



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)



## ESCUELA DE POSGRADO

### TESIS

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR FENÓMENOS  
DE REMOCIÓN EN MASA EN EL BARRIO LOS NOGALES,  
FLORIDABLANCA – SANTANDER, COLOMBIA.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA GEOTÉCNICA  
APLICADA EN MINERÍA.**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller OSCAR ENRIQUE FORERO OSPINO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO  
EN:**

**INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y GEOMECÁNICA  
APLICADA A MINERÍA.**

**HUANCAMELICA – PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

**ESCUELA DE POSGRADO**

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la lucha contra la corrupción e impunidad"

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: **MSc. PEREJAS RODRIGUEZ Freddy, Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA Rodrigo y Mg. ACHARTE LUME Luz Marina**

Asesor: **Dr. DE LA CRUZ CRUZADO Pedro Felix**

De conformidad al Reglamento único de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado mediante Resolución N° 330-2019-CU-UNH, ratificado con resolución N° 378-2019-CU-UNH.

El Candidato al **GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA GEOTECNICA Y GEOMECANICA APLICADA EN MINERIA**

Don, **Oscar Enrique FORERO OSPINO**, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "**ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA EN EL BARRIO LOS NOGALES, FLORIDABLANCA-SANTANDER, COLOMBIA.**"

Luego, de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

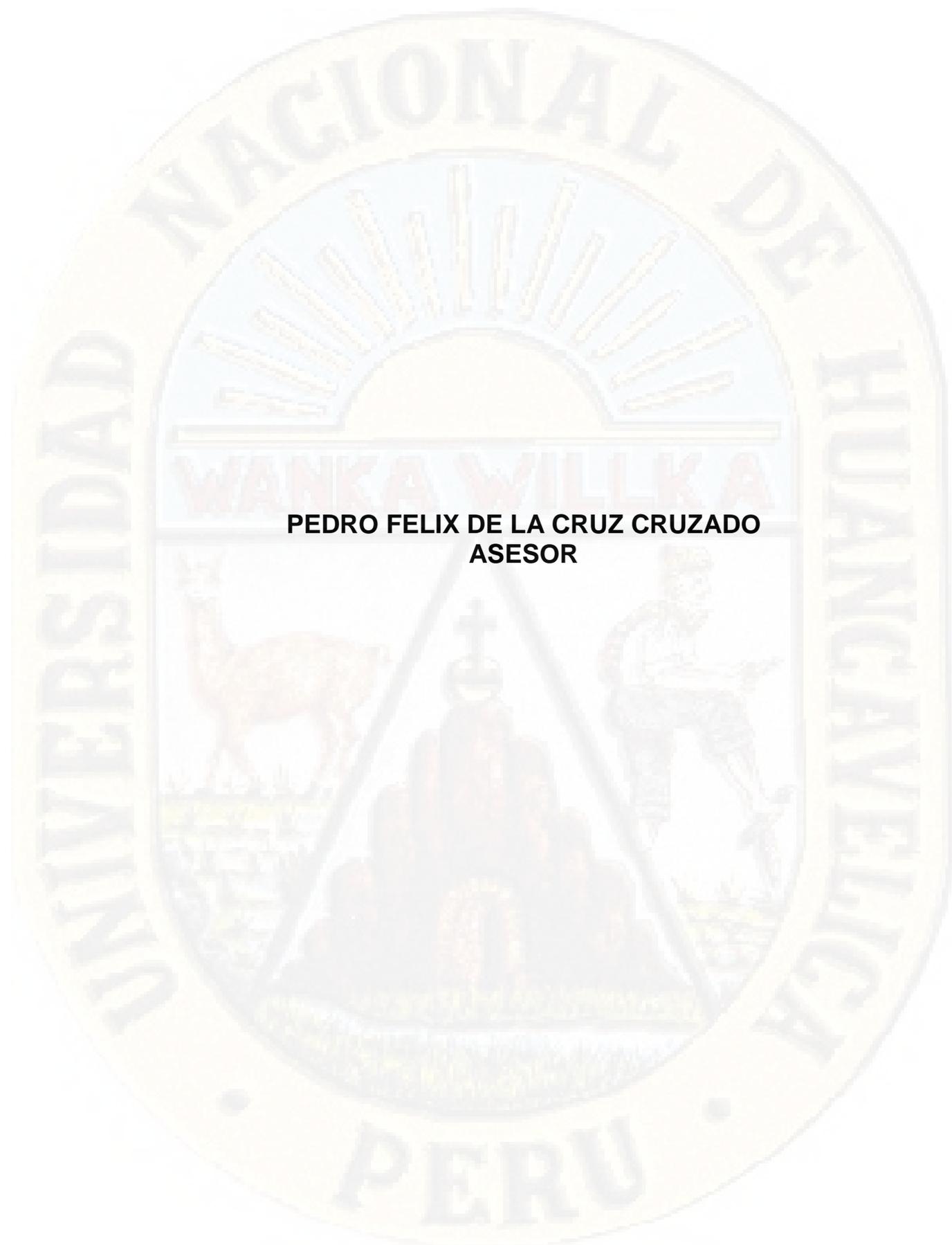
Con el calificativo: Aprobado  Por: **UNANIMIDAD**  
Desaprobado

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los diez días del mes de junio del año 2019.

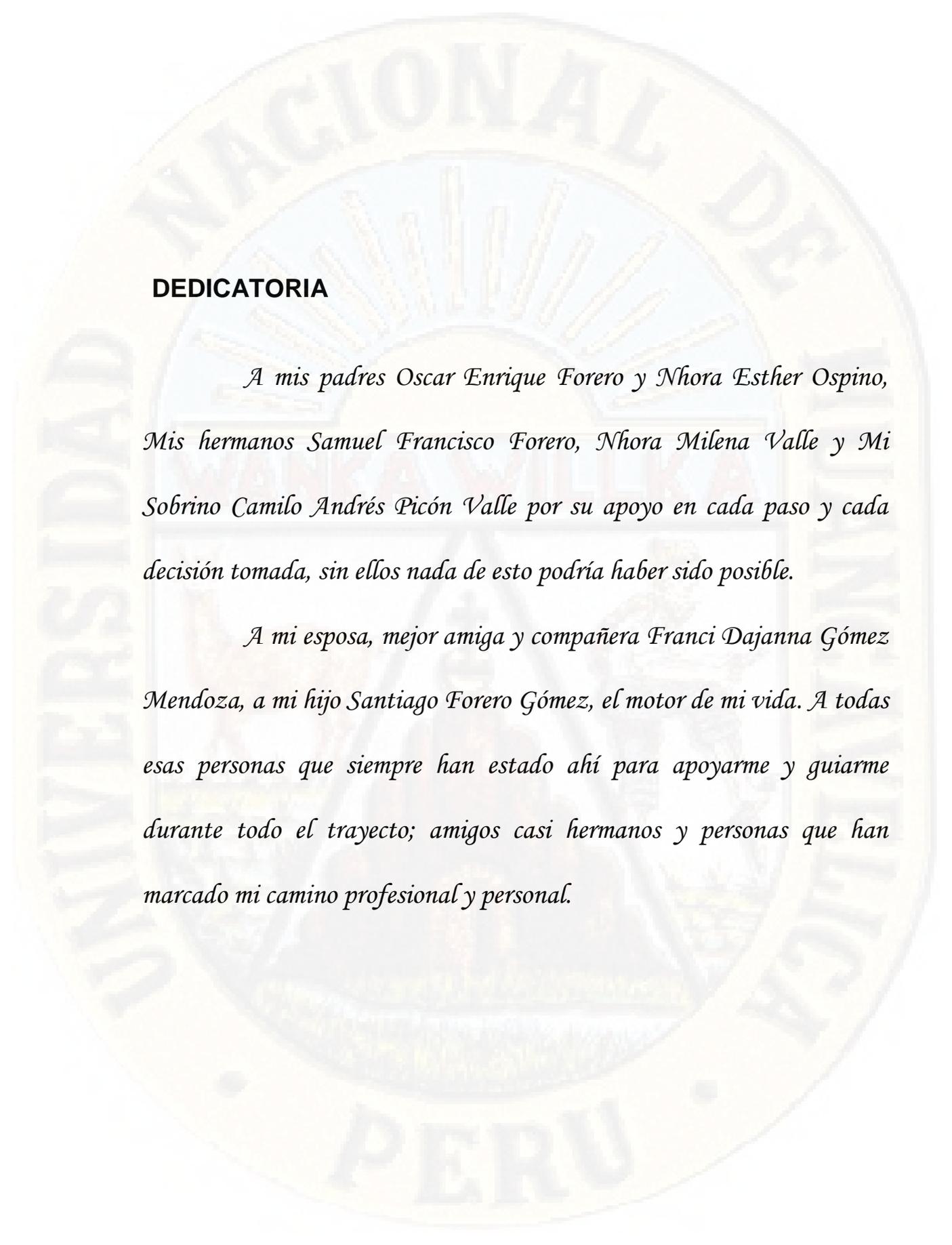
.....  
**MSc. PEREJAS RODRIGUEZ Freddy**  
Presidente del Jurado.

