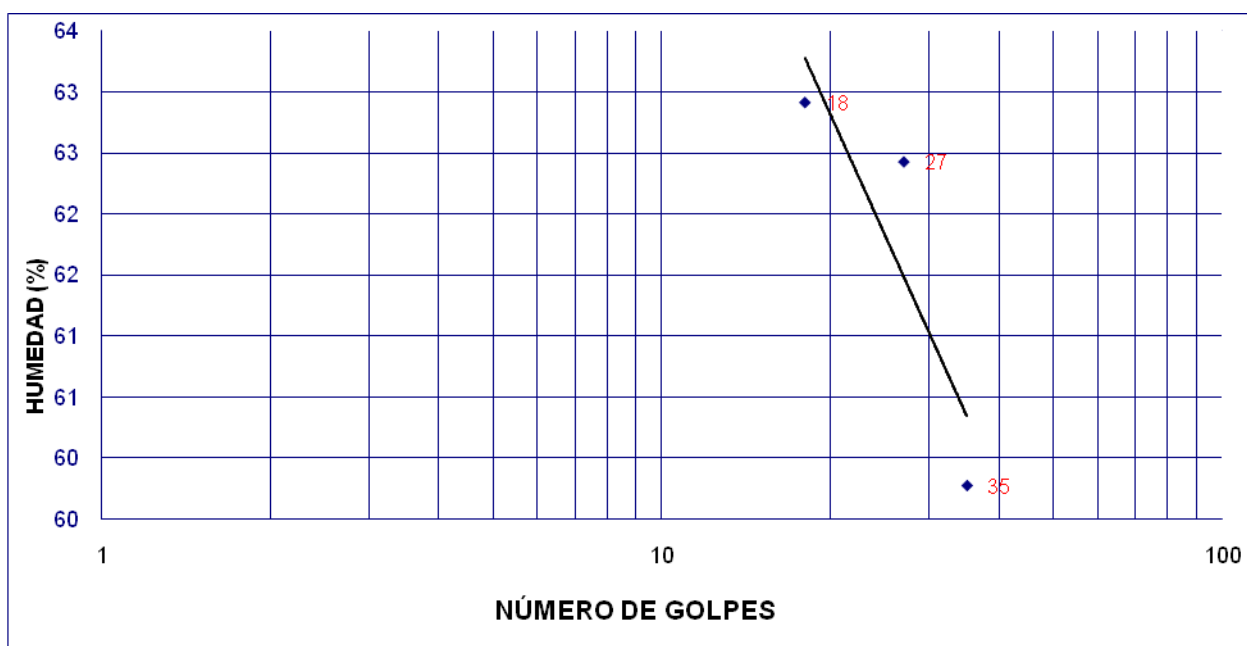
Limite líquido (%): 45.45

Limite plástico (%): Np

Índice de plasticidad (%): 45.45

Muestra: # 4

LIMITE LÍQUIDO				LIMITE PLÁSTICO
Número de Golpes(N)	18	27	35	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(P1)g	34.6	38.1	38.6	13.2
Peso Suelo Seco + Recipiente (P2)g	25.1	27.3	27.9	12.7
Peso del Recipiente (P3)g	10	10	10	10.0
Contenido de Humedad %	62.9	62.4	59.8	18.5



Limite líquido (%): 61.71
Limite plástico (%): 18.52
Índice de plasticidad (%): 43.19

14.1.2.2 ENSAYO DE LIMITE DE CONTRACCION

Muestra: # 1

LIMITE DE CONTRACCION	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(W1)g	49.2
Peso Suelo Seco + Recipiente (W2)g	38.5
Peso del Recipiente (W3)g	20.8
Volumen del suelo húmedo (V)cm³	16
Volumen del suelo seco (Vo)cm³	12.5
Peso unitario del agua (g/cm³)	1
Contenido de humedad (w) %	60.45
Peso Suelo Húmedo (W) g	28.40
Peso Suelo Seco (Wo)	17.70
Limite de contracción (%)	40.68

Muestra: # 2

LIMITE DE CONTRACCION	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(W1)g	48.3
Peso Suelo Seco + Recipiente (W2)g	39.3
Peso del Recipiente (W3)g	20.8
Volumen del suelo húmedo (V)cm³	16
Volumen del suelo seco (Vo)cm³	13
Peso unitario del agua (g/cm³)	1
Contenido de humedad (w) %	48.65
Peso Suelo Húmedo (W) g	27.50
Peso Suelo Seco (Wo)	18.50
Limite de contracción (%)	32.43

Muestra: # 3

LIMITE DE CONTRACCION	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(W1)g	49.4
Peso Suelo Seco + Recipiente (W2)g	40.4
Peso del Recipiente (W3)g	20.8
Volumen del suelo húmedo (V)cm3	16
Volumen del suelo seco (Vo)cm3	15.5
Peso unitario del agua (g/cm3)	1
Contenido de humedad (w) %	45.92
Peso Suelo Húmedo (W) g	28.60
Peso Suelo Seco (Wo)	19.60
Limite de contracción (%)	43.37

Muestra: # 4

LIMITE DE CONTRACCION	
Peso Suelo Húmedo + Recipiente(W1)g	50.8
Peso Suelo Seco + Recipiente (W2)g	41.5
Peso del Recipiente (W3)g	20.8
Volumen del suelo húmedo (V)cm3	16
Volumen del suelo seco (Vo)cm3	12
Peso unitario del agua (g/cm3)	1
Contenido de humedad (w) %	44.93
Peso Suelo Húmedo (W) g	30.00
Peso Suelo Seco (Wo)	20.70
Limite de contracción (%)	25.60

14.1.3 ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Muestra: # 1

Perforación (P) / Apique (A)	M1
Muestra	-
Profundidad (m)	-
Método de Remoción de Aire	Bomba de vacío
Peso Frasco + Agua + Suelo (W_{bws}), g.	715,4
Peso Frasco + Agua (W_{bw}), g	675,7
Peso de la muestra seca (W_s), g.	62,9
Temperatura Agua °C	22,5
Factor de corrección (K)	0,99945
Gravedad Específica, Gs	2,71

Muestra: # 2

Perforación (P) / Apique (A)	M2
Muestra	-
Profundidad (m)	-
Método de Remoción de Aire	Bomba de vacío
Peso Frasco + Agua + Suelo (W_{bws}), g.	363,9
Peso Frasco + Agua (W_{bw}), g	342,9
Peso de la muestra seca (W_s), g.	34,6
Temperatura Agua °C	22,5
Factor de corrección (K)	0,99945
Gravedad Específica, Gs	2,543

Muestra: # 3



Perforación (P) / Apique (A)	M3
Muestra	-
Profundidad (m)	-
Método de Remoción de Aire	Bomba de vacio
Peso Frasco + Agua + Suelo (W_{bws}), g.	360,3
Peso Frasco + Agua (W_{bw}), g	341,6
Peso de la muestra seca (W_s), g.	30,3
Temperatura Agua °C	22,5
Factor de corrección (K)	0,99945
Gravedad Específica, Gs	2,611

Muestra: # 4

Perforación (P) / Apique (A)	M4
Muestra	-
Profundidad (m)	-
Método de Remoción de Aire	Bomba de vacio
Peso Frasco + Agua + Suelo (W_{bws}), g.	695,1
Peso Frasco + Agua (W_{bw}), g	656,6
Peso de la muestra seca (W_s), g.	60,6
Temperatura Agua °C	22,5
Factor de corrección (K)	0,99945
Gravedad Específica, Gs	2,741

14.1.4 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

Muestra: # 1

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Fecha: <u>20 de Abril 2010</u>
		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	Localización: <u>Guatapurí</u>
		ENSAYO DE CORTE DIRECTO	Elaborado por: <u>Orlando Otero</u>
		INV E-154-07	Muestra: <u>1</u>
Carga Vertical (Kg):	<u>8</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>0,28</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>11,3</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,40</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>250,4</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>144,2</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>
DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)			
Peso de Tara (gr):	<u>11,2</u>	Peso Agua (gr):	<u>16,19</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>110,4</u>	Peso Seco(gr):	<u>83,01</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>94,21</u>	HUMEDAD (%):	<u>19,50%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,19</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,83</u>



Carga Vertical (Kg):	<u>16</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>0,57</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>17,3</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,61</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>252,3</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>146,1</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr):	<u>10,7</u>	Peso Agua (gr):	<u>17,38</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>112,8</u>	Peso Seco(gr):	<u>84,72</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>95,42</u>	HUMEDAD (%):	<u>20,51%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,22</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,84</u>



Carga Vertical (Kg):	<u>32</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>1,13</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>21,2</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,75</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>260,4</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>154,2</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

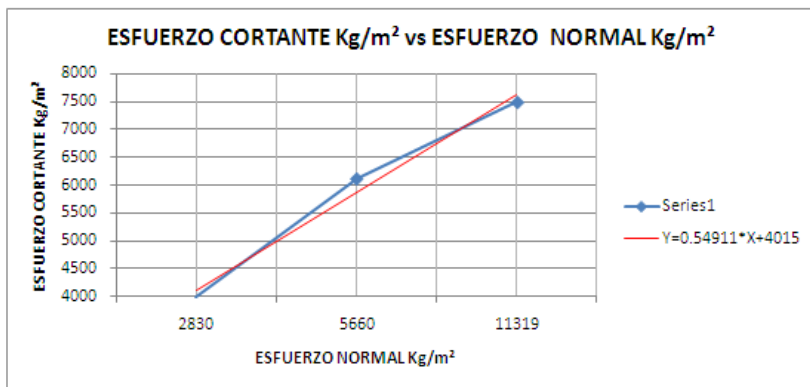
Peso de Tara (gr):	<u>11,4</u>	Peso Agua (gr):	<u>17,68</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>116,3</u>	Peso Seco(gr):	<u>87,22</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>98,62</u>	HUMEDAD (%):	<u>20,27%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,34</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,95</u>



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 INV E-154-07

Fecha: 20 de Abril 2010
 Localizacion: Guatapuri
 Elaborado por: Orlando Otero
 Muestra: 1

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0,002827	11,3	2830	3997
16	0,002827	17,3	5660	6120
32	0,002827	21,2	11319	7499



Muestra: # 2



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 ENSAYO DE CORTE DIRECTO
 INV E-154-07

Fecha: 20 de Abril 2010
 Localizacion: Guatapuri
 Elaborado por: Orlando Otero
 Muestra: 2

Carga Vertical (Kg):	<u>8</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>0,28</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>12,4</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,44</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>245,3</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>139,1</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr):	<u>10,5</u>	Peso Agua (gr):	<u>22,07</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>115,32</u>	Peso Seco(gr):	<u>82,75</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>93,25</u>	HUMEDAD (%):	<u>26,67%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,11</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,67</u>



Carga Vertical (Kg): 16
 Fuerza de corte (kg): 16,3

Esfuerzo Normal (Kg/cm²): 0,57
 Esfuerzo de corte (Kg/cm²): 0,58

Diametro superior (cm): 6
 Diametro central(cm): 6
 Diametro inferior (cm): 6
 Promedio Diametro (cm): 6

Peso del anillo (gr): 106,2
 Peso muestra + anillo (gr): 263,25
 Peso muestra (gr): 157,05
 Volumen (cm³): 65,88

Area (cm²): 28,27

Altura media (cm): 2,33

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr): 11,4
 P.Tara + Suelo Humedo (gr): 124,36
 P.Tara + Suelo Seco(gr): 99,62
 Densidad Humeda (gr/cm³): 2,38

Peso Agua (gr): 24,74
 Peso Seco(gr): 88,22
 HUMEDAD (%): 28,04%
 Densidad Seca (gr/cm³): 1,86



Carga Vertical (Kg): 32
 Fuerza de corte (kg): 20,4

Esfuerzo Normal (Kg/cm²): 1,13
 Esfuerzo de corte (Kg/cm²): 0,72

Diametro superior (cm): 6
 Diametro central(cm): 6
 Diametro inferior (cm): 6
 Promedio Diametro (cm): 6

Peso del anillo (gr): 106,2
 Peso muestra + anillo (gr): 245,32
 Peso muestra (gr): 139,12
 Volumen (cm³): 65,88

Area (cm²): 28,27

Altura media (cm): 2,33

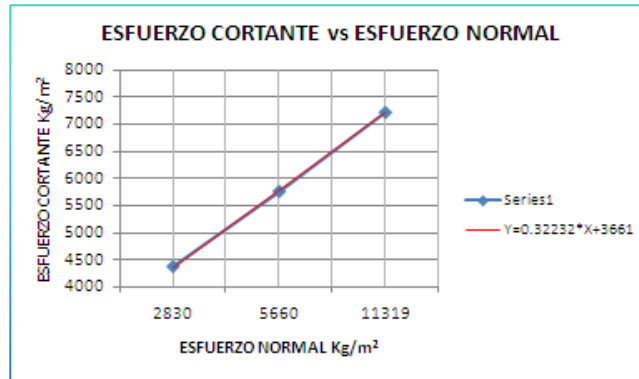
DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr): 10,8
 P.Tara + Suelo Humedo (gr): 122,64
 P.Tara + Suelo Seco(gr): 98,62
 Densidad Humeda (gr/cm³): 2,11

Peso Agua (gr): 24,02
 Peso Seco(gr): 87,82
 HUMEDAD (%): 27,35%
 Densidad Seca (gr/cm³): 1,66





CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0,002827	12,4	2830	4386
16	0,002827	16,3	5660	5766
32	0,002827	20,4	11319	7216



Muestra:

3

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Fecha: <u>20 de Abril 2010</u>
		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	Localizacion: <u>Guatapuri</u>
		ENSAYO DE CORTE DIRECTO	Elaborado por: <u>Orlando Otero</u>
		INV E-154-07	Muestra: <u>3</u>
Carga Vertical (Kg):	<u>8</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>0,28</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>10,5</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,37</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>255,62</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>149,42</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>
DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)			
Peso de Tara (gr):	<u>10,5</u>	Peso Agua (gr):	<u>17,98</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>124,12</u>	Peso Seco(gr):	<u>95,64</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>106,14</u>	HUMEDAD (%):	<u>18,80%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,27</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,91</u>