.....  
**Dr. HUAMANCAJA ESPINOZA Rodrigo**  
Secretario del Jurado

.....  
**MSc. ACHARTE LUME Luz Marina**  
Vocal del Jurado



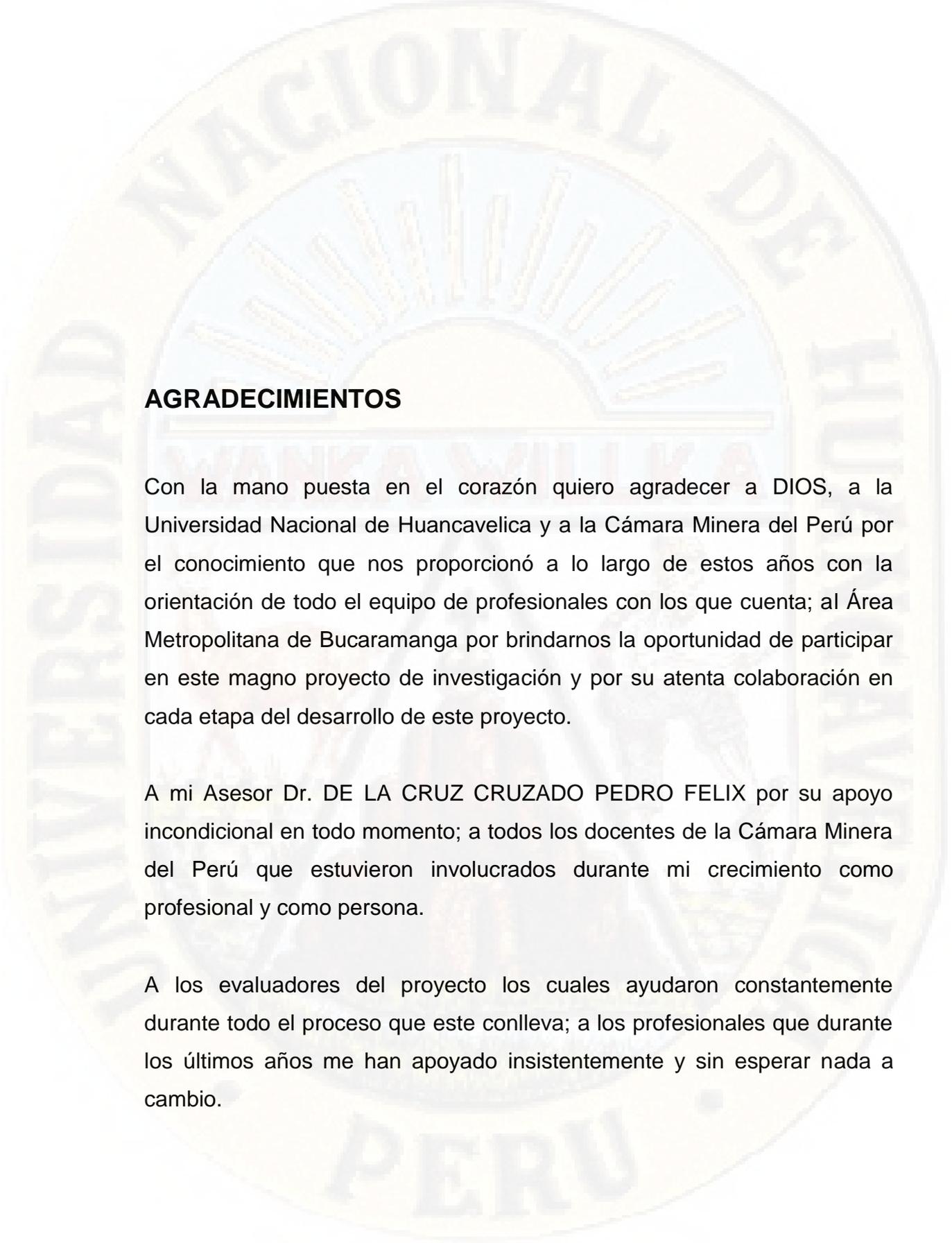
**PEDRO FELIX DE LA CRUZ CRUZADO  
ASESOR**



## DEDICATORIA

*A mis padres Oscar Enrique Forero y Nhora Esther Ospino, Mis hermanos Samuel Francisco Forero, Nhora Milena Valle y Mi Sobrino Camilo Andrés Picón Valle por su apoyo en cada paso y cada decisión tomada, sin ellos nada de esto podría haber sido posible.*

*A mi esposa, mejor amiga y compañera Franci Dajanna Gómez Mendoza, a mi hijo Santiago Forero Gómez, el motor de mi vida. A todas esas personas que siempre han estado ahí para apoyarme y guiarme durante todo el trayecto; amigos casi hermanos y personas que han marcado mi camino profesional y personal.*



## **AGRADECIMIENTOS**

Con la mano puesta en el corazón quiero agradecer a DIOS, a la Universidad Nacional de Huancavelica y a la Cámara Minera del Perú por el conocimiento que nos proporcionó a lo largo de estos años con la orientación de todo el equipo de profesionales con los que cuenta; al Área Metropolitana de Bucaramanga por brindarnos la oportunidad de participar en este magno proyecto de investigación y por su atenta colaboración en cada etapa del desarrollo de este proyecto.

A mi Asesor Dr. DE LA CRUZ CRUZADO PEDRO FELIX por su apoyo incondicional en todo momento; a todos los docentes de la Cámara Minera del Perú que estuvieron involucrados durante mi crecimiento como profesional y como persona.

A los evaluadores del proyecto los cuales ayudaron constantemente durante todo el proceso que este conlleva; a los profesionales que durante los últimos años me han apoyado insistentemente y sin esperar nada a cambio.

## INDICE

RESUMEN .....	XIII
ABSTRAC .....	XIV
INTRODUCCIÓN .....	15
CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 <i>Fundamentación del Problema</i> .....	17
1.2 <i>Formulación del Problema</i> .....	18
1.3 <i>Objetivos de la Investigación</i> .....	18
1.3.1    Objetivo General.....	19
1.3.2    Objetivos Específicos.....	19
1.4 <i>Justificación del Estudio</i> .....	20
1.5 <i>Factibilidad del Estudio</i> .....	21
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 <i>Antecedentes de la Investigación</i> .....	23
2.2 <i>Bases Teóricas</i> .....	28
2.2.1    Nomenclatura de un Talud o Ladera .....	29
2.2.2    Movimientos en Masa .....	29
2.2.3    Geología.....	31
2.2.4    Análisis Sísmico.....	32
2.2.5    Análisis y levantamiento geomorfológico.....	33
2.2.6    Análisis Hidrológico .....	34
2.2.7    Análisis de Estabilidad .....	34
2.3 <i>HIPÓTESIS</i> .....	35
2.3.1    Hipótesis Principal .....	35
2.3.2    Hipótesis Secundaria .....	35
2.4 <i>VARIABLES DEL ESTUDIO</i> .....	35
2.4.1    Variable independiente .....	35
2.4.2    Variable dependiente .....	35
2.5 <i>DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES</i> .....	35
CAPITULO III METODOLOGÍA .....	37
3.1 <i>Tipo de Investigación</i> .....	39
3.2 <i>Nivel de Investigación</i> .....	40
3.2.1.    Nivel descriptivo.....	41
3.2.2.    Nivel explicativo.....	41
3.2.3.    Nivel exploratorio o experimental.....	41
3.3 <i>Métodos de Investigación</i> .....	42
3.4 <i>Diseño de Investigación</i> .....	44
3.5 <i>Población, muestra y muestreo</i> .....	46
3.6 <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i> .....	48
3.7 <i>Técnicas de procesamiento y análisis de datos</i> .....	48
CAPITULO IV RESULTADOS .....	50
4.1 <i>Geología</i> .....	50
4.1.1    Geología Regional.....	51
4.1.2    Unidades Geológicas Superficiales .....	59
4.1.3    Geología Estructural .....	68
4.2 <i>Geomorfología</i> .....	75
4.2.1    Morfogénesis.....	76
4.2.2    Morfodinámica .....	77
4.2.3    Morfometría .....	81
4.2.4    Elementos Geomorfológicos.....	83
4.3 <i>Cobertura del Suelo</i> .....	93
4.4 <i>Inventario de Fenómenos de Remoción en masa</i> .....	101
4.5 <i>Inventario de obras</i> .....	107
4.6 <i>Evaluación Hidrológica del Sector Los Nogales</i> .....	112