Carga Vertical (Kg): 16
Fuerza de corte (kg): 14,6

Esfuerzo Normal (Kg/cm²): 0,57
Esfuerzo de corte (Kg/cm²): 0,52

Diametro superior (cm): 6
Diametro central(cm): 6
Diametro inferior (cm): 6
Promedio Diametro (cm): 6

Peso del anillo (gr): 106,2
Peso muestra + anillo (gr): 248,75
Peso muestra (gr): 142,55
Volumen (cm³): 65,88

Area (cm²): 28,27

Altura media (cm): 2,33

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr): 11,4
P.Tara + Suelo Humedo (gr): 135,62
P.Tara + Suelo Seco(gr): 114,18
Densidad Humeda (gr/cm³): 2,16

Peso Agua (gr): 21,44
Peso Seco(gr): 102,78
HUMEDAD (%): 20,86%
Densidad Seca (gr/cm³): 1,79



Carga Vertical (Kg): 32
Fuerza de corte (kg): 19,6

Esfuerzo Normal (Kg/cm²): 1,13
Esfuerzo de corte (Kg/cm²): 0,69

Diametro superior (cm): 6
Diametro central(cm): 6
Diametro inferior (cm): 6
Promedio Diametro (cm): 6

Peso del anillo (gr): 106,2
Peso muestra + anillo (gr): 241,23
Peso muestra (gr): 135,03
Volumen (cm³): 65,88

Area (cm²): 28,27

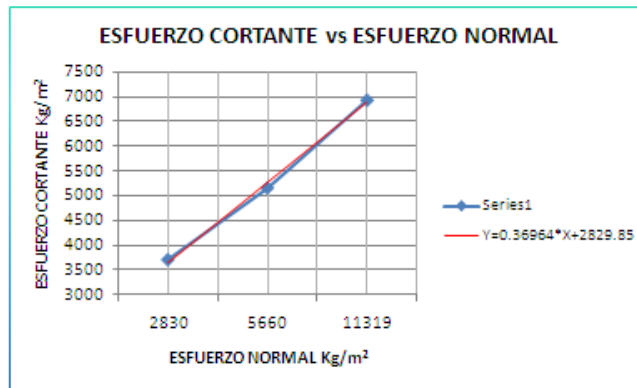
Altura media (cm): 2,33

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr): 11,4
P.Tara + Suelo Humedo (gr): 130,56
P.Tara + Suelo Seco(gr): 111,23
Densidad Humeda (gr/cm³): 2,05

Peso Agua (gr): 19,33
Peso Seco(gr): 99,83
HUMEDAD (%): 19,36%
Densidad Seca (gr/cm³): 1,72

CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0,002827	10,5	2830	3714
16	0,002827	14,6	5660	5164
32	0,002827	19,6	11319	6933



Muestra: # 4

Carga Vertical (Kg): 8
 Fuerza de corte (kg): 11,6

Esfuerzo Normal (Kg/cm²): 0,28
 Esfuerzo de corte (Kg/cm²): 0,41

Diametro superior (cm): 6
 Diametro central(cm): 6
 Diametro inferior (cm): 6
 Promedio Diametro (cm): 6

Peso del anillo (gr): 106,2
 Peso muestra + anillo (gr): 262,3
 Peso muestra (gr): 156,1
 Volumen (cm³): 65,88

Area (cm²): 28,27

Altura media (cm): 2,33

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr): 11,4
 P.Tara + Suelo Humedo (gr): 124,3
 P.Tara + Suelo Seco(gr): 100,3
 Densidad Humeda (gr/cm³): 2,37

Peso Agua (gr): 24
 Peso Seco(gr): 88,9
 HUMEDAD (%): 27,00%
 Densidad Seca (gr/cm³): 1,87



Carga Vertical (Kg):	<u>16</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>0,57</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>15,6</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,55</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>261,5</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>155,3</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr):	<u>10,7</u>	Peso Agua (gr):	<u>26,8</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>129,4</u>	Peso Seco(gr):	<u>91,9</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>102,6</u>	HUMEDAD (%):	<u>29,16%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,36</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,83</u>



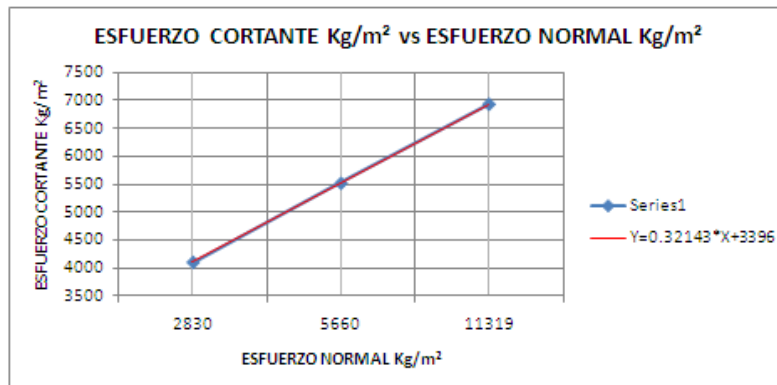
Carga Vertical (Kg):	<u>32</u>	Esfuerzo Normal (Kg/cm ²):	<u>1,13</u>
Fuerza de corte (kg):	<u>19,6</u>	Esfuerzo de corte (Kg/cm ²):	<u>0,69</u>
Diametro superior (cm):	<u>6</u>	Peso del anillo (gr):	<u>106,2</u>
Diametro central(cm):	<u>6</u>	Peso muestra + anillo (gr):	<u>260,4</u>
Diametro inferior (cm):	<u>6</u>	Peso muestra (gr):	<u>154,2</u>
Promedio Diametro (cm):	<u>6</u>	Volumen (cm ³):	<u>65,88</u>
Area (cm ²):	<u>28,27</u>	Altura media (cm):	<u>2,33</u>

DETERMINACION DE LA HUEMDAD (%)

Peso de Tara (gr):	<u>11,4</u>	Peso Agua (gr):	<u>26,2</u>
P.Tara + Suelo Humedo (gr):	<u>126,4</u>	Peso Seco(gr):	<u>88,8</u>
P.Tara + Suelo Seco(gr):	<u>100,2</u>	HUMEDAD (%):	<u>29,50%</u>
Densidad Humeda (gr/cm ³):	<u>2,34</u>	Densidad Seca (gr/cm ³):	<u>1,81</u>



CARGA VERTICAL Kg	AREA m ²	CARGA HORIZONTAL MAXIMA Kg	ESFUERZO NORMAL Kg/m ²	ESFUERZO CORTANTE Kg/m ²
8	0,002827	11,6	2830	4103
16	0,002827	15,6	5660	5518
32	0,002827	19,6	11319	6933



14.1.5 REGISTRO FOTOGRAFICO



Foto 57: Granulometría por tamiz



Foto 58: Limite líquido



Foto 59: Limite líquido



Foto 60: Limite plástico



Foto 61: Limite de contracción

ANEXO 2: INFORME DE SALIDA DE CAMPO

MOVIMIENTOS OBSERVADOS

- Barranco con procesos erosivos hídricos severos que ha generado movimientos o deslizamientos.

Coordenadas:

N: 1677938

Cota: 1255 msnm

E: 1075058

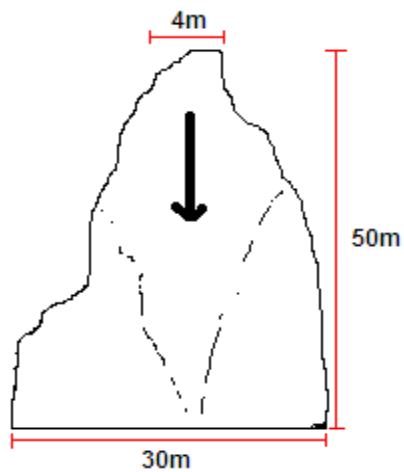


Figura 66: Barranco



Foto 62: Barranco erosionado

- Deslizamiento vía Chemesquemena debido al corte del pie del talud por obra de una maquina.

Coordenadas:

N: 1677143 Cota: 1199 msnm

E: 1074897

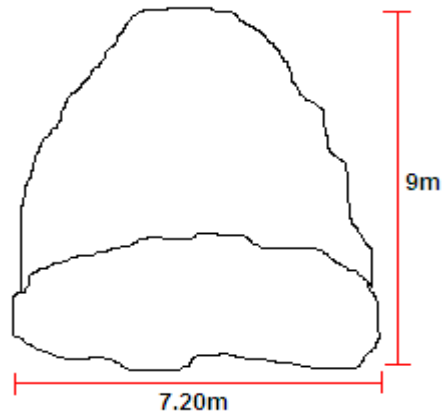


Figura 67: Deslizamiento



Foto 63: Deslizamiento en la vía

- Deslizamiento con presencia de material orgánico en el pie del talud debido al corte este movimiento es de forma planar.

Coordenadas:

N: 1677058 Cota: 1174 msnm

E: 1074834

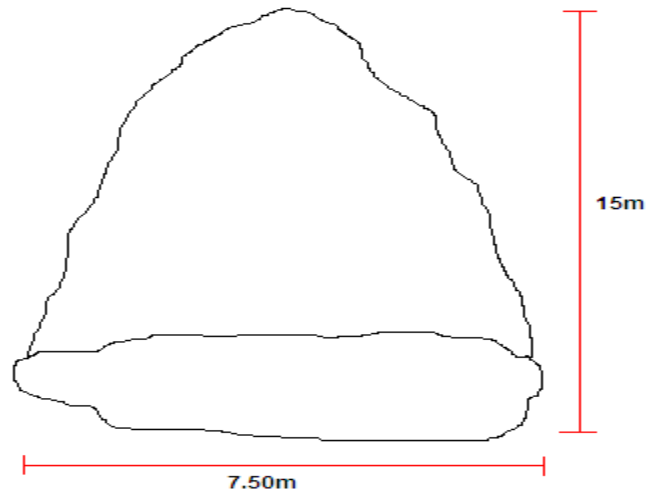


Figura 68: Deslizamiento



Foto 64: Deslizamiento ya con material orgánico

- Deslizamiento debido a trocha de camino desprendimiento planar con escarpe de 2 metros.

Coordenadas:

N: 1679917 Cota: 1176 msnm
E: 1074678

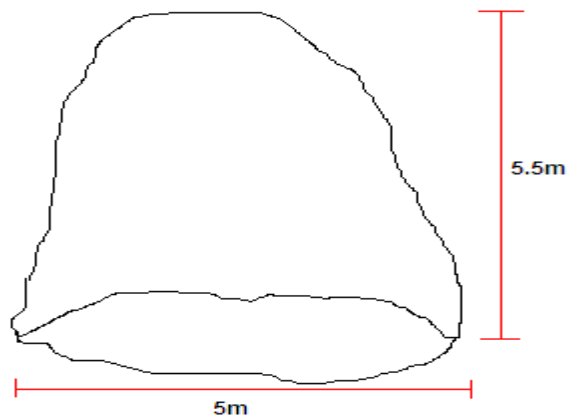


Figura 69: Deslizamiento



Foto 65: Deslizamiento en trocha

- Cárcava en el sector los bocones presenta un alto grado de meteorización y a futuro podrá convertirse en un barranco.

Coordenadas:

N: 1677226 Cota: 1474 msnm

E: 1073498

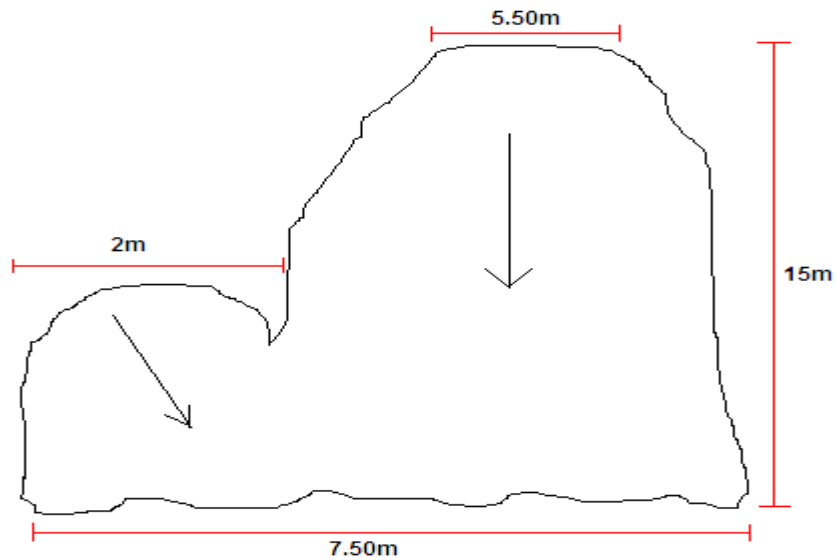


Figura 70: Cárcava



Foto 66: Cárcava en el sector los bocones

- Cambio brusco de vegetación de calva de erosión a un gran bosque.

Coordenadas:

N: 1677343

Cota: 1477 msnm

E: 1073560



Foto 67: Cambio de vegetación

- Primera muestra de la temperatura.

Coordenadas:

N: 1677521

Cota: 1481 msnm

E: 1073565

- $T_0=25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{10\text{cm}}=24.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{20\text{cm}}=23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{30\text{cm}}=23.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{40\text{cm}}=23.6\text{ }^{\circ}\text{C}$

- $T_{50\text{cm}}=23.5^{\circ}\text{C}$
 - $T_{60\text{cm}}=24.4^{\circ}\text{C}$
 - $T_{70\text{cm}}=24^{\circ}\text{C}$
 - $T_{80\text{cm}}=24^{\circ}\text{C}$
- Barranco de quebrada se encuentra seco debido al verano.
Coordenadas:

N: 1677648

Cota: 1475 msnm

E: 1073522



Foto 68: Barranco de quebrada

- Segunda muestra de temperatura.
Coordenadas:

N: 1677966

Cota: 1602 msnm

E: 1073557

- $T_0=36.8^{\circ}\text{C}$
- $T_{10\text{cm}}=40.5^{\circ}\text{C}$
- $T_{20\text{cm}}=38^{\circ}\text{C}$

- $T_{30\text{cm}}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{50\text{cm}}=36.8\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Tercera muestra de temperatura.