4.6.1	Precipitación .....	113
4.6.2	Estaciones representativas .....	114
4.6.3	Parámetros morfológicos de la Cuenca .....	115
4.6.4	Marco teórico hidrológico .....	116
4.6.5	Análisis de Infiltración.....	118
4.6.6	Hidrograma de Caudal .....	124
4.6.7	Simulación de Caudales con el modelo HEC – HMS.....	137
4.6.8	Caudales de Diseño.....	139
4.6.9	Dimensionamiento del manejo de Aguas Superficiales .....	141
4.7	<i>Caracterización Geotécnica</i> .....	145
4.8	<i>Sismología</i> .....	164
4.9	<i>Hidrogeología</i> .....	173
4.10	<i>Resultados del modelo geológico – geotécnico</i> .....	195
4.11	<i>Análisis de Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en masa (Análisis de Estabilidad)</i> .....	197
4.12	<i>Diseño de Obras de Mitigación</i> .....	212
4.12.1	Diseño de la alternativa número 1, muro de concreto reforzado.....	212
4.12.2	Diseño de la Alternativa Número 2, Reforzar la Cimentación Actual Mediante la Construcción de Caisson de Aproximación. ....	238
4.13	<i>Discusión de Resultados y Evaluación de Alternativas de Diseño</i> .....	246
	CONCLUSIONES.....	250
	RECOMENDACIONES.....	254
	REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	255
	ANEXOS.....	257
	ANEXO A. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	258
	ANEXO B. ENSAYO ESCLEROMÉTRICO .....	259
	ANEXO C. CÁLCULOS DEL MURO .....	260

## TABLA DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA, SEÑALADO EN EL CUADRO ROJO LA ZONA DE ESTUDIO. GENERADO DESDE ARCMAP 10.3 FUENTE: PROPIA. ....	24
FIGURA 2. UBICACIÓN A DETALLE DEL BARRIO LOS NOGALES. ....	25
FIGURA 3. TALUD Y LADERA, TOMADO DE (SUÁREZ DÍAZ, 1998) .....	29
FIGURA 4. UNIDAD NEIS DE BUCARAMANGA UBICADA AL ESTE DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS, 1999. ....	52
FIGURA 5. FORMACIÓN SILGARÁ UBICADA AL NORESTE DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS, 1999. ....	53
FIGURA 6. PERFIL TIPO DE LOS MIEMBROS QUE COMPONEN LA FORMACIÓN BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS, 2001. ....	54
FIGURA 7. FORMACIÓN BUCARAMANGA MIEMBRO ÓRGANOS (QBO), AL OESTE DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS, 2001. ....	55
FIGURA 8. FORMACIÓN BUCARAMANGA MIEMBRO FINOS, AL NORTE DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS 2001.....	57
FIGURA 9. FORMACIÓN BUCARAMANGA MIEMBRO GRAVOSO AL NORTE DEL MUNICIPIO DE BUCARAMANGA. TOMADO DE INGEOMINAS, 2001. ....	58
FIGURA 10. FORMACIÓN BUCARAMANGA MIEMBRO LIMOS ROJOS. TOMADO DE INGEOMINAS, 2001.....	59
FIGURA 11. SUELOS DE CAUCE DEL RÍO. A) CAUCE DEL RÍO RESTRINGIDO POR UN MURO DE CONTENCIÓN. B) DEPÓSITOS DE PLAYA. C) CANTOS DE GNEIS CUARZO ANFIBÓLICO. D) CAUCE DEL RÍO. FUENTE: PROPIA. ....	62
FIGURA 12. ZONA DE ESTUDIO UBICADA SOBRE LA UNIDAD DE FLUJOS DE DETRITOS SEGÚN INGEOMINAS 2001. TOMADO DE INGEOMINAS 2001. ....	64
FIGURA 13. SUELOS DEL CUATERNARIO INDEFINIDO (UNIDAD A). SE OBSERVA LA TONALIDAD Y EL GRADO DE METEORIZACIÓN DEL SUELO. FUENTE: PROPIA. ....	64
FIGURA 14. DEPÓSITO DE TERRAZA BAJA. FUENTE: PROPIA. ....	65
FIGURA 15. SUELOS ANTRÓPICOS PRESENTES EN LA LADERA PRINCIPAL DEL PROYECTO, ASOCIADOS A MATERIALES DE ESCOMBROS Y RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN CON HASTA 3.5 M DE PROFUNDIDAD. FUENTE: PROPIA. ....	66
FIGURA 16. MAPA DE LAS UGS ESCALA 1:200 PARA EL ÁREA DEL PROYECTO. FUENTE: PROPIA. ....	67
FIGURA 17. PORCENTAJE DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. ....	68
FIGURA 18. BLOQUE NOR-ANDINO EN LA ESQUINA SEPTENTRIONAL DE SURAMÉRICA Y SU COMPLEJA INTERACCIÓN CON LAS PLACAS NAZCA, CARIBE Y SURAMERICANA. TOMADO DE CEDIEL <i>ET AL.</i> , 2003. ....	69
FIGURA 19. ESQUEMA TECTÓNICO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. EN EL CUADRO ROJO SE ENCUENTRA EL ÁREA DE ESTUDIO. MODIFICADO DE ROYERO Y CLAVIJO, 2001. ....	71
FIGURA 20. ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER. TOMADO DE ROYERO Y CLAVIJO, 2001.....	73
FIGURA 21. DESVÍO DEL RÍO SURATÁ DEBIDO A LA ACCIÓN DE LA FALLA DE BUCARAMANGA. TOMADO DE DIEDERIX <i>ET AL.</i> , 2008. ....	74
FIGURA 22. UBICACIÓN DEL BARRIO LOS NOGALES CON RESPECTO A LAS FALLAS REGIONALES. EDITADO DE GOOGLE EARTH 2015.....	75
FIGURA 23. CLASIFICACIÓN DE FENÓMENOS DE EROSIÓN (MANUAL DE PROTECCIÓN GEOTÉCNICA Y AMBIENTAL (1991) EN CORPES E INGEOMINAS, 1998). ....	79
FIGURA 24. TIPOS Y FORMAS DE EROSIÓN HÍDRICA (VARGAS, 1989; EN CORPES E INGEOMINAS, 1998). ....	79
FIGURA 25. CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES DE INTENSIDAD DE EROSIÓN (VAN ZUIDAM, 1985 Y VARGAS, 1989; EN CORPES E INGEOMINAS, 1998). ....	80
FIGURA 26. COBERTURA TOTAL CON PASTOS NATURALES, ÁRBOLES Y RASTROJOS BAJOS; EVITANDO ASÍ LA CREACIÓN DE PROCESOS DE EROSIÓN LAMINAR Y/O DE ESCORRENTÍA; A SU VEZ LOS PROCESOS DE EROSIÓN POR SOCAVACIÓN EN LA QUEBRADA O PROFUNDIZACIÓN DEL CAUCE SON BASTANTE BAJOS. ....	81
FIGURA 27. MAPA MORFOMÉTRICO DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	82
FIGURA 28. PORCENTAJE DE UNIDADES MORFOMÉTRICAS PRESENTES EN EL ÁREA DE ESTUDIO. SE DESTACA QUE EL 29% CORRESPONDE AL RANGO ENTRE 0 A 10° Y EL 25% A ZONAS ENTRE 10-20° (OCUPANDO MÁS DE LA MITAD DEL ÁREA A INTERVENIR). FUENTE: PROPIA. ....	83
FIGURA 29. GEOFORMA DE CAUCE ACTUAL DEL RÍO. A) UBICACIÓN Y TRAMO GENERAL DE LA QUEBRADA CLAUSEN. B) DEPÓSITOS DE ARENAS DE PLAYA. C) Y D) DEPÓSITOS DE DIFERENTES CANTOS DE ROCA. FUENTE: PROPIA. ....	85