Coordenadas:

N: 1677716

Cota: 1216 msnm

E: 1064760

- $T_0=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{10\text{cm}}=25.6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{20\text{cm}}=25.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{30\text{cm}}=25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Primer Gavión a orilla de río Guatapuri en la zona de Chemesquemena.

Coordenadas:

N: 1676626

Cota: 1153 msnm

E: 1073939



Foto 69: Primer gavión

No se encuentra realizando la tarea para la que fue diseñada debido a que no se encuentra empotrado y se socava en la parte de la orilla.

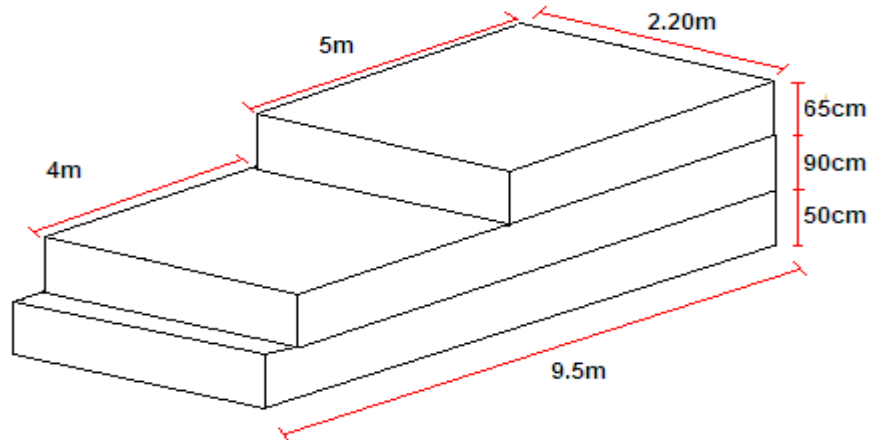


Figura 71: Primer gavión

- Segundo Gavión a orilla del rio Guatapuri en la zona de Chemesquemena.

Coordenadas:

N: 1676566

Cota: 1152 msnm

E: 1073950

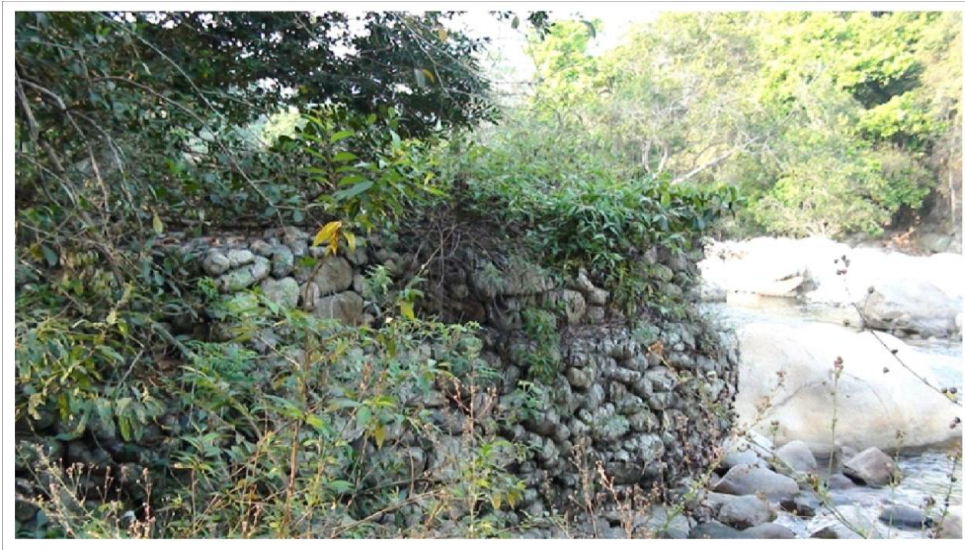


Foto 70: Segundo gabión

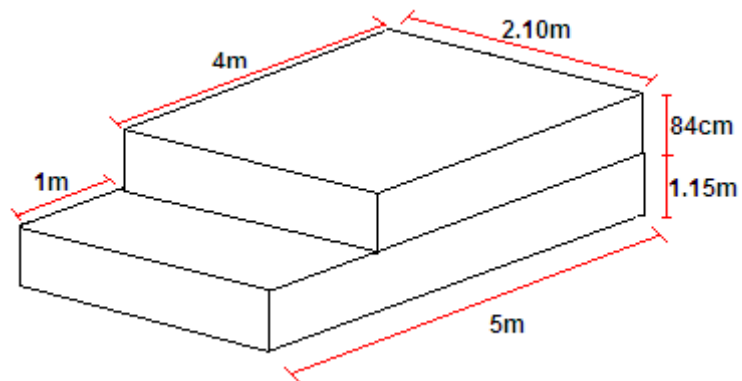


Figura 72: Segundo gabión

- Tercer Gavión a orilla del rio Guatapuri en la zona de Chemesquemena.
Coordenadas:

N: 1676544 Cota: 1150 msnm
E: 1073913



Foto 71: Tercer gavión

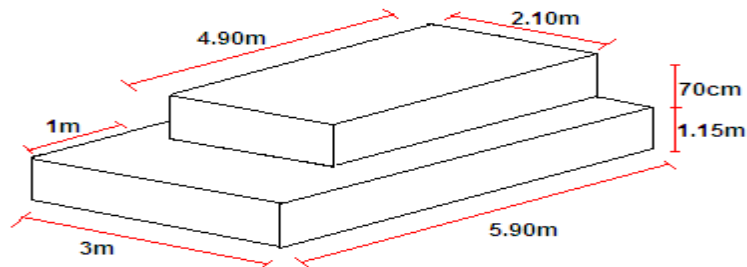


Figura 73: Tercer gavión

- Cuarto Gavión a orilla del rio Guatapuri en la zona de Chemesquemena.
Coordenadas:

N: 1676543 Cota: 1142 msnm
E: 1073904



Foto 72: Cuarto gavión

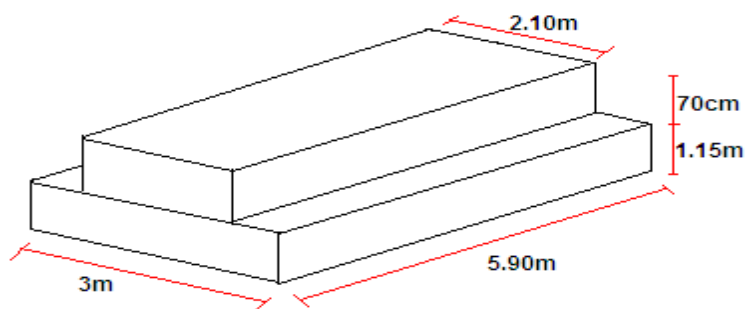


Figura 74: Cuarto gavión

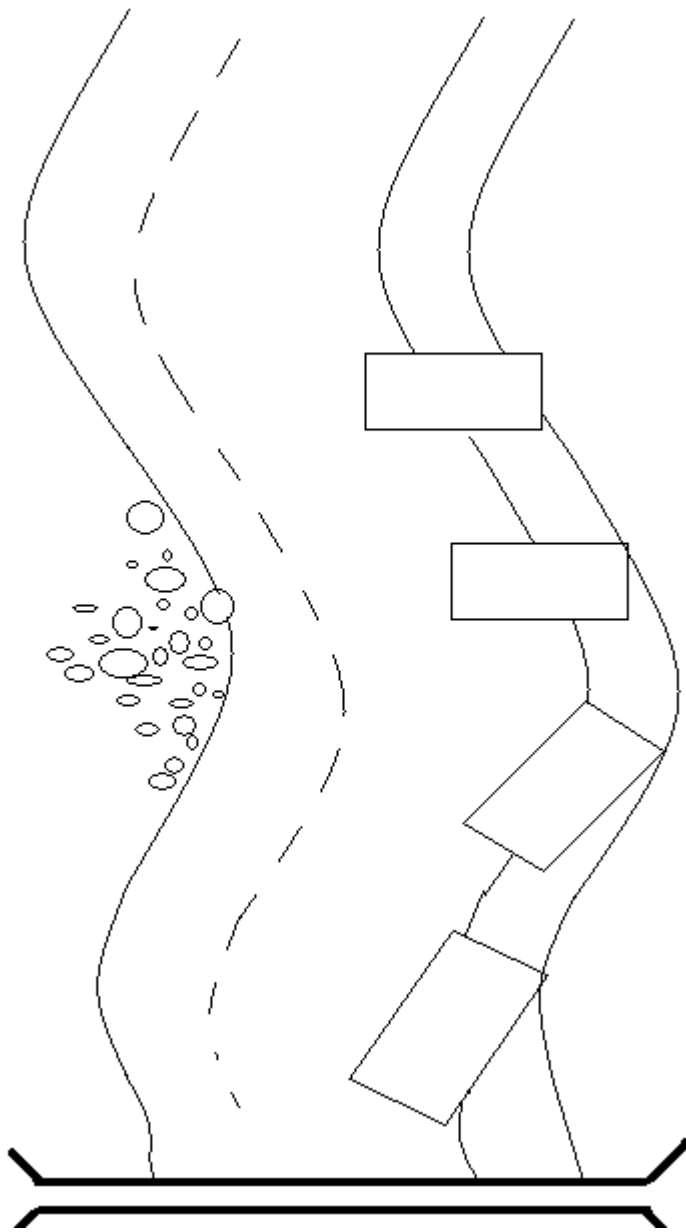


Figura 75: Vista en planta de los cuatro gaviones

- Primer punto donde se encuentra un escarpe de un deslizamiento grande pero lento.

Coordenadas:

N: 1676204 Cota: 1225 msnm
E: 1073844



Foto 73: Escarpe de deslizamiento

- Segundo punto donde se encuentra un escarpe de un deslizamiento grande pero lento.

Coordenadas:

N: 1676786 Cota: 1240 msnm
E: 1073857



Foto 74: Escarpe de deslizamiento

- Quema de vegetación por los indígenas.

Coordenadas:

N: 1678182

Cota: 1224 msnm

E: 1074689



Foto 75: Quema de vegetación

- Pequeño deslizamiento en la margen derecha del río.

Coordenadas:

N: 1678127

Cota: 1232 msnm

E: 1074667

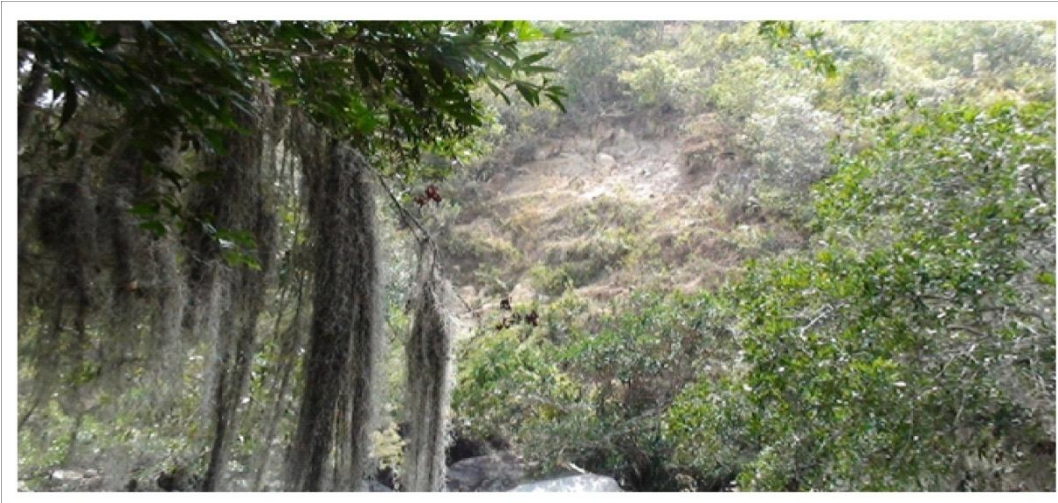


Foto 76: Pequeño deslizamiento

- En este lugar realizamos toma de temperatura.
 - $T_0=34.3^{\circ}\text{C}$
 - $T_{10\text{cm}}=34.4^{\circ}\text{C}$
 - $T_{20\text{cm}}=33.4^{\circ}\text{C}$
 - $T_{30\text{cm}}=34.5^{\circ}\text{C}$
 - $T_{40\text{cm}}=34.5^{\circ}\text{C}$

CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO

TABLA DE BIENIAWSKI

- **DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO: JGR GRANULITA DE LA SIERRA NEVADA DE SANTA MARTA.**

Rumbo y buzamiento

Familia 1:

RUMBO N69°E/ BUZAMIENTO 63°NW

Familia 2:

RUMBO N31°W/ BUZAMIENTO 82°NE

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	Comp. simple
		Compresión simple	25-5
Puntuación			2
2	RQD		<25%
	Puntuación		3
3	Separación entre diaclasa		0,06 – 0,2m
	Puntuación		8
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	<1m
		Puntuación	6
		Abertura	1 – 5 mm
		Puntuación	1
		Rugosidad	Ondulada
		Puntuación	1
		Relleno	Blando < 5mm
		Puntuación	2
		Alteración	Mod. Alterada
Puntuación	3		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0
		Estado general	Seco
	Puntuación		15
		Suma total	41

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

Clasificación del macizo rocoso Jgr Granulita de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Clase: III, calidad: media; puntuación: 41