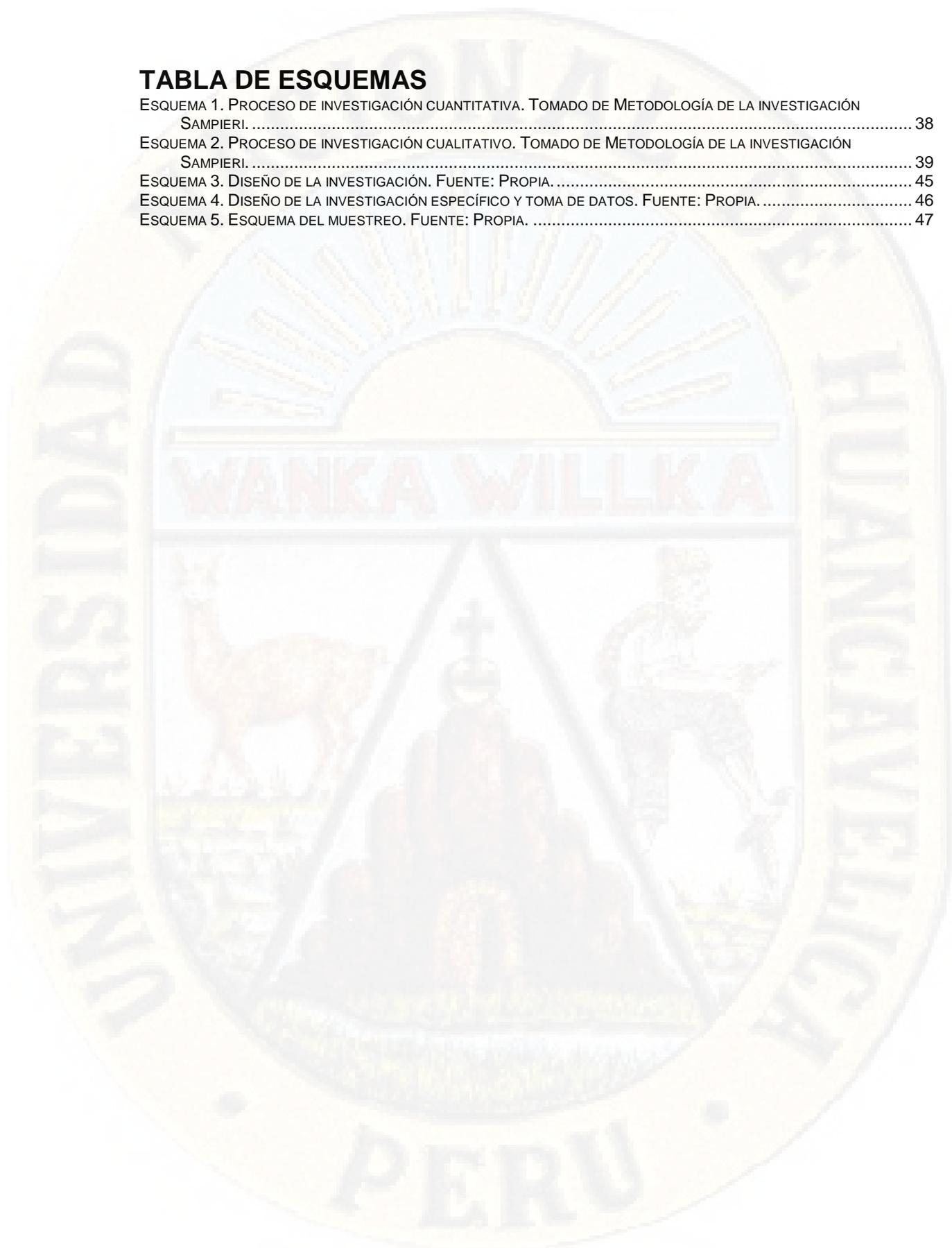
FIGURA 30. UNIDAD GEOMORFOLÓGICA DE TERRAZA BAJA DE AMBIENTE FLUVIAL. FUENTE: PROPIA. ....	86
FIGURA 31. LADERA MODERADA DE ORIGEN DENUDACIONAL. FUENTE: PROPIA. ....	87
FIGURA 32. GEOFORMA DE LOMO ANCHO. FUENTE: PROPIA. ....	88
FIGURA 33. LADERA MUY INCLINADA ORIGINADA POR PROCESOS DENUDACIONALES. FUENTE: PROPIA. ....	89
FIGURA 34. ESCARPE DE CORONACIÓN PRINCIPAL DEL MOVIMIENTO EN MASA. ESTE ES EL FOCO PRINCIPAL DE ESTUDIO, EN DONDE LE MURO DE CONTENCIÓN PRESENTE SE ENCUENTRA DESPLAZADO EN LA VERTICAL (HUNDIMIENTO) Y A SU VEZ FRACTURADO. FUENTE: PROPIA. ....	90
FIGURA 35. GEOFORMA DE CIMAS EXPLANADAS DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO. FUENTE: PROPIA. ....	91
FIGURA 36. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL PROYECTO. FUENTE: PROPIA. ....	92
FIGURA 37. PORCENTAJE DE UNIDADES DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS PARA EL ÁREA DE ESTUDIO. SE DESTACA QUE LA GEOFORMA DE MAYOR PORCENTAJE (37%) CORRESPONDE A TERRAZAS BAJAS (F3), COMO SEGUNDA GEOFORMA SE ENCUENTRA LA CIMAS EXPLANADAS CON UN 25% DE COBERTURA DEL ÁREA TOTAL. FUENTE: PROPIA. ....	93
FIGURA 38. CONSTRUCCIONES URBANAS EN EL SECTOR LOS NOGALES. FUENTE PROPIA. ....	94
FIGURA 39. GRUPO DE ÁRBOLES, UBICADOS CERCA DE LAS CONSTRUCCIONES URBANAS. FUENTE: PROPIA. ....	95
FIGURA 40. CONTACTO ENTRE DOS UNIDADES DE USO DE SUELO, RASTROJOS BAJOS Y PASTOS NATURALES. FUENTE: PROPIA. ....	96
FIGURA 41. USOS DEL SUELO DE LA CATEGORÍA CULTIVOS (CT). FUENTE: PROPIA. ....	97
FIGURA 42. USO DEL SUELO TIPO BAMBÚ (BU), UBICADO A LAS ORILLAS DE LA QUEBRADA CLAUSEN. FUENTE: PROPIA. ....	98
FIGURA 43. COBERTURA DEL SUELO DEL TIPO SUELO DESCUBIERTO (Sd). FUENTE: PROPIA. ....	98
FIGURA 44. USO DE SUELO MOSTRANDO EN LA PARTE IZQUIERDA LA CONSOCIACIÓN PN/AR/Rb/CT Y EN LA PARTE DERECHA LA ASOCIACIÓN AR-Sd-PN Y PN-Sd-AR. FUENTE: PROPIA. ....	99
FIGURA 45. MAPA DE COBERTURA DEL SUELO DEL PROYECTO BARRIO LOS NOGALES. FUENTE: PROPIA. ....	100
FIGURA 46. PORCENTAJE DE LAS UNIDADES DE USOS DEL SUELO PARA EL ÁREA DE ESTUDIO EN SU TOTALIDAD. FUENTE: PROPIA. ....	101
FIGURA 47. DESLIZAMIENTO ROTACIONAL TIPO. TOMADO DE SUÁREZ, 1998. ....	104
FIGURA 48. DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL TIPO. TOMADO DE SUÁREZ, 1998. ....	105
FIGURA 49. CORONA DE POSIBLE MOVIMIENTO EN MASA CON PRESENCIA DE HUNDIMIENTOS EN EL ÁREA DEL BARRIO LOS NOGALES. FUENTE: PROPIA. ....	105
FIGURA 50. ÁREA DEL LÍMITE OESTE DEL MURO DE CONTENCIÓN CON LA CORONA DEL MOVIMIENTO EN MASA, CON PRESENCIA DE FRACTURAMIENTO Y HUNDIMIENTO DE LA ESTRUCTURA. FUENTE: PROPIA. ....	106
FIGURA 51. MAPA DE INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA. FUENTE: PROPIA. ....	107
FIGURA 52. TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN. A) ARMAZÓN DE MADERA, B) MUROS DE TIERRA REFORZADA, C) MUROS DE CAJÓN DE ACERO Y D) MUROS DE GAVIONES. TOMADO DE USGS, 2008. ....	109
FIGURA 53. MUROS DE GAVIONES. GAVIONES ESTABLES UBICADOS EN LA PERIFERIA DE LAS ZONAS URBANAS. FUENTE: PROPIA. ....	110
FIGURA 54. MUROS DE CONTENCIÓN EN CONCRETO EN EL BARRIO LOS NOGALES. A) MURO DE CONCRETO, B) FRANJA DE CORONACIÓN DEL DESLIZAMIENTO CONTENIDO POR EL MURO, C) GRIETA DE 3 A 4 CM DE ANCHO EN LA PARTE DERECHA DEL MURO Y D) METEORIZACIÓN DEL MURO EN EL COSTADO DERECHO (VISTO HACIA EL NORTE) SOBRE LA VÍA FRENTE A LAS VIVIENDAS, OBSERVÁNDOSE VARILLAS DE ACERO. FUENTE: PROPIA. .	110
FIGURA 55. CANALIZACIÓN DEL CAUCE DE LA QUEBRADA CLAUSEN. FUENTE: PROPIA. ....	111
FIGURA 56. MAPA DE INVENTARIO DE OBRAS GEOTÉCNICAS. FUENTE: PROPIA. ....	112
FIGURA 57. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES. FUENTE: PROPIA. ....	115
FIGURA 58. MÉTODO DE ABSTRACCIONES DEL SCS. AJUSTADO DE MOCKUS V., 1964. ....	119
FIGURA 59. HIDROGRAMA UNITARIO GENERADO POR LA SCS. ....	124
FIGURA 60. CURVAS IDF – ESTACIÓN EL PICACHO, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	129
FIGURA 61. CURVAS IDF – ESTACIÓN LA FLORESTA, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	130
FIGURA 62. CURVAS IDF – ESTACIÓN BUCARAMANGA, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	132
FIGURA 63. CURVAS IDF – ESTACIÓN LA GRANJA PIEDECUESTA, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	133
FIGURA 64. CURVAS IDF – ESTACIÓN LA GALVICIA, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	134
FIGURA 65. CURVAS IDF – ESTACIÓN LLANO GRANDE, GENERADAS POR MEDIO DE LOS DATOS REGISTRADOS. ....	136
FIGURA 66. DISTRIBUCIÓN DE TORMENTAS – ARGUELLOS Y FUENTES (2009). ....	137
FIGURA 67. HIDROGRAMA DE CAUDALES, ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA	

CUENCA BAJA Y MEDIA DEL RÍO FRÍO.....	140
FIGURA 68. RESULTADO DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN DEL RÍO FRÍO. FUENTE: ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA BAJA Y MEDIA DEL RÍO FRÍO, 2011.....	141
FIGURA 69. ÁREA DE APORTE A LAS OBRAS DE MANEJO DE AGUA SUPERFICIAL DEL SECTOR .....	142
FIGURA 70. SECCIÓN, PROYECCIÓN DE CANALETA. ....	142
FIGURA 71. CAPACIDAD HIDRÁULICA, CANALETA PROYECTADA. ....	144
FIGURA 72. ESQUEMA METODOLÓGICO GENERAL PARA LA CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA. INGEOMINAS – DAGMA, 2005. ....	145
FIGURA 73. LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS. FUENTE: PROPIA. ....	147
FIGURA 74. REGISTRO DEL SONDEO 1 CON UNA PROFUNDIDAD TOTAL DE 15 M. FUENTE: PROPIA. ....	149
FIGURA 75. REGISTRO DEL SONDEO 2 CON UNA PROFUNDIDAD DE 10 METROS. FUENTE: PROPIA. ....	150
FIGURA 76. REGISTRO DEL SONDEO 3 CON UNA PROFUNDIDAD DE 8 METROS. FUENTE: PROPIA. ....	151
FIGURA 77. REGISTRO DEL SONDEO 4 CON UNA PROFUNDIDAD DE 8 METROS. FUENTE: PROPIA. ....	152
FIGURA 78. REGISTRO DEL SONDEO 5 CON UNA PROFUNDIDAD APROXIMADA DE 5 METROS. FUENTE: PROPIA. ....	153
FIGURA 79. REGISTRO DEL APIQUE 1 CON UNA PROFUNDIDAD DE 2 METROS. FUENTE: PROPIA. ....	154
FIGURA 80. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS SONDEOS 1-5.....	161
FIGURA 81. ESTADO DEL SUELO (LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS DE LOS SONDEOS 1- 5). ....	163
FIGURA 82. CARTA DE PLASTICIDAD, MARCANDO LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE CADA MUESTRA DE LOS SONDEOS 1-5.....	164
FIGURA 83. MAPA DE LOS VALORES DE LA ACELERACIÓN HORIZONTAL (Aa), COINCIDIENDO CON EL ÁREA DEL PROYECTO CON LA REGIÓN 5. TOMADO DE LA NSR, 2010. ....	165
FIGURA 84. MAPA DE LOS VALORES DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL (Av), MARCANDO LA ZONA DE ESTUDIO DENTRO DE LA REGIÓN 5. TOMADO DE LA NSR, 2010.....	166
FIGURA 85. MAPA DE ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA APLICABLE A EDIFICACIONES. TOMADO DE LA NSR, 2010. ....	166
FIGURA 86. ESQUEMA DEL ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO. ....	170
FIGURA 87. MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA EL PROYECTO DEL BARRIO LOS NOGALES. TOMADO DE ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA INDICATIVA DEL ÁREA METROPOLITANA, 2001. ....	171
FIGURA 88. DISEÑO DEL ESPECTRO DE ACELERACIONES. RECOPIADO POR MEDIO DE LOS DATOS Y CON AYUDA DEL PROGRAMA MICROSOFT EXCEL 2010. ....	173
FIGURA 89. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA EN LA MEMORIA EXPLICATIVA DE LA INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA EN EL MACIZO DE SANTANDER. INGEOMINAS, 2007. ....	175
FIGURA 90. MAPA DE LA LOCALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES AFLUENTES DE DRENAJE DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA Y SU ÁREA DE INFLUENCIA (CUENCA SUPERIOR RÍO LEBRIJA. FUENTE: IGAC MODIFICADO POR AUTOR).....	178
FIGURA 91. LOCALIZACIÓN DEL DRENAJE LOCAL DEL ÁREA DEL PROYECTO. ....	180
FIGURA 92. ESQUEMA DEL MODELO HIDROLÓGICO, TOMADO DE SUÁREZ “DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES”, 1998.....	182
FIGURA 93. VALORES DE LAS PROPIEDADES DE PESO-VOLUMEN DE LAS MUESTRAS DE LOS SONDEOS EN EL SECTOR LOS NOGALES.....	184
FIGURA 94. MECANISMOS DE FALLA EN SUPERFICIES DE LADERAS O TALUDES. TOMADO DE GÓMEZ SULLY, 1989. ....	188
FIGURA 95. MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL PERFIL ACTUAL 0+040.....	197
FIGURA 96. MODELO GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL PERFIL PROYECTADO CON MEJORAMIENTO DE RELLENO 0+030.....	197
FIGURA 97. VISTA EN PLANTA DE LAS UBICACIONES DE LAS SECCIONES UTILIZADAS PARA EL MODELO DE ESTABILIDAD.....	198
FIGURA 98. VISTA DE PERFIL PARA EL MODELO DE ESTABILIDAD. FUENTE: PROPIA. ....	200
FIGURA 99. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+000. ....	200
FIGURA 100. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+010. ....	201
FIGURA 101. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+020. ....	202
FIGURA 102. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+030. ....	202
FIGURA 103. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+040. ....	202
FIGURA 104. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+050. ....	203
FIGURA 105. MODELO DEL PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+000.....	204
FIGURA 106. MODELO DEL PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+010.....	204
FIGURA 107. MODELO DEL PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+020.....	205

FIGURA 108. MODELO DE PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+030. ....	205
FIGURA 109. MODELO DE PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+040. ....	206
FIGURA 110. MODELO DE PERFIL DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES DE LA SECCIÓN 0+050. ....	206
FIGURA 111. UBICACIÓN DEL SECTOR PARA LA TOMA DEL DATO DE RESISTENCIA. ....	207
FIGURA 112. TOMA DE DATOS POR MEDIO DEL MARTILLO SMITH. ....	208
FIGURA 113. FRANJA DE EXCAVACIÓN AL PIE DEL MURO DE CONTENCIÓN. ....	208
FIGURA 114. TOMA DE MEDIDAS DEL MURO DE CONTENCIÓN EN CONCRETO EXISTENTE. ....	209
FIGURA 115. REGLA GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE FISURAS O AGRIETAMIENTOS. ....	209
FIGURA 116. FISURA DENTRO DEL MURO DE CONTENCIÓN. ....	210
FIGURA 117. FISURA HORIZONTAL DENTRO DEL MURO DE CONTENCIÓN. ....	210
FIGURA 118. LLORADEROS EN CONTRAPENDIENTE EN EL MURO DE CONCRETO. ....	211
FIGURA 119. MURO DE CONTENCIÓN, EL DISEÑO DE LOS PLANOS ES VISIBLE COMO ANEXO. ....	226
FIGURA 120. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	228
FIGURA 121. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+030 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	229
FIGURA 122. MODELO DE PERFIL DE LA SECCIÓN 0+040 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	230
FIGURA 123. MODELO DE PERFIL DINÁMICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	231
FIGURA 124. MODELO DE PERFIL DINÁMICO DE LA SECCIÓN 0+030 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	232
FIGURA 125. MODELO DE PERFIL DINÁMICO DE LA SECCIÓN 0+040 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	233
FIGURA 126. ESQUEMA REPRESENTATIVO DEL DISEÑO DE LA EXCAVACIÓN PARA UNA PRIMERA SECCIÓN DE 5.0 METROS. ....	235
FIGURA 127. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LA PRIMERA SECCIÓN DE 5 METROS DE MURO FUNDIDO Y CON PARTE DEL MATERIAL DE RELLENO Y EXCAVACIÓN PROYECTADA. ....	236
FIGURA 128. ESQUEMA DE LA SEGUNDA SECCIÓN DEL MURO DE CONTENCIÓN FUNDIDO CON PARTE DEL RELLENO. .	236
FIGURA 129. ESQUEMA DE LA TERCERA SECCIÓN DEL MURO CONSTRUIDO Y PARTE DEL RELLENO, LA EXCAVACIÓN ES PROYECTADA PARA LA SIGUIENTE SECCIÓN. ....	237
FIGURA 130. ESQUEMA ILUSTRATIVO DE UN TRAMO DEL MURO TERMINADO Y LA EXCAVACIÓN PROYECTADA DE LA SECCIÓN POSTERIOR. ....	237
FIGURA 131. ESQUEMA DEL MURO DE CONTENCIÓN DESPUÉS DE CONSTRUIDO. ....	238
FIGURA 132. MODELO DE PERFIL ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	240
FIGURA 133. MODELO DE PERFIL DINÁMICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	241
FIGURA 134. MODELO DE PERFIL ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2). ....	242
FIGURA 135. MODELO DE PERFIL PSEUDO-ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) ....	242
FIGURA 136. MODELO DE PERFIL ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) CON ANCLAJES 15 METROS. ....	243
FIGURA 137. MODELO DE PERFIL PSEUDO-ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) CON ANCLAJES 15 METROS. ....	244
FIGURA 138. MODELO DE PERFIL PSEUDO-ESTÁTICO DE LA SECCIÓN 0+020 CON LA PRESENCIA DE LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN (ALTERNATIVA 2) CON ANCLAJES 15 METROS Y TENIENDO EN CUENTA EL FACTOR $R_U$ . ....	245