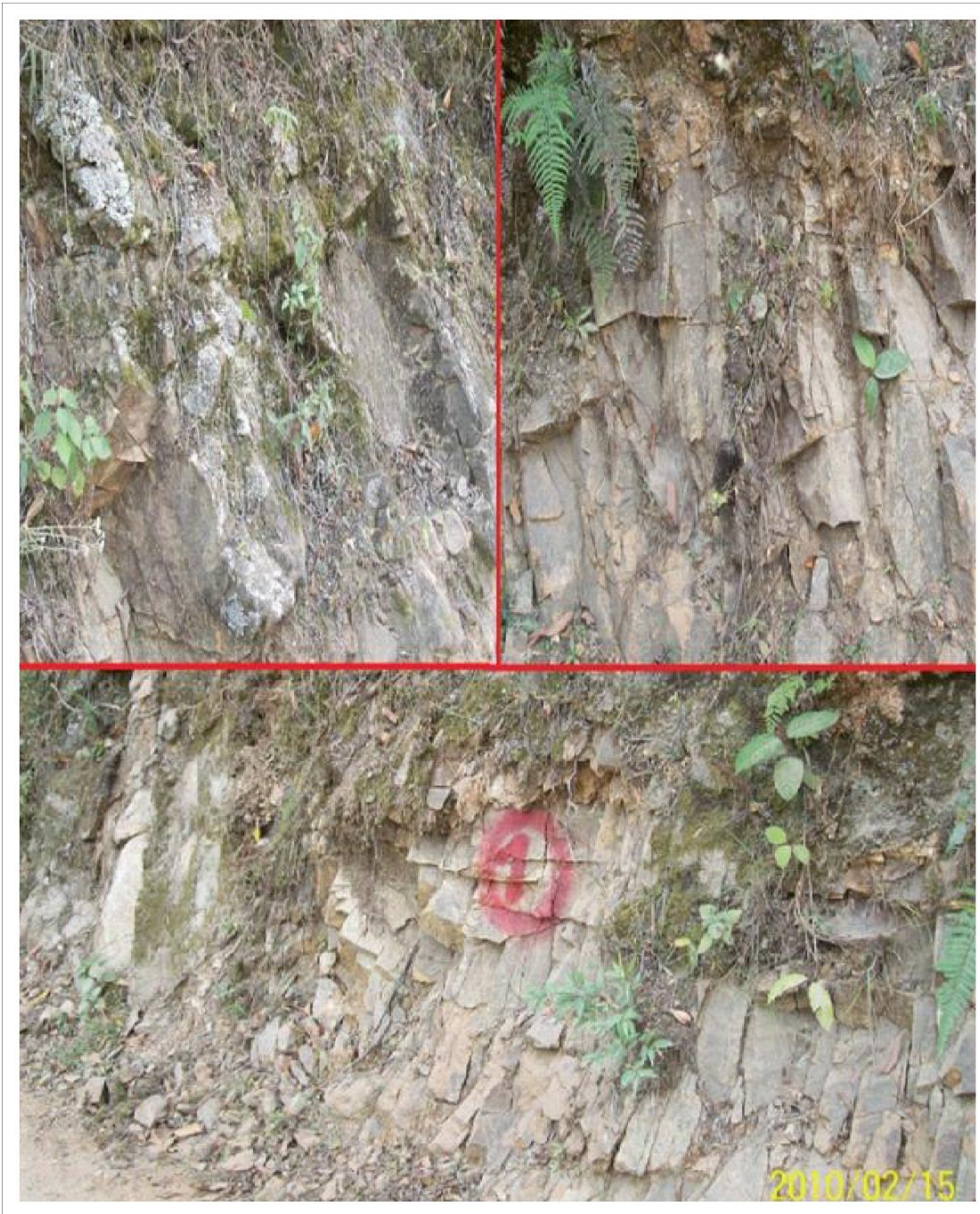


Foto 77: Granulita de la sierra nevada de santa marta

- **SAPROLITO UBICADA EN LA Y**

Rumbo y buzamiento

Familia 1:

RUMBO N76°E / BUZAMIENTO 57°NW

Familia 2:

RUMBO N34°W / BUZAMIENTO 73NE

Familia 3:

RUMBO N29°E / BUZAMIENTO 34 SE

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	Comp. Simple
		Compresión simple	5-1.
Puntuación			1
2	RQD		<25%
	Puntuación		3
3	Separación entre diaclasa		00,6 - 0,2m
	Puntuación		8
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	<1m
		Puntuación	6
		Abertura	nada
		Puntuación	6
		Rugosidad	Rugosa
		Puntuación	5
		Relleno	Ninguno
		Puntuación	6
		Alteración	Muy Alterada
		Puntuación	1
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0
		Estado general	Seco
	Puntuación		15
Suma total			51

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

Clase: III, Calidad: Media, Puntuación: 51



Foto 78: Saprolito ubicado en la "Y"

- **CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO: P&M PRECÁMBRICO GRANULITA DE LOS MANGOS.**

Rumbo y buzamiento

Familia 1:

RUMBO N50°E / BUZAMIENTO 65°SE

Familia 2:

RUMBO N70°E / BUZAMIENTO 55SE

Familia 3:

RUMBO N5°E / BUZAMIENTO 84 SE

Familia 4:

RUMBO N86°E / BUZAMIENTO 46 SE



Foto 79: Precámbrico granulita de los mangos

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	10-4.
		Compresión simple	250-100
		Puntuación	12
2	RQD		90%-100%
	Puntuación		20
3	Separación entre diaclasa		0,6 - 2m
	Puntuación		15
4	Estado de las discontinuidades	Longitud	1 - 3m
		Puntuación	4
		Abertura	0,1 - 1,0mm
		Puntuación	3
		Rugosidad	Rugosa
		Puntuación	5
		Relleno	Blando < 5mm
		Puntuación	2
		Alteración	Inalterada
		Puntuación	6
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0
		Estado general	Seco
	Puntuación		15
		Suma total	82

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	<20

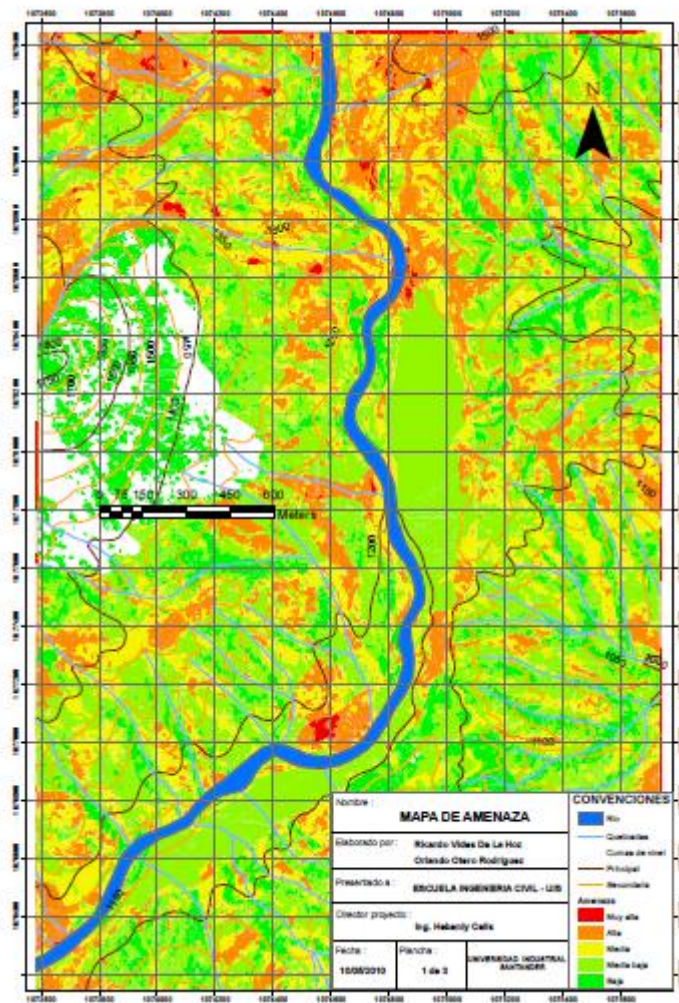
Clase I calidad muy buena puntuación 82.