## TABLA DE ESQUEMAS

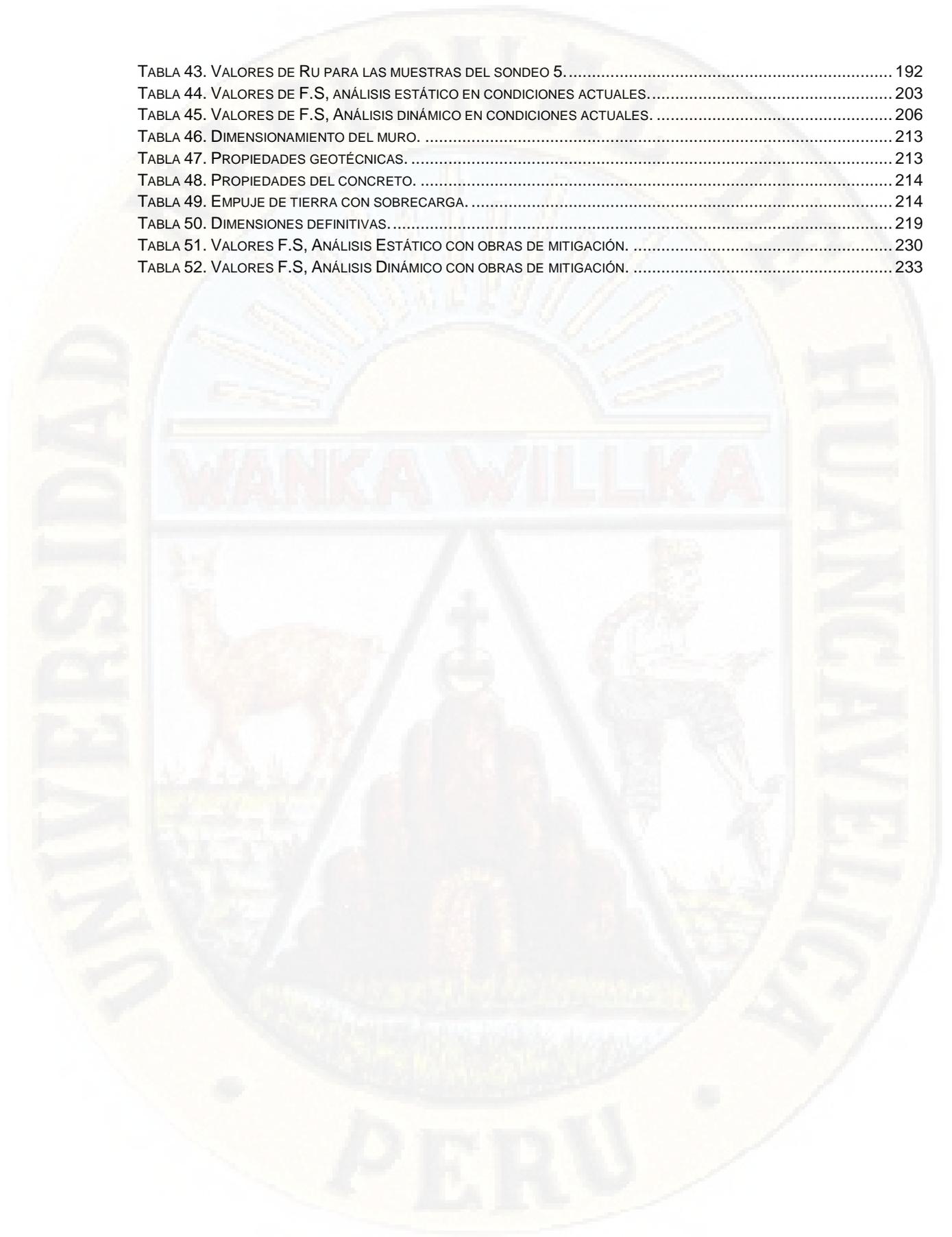
ESQUEMA 1. PROCESO DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA. TOMADO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SAMPIERI. ....	38
ESQUEMA 2. PROCESO DE INVESTIGACIÓN CUALITATIVO. TOMADO DE METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SAMPIERI. ....	39
ESQUEMA 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN. FUENTE: PROPIA. ....	45
ESQUEMA 4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN ESPECÍFICO Y TOMA DE DATOS. FUENTE: PROPIA. ....	46
ESQUEMA 5. ESQUEMA DEL MUESTREO. FUENTE: PROPIA. ....	47



## LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS) SEGÚN SU ORIGEN (HERMELIN, 1985 Y SALAZAR, 1995 EN INGEOMINAS, 2007). .....	60
TABLA 2. ORIGEN DE LAS PRINCIPALES GEOFORMAS (VERSTAPPEN & VAN ZUIDAM, 1975) .....	76
TABLA 3. INFORMACIÓN PARA EL INVENTARIO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA. FUENTE: PROPIA. ....	106
TABLA 4. TABLA GENERALIZADA PARA EL INVENTARIO DE OBRAS GEOTÉCNICAS EN EL PROYECTO LOS NOGALES. FUENTE: PROPIA. ....	111
TABLA 5. DATOS DE LAS ESTACIONES EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO. ....	114
TABLA 6. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO. TOMADO DE ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN LA CUENCA BAJA Y MEDIO DEL RÍO FRÍO, CONSORCIO ESTUDIOS RÍO FRÍO 2010. ....	116
TABLA 7. COEFICIENTES DE LA CURVA IDF SINTÉTICA. TOMADO DE VARGAS Y DÍAZ-GRANADOS, 1998. ....	118
TABLA 8. PRECIPITACIÓN ACUMULADA PARA CONDICIONES DE HUMEDAD ANTECEDENTE. TOMADO DE CHOW V. T., 1994. ....	123
TABLA 9. NÚMEROS DE CURVA PARA LOS USOS POTENCIALES DEL SUELO. FUENTE: SOIL CONSERVATION SERVICE SCS. ....	127
TABLA 10. PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF. VARGAS Y DÍAZ-GRANADOS. ....	127
TABLA 11. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN EL PICACHO .....	128
TABLA 12. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN LA FLORESTA. ....	129
TABLA 13. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN BUCARAMANGA. ....	131
TABLA 14. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN GRANJA PIEDECUESTA. ....	132
TABLA 15. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN LA GALVICIA. ....	133
TABLA 16. DATOS PARA CURVAS IDF – ESTACIÓN LLANO GRANDE. ....	135
TABLA 17. PRECIPITACIÓN TOTAL PARA UN EVENTO. ....	136
TABLA 18. PRECIPITACIÓN TOTAL PARA UN EVENTO – CUENCA RÍO FRÍO. ....	137
TABLA 19. PARÁMETROS PARA EL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD. TOMADO DE S.M WOODWARD & C. J POSEY EN HYDRAULICS OF STEADY FLOW IN OPEN CHANNELS, 1941. ....	143
TABLA 20. COORDENADAS DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS. FUENTE: TRABAJO DE CAMPO. ....	146
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO 1, LITOLOGÍAS Y COMPORTAMIENTO FÍSICO DEL SUELO. ....	154
TABLA 22. CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO 2, COMPONENTES FÍSICOS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO. ....	155
TABLA 23. CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO 3, COMPONENTES FÍSICOS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO. ....	156
TABLA 24. CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO 4, COMPONENTES LITOLÓGICOS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO. ....	157
TABLA 25. CARACTERÍSTICAS DEL SONDEO 5, COMPONENTES FÍSICOS Y COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL SUELO. ....	157
TABLA 26. LISTADO DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LAS MUESTRAS OBTENIDAS EN CAMPO. ....	158
TABLA 27. ENSAYO DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DEL SONDEO 1. ....	158
TABLA 28. ENSAYO DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DEL SONDEO 2. ....	159
TABLA 29. ENSAYO DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DEL SONDEO 3. ....	159
TABLA 30. ENSAYO DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DEL SONDEO 4. ....	159
TABLA 31. ENSAYO DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DEL SONDEO 5. ....	160
TABLA 32. NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA SEGÚN LOS VALORES DE AA Y AV. MODIFICADO DE LA NSR, 2010. ....	167
TABLA 33. VALORES DEL COEFICIENTE $F_a$ , PARA LA ZONA DE PERIODOS CORTOS DEL ESPECTRO. TOMADO DE LA NSR-10. ....	168
TABLA 34. VALORES DEL COEFICIENTE $F_v$ , PARA LA ZONA DE PERIODOS INTERMEDIOS DEL ESPECTRO. TOMADO DE LA NSR-10. ....	168
TABLA 35. TIPO DE SUELO DE ACUERDO AL TÍTULO A DE LA NSR-10, MOSTRANDO LOS TIPOS DE SUELO PRESENTE EN EL ÁREA DEL PROYECTO DEL BARRIO LOS NOGALES. ....	168
TABLA 36. VALORES DE COEFICIENTES DE IMPORTANCIA I. TOMADO DE LA NSR-10. ....	169
TABLA 37. VALORES DE $K_{st}$ / AMAX MÍNIMOS PARA EL ANÁLISIS PSEUDO-ESTÁTICO EN TALUDES. TOMADO DEL TÍTULO H DE LA NSR-10. ....	173
TABLA 38. VELOCIDAD DE FRENTE HÚMEDO PARA EL BARRIO LOS NOGALES. ....	185
TABLA 39. ESPESORES DEL FRENTE HÚMEDO. ....	186
TABLA 40. VALORES DE $R_u$ PARA LAS MUESTRAS DEL SONDEO 1. ....	191
TABLA 41. VALORES DE $R_u$ PARA LAS MUESTRAS DEL SONDEO 2. ....	191
TABLA 42. VALORES DE $R_u$ PARA LAS MUESTRAS DEL SONDEO 4. ....	191

TABLA 43. VALORES DE RU PARA LAS MUESTRAS DEL SONDEO 5.....	192
TABLA 44. VALORES DE F.S, ANÁLISIS ESTÁTICO EN CONDICIONES ACTUALES.....	203
TABLA 45. VALORES DE F.S, ANÁLISIS DINÁMICO EN CONDICIONES ACTUALES.....	206
TABLA 46. DIMENSIONAMIENTO DEL MURO.....	213
TABLA 47. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS.....	213
TABLA 48. PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	214
TABLA 49. EMPUJE DE TIERRA CON SOBRECARGA.....	214
TABLA 50. DIMENSIONES DEFINITIVAS.....	219
TABLA 51. VALORES F.S, ANÁLISIS ESTÁTICO CON OBRAS DE MITIGACIÓN.....	230
TABLA 52. VALORES F.S, ANÁLISIS DINÁMICO CON OBRAS DE MITIGACIÓN.....	233



## RESUMEN

Este proyecto centra su trabajo en el análisis de las variables (geología, geomorfología, hidrología, estabilidad de taludes, entre otras) para la caracterización del área del barrio Los Nogales en el municipio de Floridablanca. A través de la identificación de las condiciones del terreno y los principales procesos activos (erosión) que modifican las propiedades físicas y químicas, se pretende establecer las consecuencias condicionales de las variables, las cuales están generando inestabilidad en el terreno; pretendiendo hacer todos los análisis utilizando métodos de cuantificación y cualificación específicos para cada variable (visitas de campo, recolección de muestras, análisis de laboratorio específicos como ensayos granulométricos y modelamiento de las variables con apoyo de herramientas SIG). Así mismo, posee la finalidad de encontrar las áreas con mayor probabilidad y amenaza en la aparición de fenómenos de remoción en masa nombradas como puntos de amenaza alta, partiendo de la interpretación de los resultados en forma de mapas detallados de la zona para cada variable y delimitando a su vez las áreas con condiciones propensas a la remoción de material; toda la información modelada brinda las pautas suficientes para plantear dos alternativas para controlar y mitigar el estado actual de la ladera dentro del barrio Los Nogales. Una de las alternativas pretende modificar la estructura preexistente, mientras la segunda hace referencia a la reconstrucción total partiendo desde cero. Culminando con la escogencia de la alternativa con las mejores características y los mejores resultados modelados en condiciones críticas.

**Palabras claves:** Estabilidad de Taludes, Geología, Remoción en Masa, Zonificación de Amenaza, Geomorfología.

## **ABSTRAC**

This project focuses on the analysis of the variables (geology, geomorphology, hydrology, slope stability, among others) for the characterization of Los Nogales neighborhood in the municipality of Floridablanca. Through the identification of the terrain conditions and the main active processes (erosion) that modify the physical and chemical properties, it is intended to establish the conditional consequences of the variables, which are generating instability in the terrain; pretending to do all the analyzes using specific quantification and qualification methods for each variable (field visits, sample collection, specific laboratory analyzes such as granulometric tests and modeling of the variables with the support of GIS tools). Likewise, it has the purpose of finding the areas with greater probability and threat in the appearance of mass removal phenomena named as high threat points, starting from the interpretation of the results in the form of detailed maps of the area for each variable and delimiting in turn the areas with conditions prone to the removal of material; all the information modeled provides sufficient guidelines to propose two alternatives to control and mitigate the current state of the hillside within the Los Nogales neighborhood. One of the alternatives aims to modify the preexisting structure, while the second refers to the total reconstruction starting from scratch. Culminating with the choice of the alternative with the best features and the best results modeled in critical conditions.

**Keywords:** Slope Stability, Geology, Mass Removal, Threat Zoning, Geomorphology.

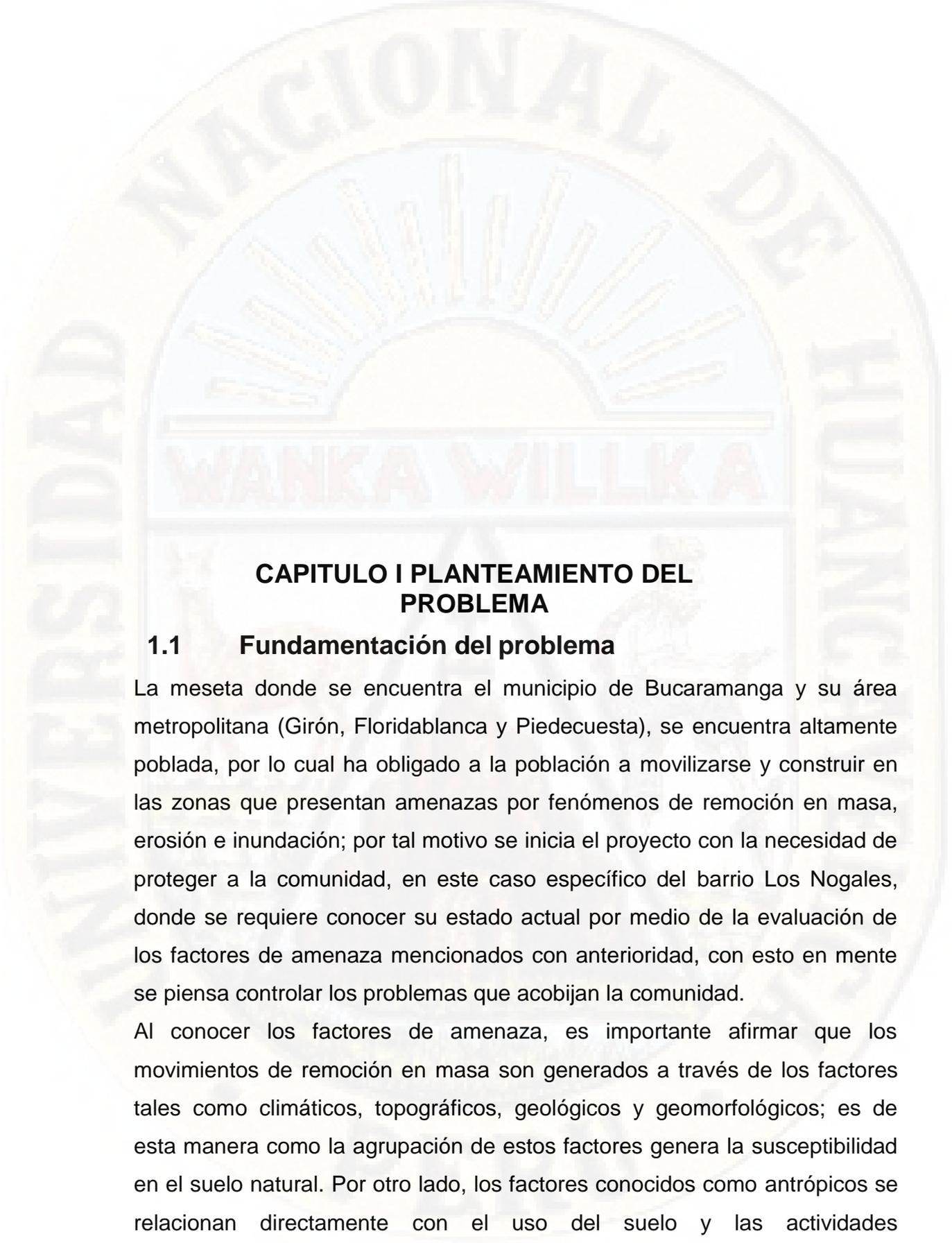
## **INTRODUCCIÓN**

A través de los últimos años todo el territorio colombiano y muchos países del sector de Suramérica, se encuentran luchando para controlar las épocas de lluvias asociados a los fenómenos del niño y la niña; por medio de la generación de estudios en diferentes convenios internacionales y convenios nacionales se han desarrollado e implementado alternativas para el cumplimiento de las obras de mitigación y remediación en terrenos con problemáticas de remoción en masa. Como resultado se crearon diferentes guías y metodologías esenciales para el desarrollo de futuros estudios e investigaciones como el presentando en este caso particular. El análisis de estabilidad de taludes enmarca la cuantificación y cualificación de las variables geología, geomorfología, hidrología, entre otras; con la interpolación de la información recolectada antes, durante y después de las etapas de visita presencial, con la única finalidad de conocer las diferentes características físicas del medio y plantear las alternativas de mitigación y remediación ante la generación de fenómenos de remoción en masa.