ANEXO 3: Encuesta socio-económica

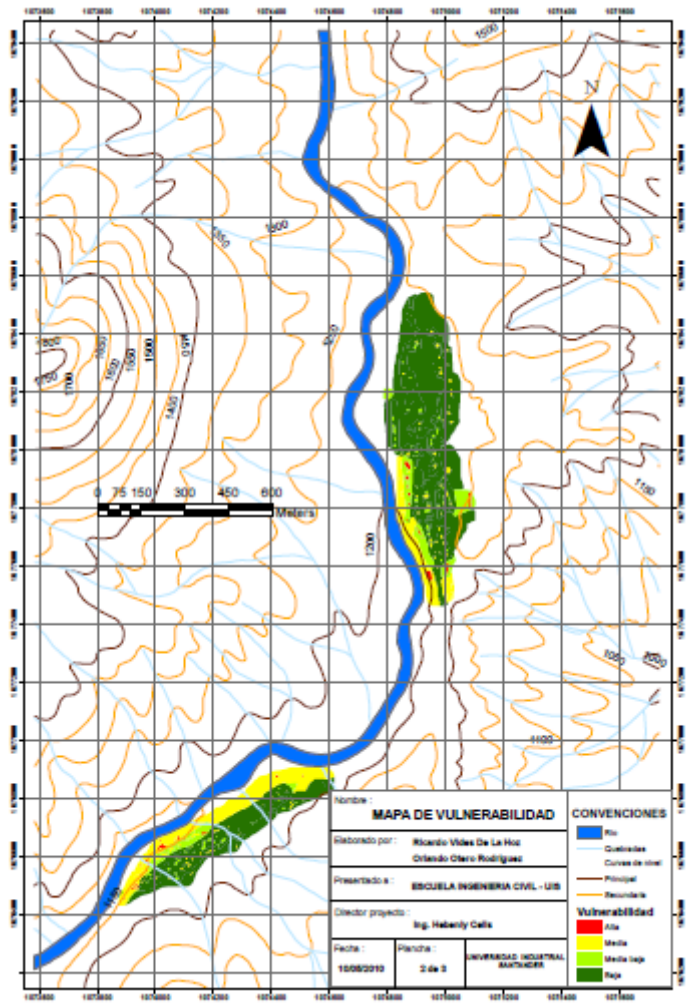
ENCUESTA SOCIO- ECONOMICA	
I. IDENTIFICACION	
No. De Encuesta _____ Fecha _____	Departamento _____ Municipio _____
II. DATOS DEL HOGAR	
1. Numeros de personas del hogar	<input type="text"/>
2. Grado de escolaridad del jefe de hogar	<input type="text"/>
a. Primaria	<input type="text"/>
b. Secundaria	<input type="text"/>
c. Universitaria	<input type="text"/>
d. No tiene	<input type="text"/>
3. Cuantas personas aportan en la casa	<input type="text"/>
III. DATOS DE LA VIVIENDA	
4. Su vivienda se ha visto afectada por fenomenos naturales	<input type="text"/>
a. Deslizamientos	<input type="text"/>
b. Avalanchas	<input type="text"/>
c. Inundaciones	<input type="text"/>
d. Otros	<input type="text"/>
e. Ninguno	<input type="text"/>
5. La vivienda donde habita es	<input type="text"/>
a. Arrendada	<input type="text"/>
b. Propia	<input type="text"/>
c. Familiar	<input type="text"/>
d. Otra condición	<input type="text"/>
6. Tiempo de estar viviendo en esta vivienda	<input type="text"/>
a. 0-2 años	<input type="text"/>
b. 2-5 años	<input type="text"/>
c. 5-10 años	<input type="text"/>
d. Más de 10 años	<input type="text"/>
7. De donde obtiene el agua que consumen	<input type="text"/>
a. Acueducto	<input type="text"/>
b. Pozo, aljibe, jaguey	<input type="text"/>
c. Río o quebrada	<input type="text"/>
d. Agua de lluvia	<input type="text"/>
e. Pila publica	<input type="text"/>
8. El hogar cuenta con servicio sanitario de	<input type="text"/>
a. No tiene	<input type="text"/>
b. Letrina	<input type="text"/>
c. Inodoro conexión	<input type="text"/>
d. Pozo septico	<input type="text"/>
e. Inodoro sin conexión	<input type="text"/>
9. Como eliminan la basura	<input type="text"/>
a. La tiran a un cuerpo de agua	<input type="text"/>
b. La queman o la entierran	<input type="text"/>
c. La tiran a un patio o lote	<input type="text"/>
d. Recolección publica o privada	<input type="text"/>
10. Tipo de techo	<input type="text"/>
a. Paja	<input type="text"/>
b. Zinc	<input type="text"/>
c. Eternic	<input type="text"/>
d. Madera	<input type="text"/>
e. Otros	<input type="text"/>
11. Tipo de pared	<input type="text"/>
a. Ladrillo	<input type="text"/>
b. Madera	<input type="text"/>
c. Barro	<input type="text"/>
d. Concreto	<input type="text"/>
e. Otros	<input type="text"/>
IV. ASPECTOS ECONOMICOS	
12. Tipo de piso	<input type="text"/>
a. Tierra	<input type="text"/>
b. Mortero	<input type="text"/>
c. Enchape	<input type="text"/>
d. Madera	<input type="text"/>
e. Otros	<input type="text"/>
13. Usted trabaja actualmente	<input type="text"/>
a. Si	<input type="text"/>
b. No	<input type="text"/>
14. De que forma trabaja	<input type="text"/>
a. Dependiente	<input type="text"/>
b. Independiente	<input type="text"/>
15. Actividad productiva del predio	<input type="text"/>
a. Ganaderia	<input type="text"/>
b. Pesca	<input type="text"/>
c. Agricultura	<input type="text"/>
d. Comercio	<input type="text"/>
e. Ninguna	<input type="text"/>
16. Se beneficia ud. O su familia de algun recurso de la region	<input type="text"/>
a. Material de rio o quebrada	<input type="text"/>
b. Arboles	<input type="text"/>
c. Pasto	<input type="text"/>
d. Tierra	<input type="text"/>
e. Otros	<input type="text"/>
17. Si se presenta deslizamiento ud. Se veria afectado en	<input type="text"/>
a. Cultivos	<input type="text"/>
b. Vivienda	<input type="text"/>
c. Actividad maderera	<input type="text"/>
d. Otros	<input type="text"/>
V. ASPECTO LEGAL Y AMBIENTAL	
18. Cual cree ud que es la entidad encargada de prevenir, controlar y colaborar en caso de que ocurra un fenomeno natural	<input type="text"/>
a. Cooperaciones autonomas regionales	<input type="text"/>
b. La alcaldia	<input type="text"/>
c. La gobernacion	<input type="text"/>
d. No sabe	<input type="text"/>
19. Quisiera recibir capacitacion sobre el manejo de riesgo por amenaza de fenomenos naturales	<input type="text"/>
a. Si	<input type="text"/>
b. No	<input type="text"/>
OBSERVACIONES : _____	

Figura 76: Encuesta socio- económica

ANEXO 4: mapa de amenaza



ANEXO 5: MAPA DE VULNERABILIDAD



ANEXO 6: MAPA DE RIESGO