El barrio Los Nogales ubicado en Floridablanca – Santander no se encuentra excluido de verse afectado por los fenómenos de remoción en masa y al encontrarse en una ladera prominente aumenta el riesgo por amenazas naturales en épocas de lluvia, encontrándose la población en aumento en la cantidad de viviendas y crecimiento sostenible de la comunidad, hace que se ponga en riesgo la infraestructura y las vidas de los residentes.

El proyecto pretende concebir alternativas en materia de obras de mitigación ante la presencia de fenómenos de remoción en masa, disminuyendo y controlando los procesos erosivos activos y evitando el movimiento en masa, vigilando las características de los principales cauces activos e intermitentes y direccionando las aguas pluviales en condiciones críticas asociados a épocas de lluvias intensas. Este documento pretende mostrar el planteamiento del problema como primer capítulo, donde se logra identificar el fundamento del proyecto y los objetivos propuestos para culminar de manera satisfactoria todo el proceso que se llevará a cabo; seguido por un

marco teórico en el cual nos organiza la información a partir de la descripción de las variables mencionadas. A continuación, se muestra el método de investigación el cual engloba todo el proyecto desde un nivel general hasta un nivel específico. Al finalizar se despliegan los resultados obtenidos, las conclusiones generadas y las referencias para finalizar el documento. Con el fin de brindar a la comunidad la seguridad ante cualquier fenómeno o cambio climático en el barrio Los Nogales en el municipio de Floridablanca – Santander, Colombia.

The logo of the Universidad Nacional de Huancayo is a large, semi-circular emblem in the background. It features a sun with rays rising over a horizon, with the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' around the top and 'WANKA WILKA' below the sun. The text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAYO' is written in a serif font, and 'WANKA WILKA' is in a bold, sans-serif font. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent yellow and blue color scheme.

## **CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Fundamentación del problema**

La meseta donde se encuentra el municipio de Bucaramanga y su área metropolitana (Girón, Floridablanca y Piedecuesta), se encuentra altamente poblada, por lo cual ha obligado a la población a movilizarse y construir en las zonas que presentan amenazas por fenómenos de remoción en masa, erosión e inundación; por tal motivo se inicia el proyecto con la necesidad de proteger a la comunidad, en este caso específico del barrio Los Nogales, donde se requiere conocer su estado actual por medio de la evaluación de los factores de amenaza mencionados con anterioridad, con esto en mente se piensa controlar los problemas que acobijan la comunidad.

Al conocer los factores de amenaza, es importante afirmar que los movimientos de remoción en masa son generados a través de los factores tales como climáticos, topográficos, geológicos y geomorfológicos; es de esta manera como la agrupación de estos factores genera la susceptibilidad en el suelo natural. Por otro lado, los factores conocidos como antrópicos se relacionan directamente con el uso del suelo y las actividades

socioeconómicas que con el tiempo reflejan consecuencias y permiten a su vez identificar amenazas y riesgos en el territorio.

Dejando claro esto, es procedente pasar a la realización del estudio geotécnico y geológico, debido a la posible afectación de múltiples viviendas, es justo decir en caso de emergencia podrían provocar grandes pérdidas de materiales y sobre todo una pérdida grande de vidas pertenecientes al barrio Los Nogales.

La realización del estudio, y la planificación del proyecto en ejecución tienen en cuenta la reglamentación existente, dentro de las cuales cabe mencionar las normas Geotécnicas de la (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2009; De Porta, 1959; Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, 2010) (CDMB 2009), la reglamentación pertinente establecida por el Plan Básico de Ordenamiento Territorial, los requisitos exigidos por la ley 400 de 1997, descritos en la Norma Sismo resistente NSR-10 título H; se comienza con algunas generalidades y se enumeran los trabajos realizados en campo y laboratorio, además de la caracterización del suelo y los análisis de amenaza respectivos.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo evaluar las condiciones ambientales del barrio Los Nogales, para definir las características del terreno (geología, geomorfología, hidrología, erosión, entre otras), y con ello, identificar las alternativas de mitigación para evitar pérdida de vidas y bienes dentro de la comunidad?

¿Es posible crear un modelo geológico – geotécnico que se adecue a las condiciones del terreno y lograr una alternativa asertiva relacionado con las condiciones hidráulicas, geológicas, geomorfológicas y morfométricas del barrio Los Nogales?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

Reconocimiento de las condiciones geológicas, geomorfológicas, sísmicas,

hidrogeológicas y geotécnicas del proyecto.

Determinar la naturaleza del subsuelo y sus características mediante la ejecución e interpretación de ensayos de perforación y toma de muestras para ensayos de laboratorio, para la identificación de las propiedades mecánicas del área.

Elaborar un modelo de estabilidad de taludes, que permita visualizar la posible zona de falla y las alternativas para controlarla.

### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar un estudio de análisis de estabilidad de taludes y diseño de alternativas de mitigación a la amenaza por remoción en masa del sector Los Nogales, dentro del municipio de Floridablanca – Santander, Colombia.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Generar el levantamiento topográfico del sector Los Nogales, con el fin de identificar cambios locales dentro de la superficie del sector y delimitar pendientes naturales y superficies de escorrentía.
- Caracterizar geológica y geomorfológicamente el sector Los Nogales en el municipio de Floridablanca – Santander identificando las principales unidades/litologías logrando categorizar los procesos de desgaste y transporte del material.
- Ejecutar la caracterización geotécnica del área, por medio de muestreo ejecutado por perforaciones de campo de profundidad variable entre 10 y 15 metros, análisis de laboratorio de ensayos de corte directo, granulometría, límite líquido y humedad natural del suelo, para alcanzar con certeza el conocimiento del subsuelo y el comportamiento mecánico del material.
- Realizar el análisis hidrológico que establezca los parámetros básicos para el dimensionamiento de las obras hidráulicas necesarias, para el adecuado manejo del agua escorrentía si es necesario en el barrio Los Nogales.

- Crear el modelo geológico – geotécnico de acuerdo con la caracterización geotécnica, geológica, geomorfológica y morfométrica.
- Analizar los diferentes modelos geológicos – geotécnicos por medio de métodos determinísticos para evaluar la amenaza a fenómenos de remoción en masa.
- Proponer diferentes medidas de mitigación a la amenaza por fenómenos de remoción en masa e inundación, para la reducción de los riesgos y la escogencia de la alternativa con mayor viabilidad y mejores resultados para la comunidad del barrio Los Nogales.

#### **1.4 Justificación del estudio**

La alcaldía de Floridablanca junto con la ayuda de la gobernación, por la situación actual del barrio Los Nogales observan la necesidad de controlar y mitigar los posibles daños; con la intención de garantizar la seguridad del sector desea plantear alternativas de obras de mitigación. Viendo en los alrededores del sector, zonas con agrietamientos y en algunas viviendas asentamientos de magnitudes bajas (inclinación de estructuras) cerca a laderas limitantes, al mismo tiempo la comunidad preocupada, remite la problemática directamente a las autoridades competentes, de esta manera se pretende mejorar las condiciones del barrio Los Nogales.

Debido a esto, se empieza la iniciativa de evaluar las condiciones del suelo y el talud característico del sector. Con esto, se empieza el proyecto de análisis de estabilidad de taludes por fenómenos de remoción en masa y alternativas de mitigación; evaluando las características representativas del área (geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, etcétera), se puede definir cómo es posible disminuir la amenaza, con esto evitar consecuencias irreversibles y el riesgo de pérdida de vidas humanas. Pretendiendo determinar la mejor alternativa ante la inestabilidad de la ladera.

De esta manera, el proyecto presentado a continuación, es enmarcado a nivel regional dentro del proyecto “Estudio geológico y geomorfológico para áreas puntuales de interés en los barrios Laureles 1, Laureles 2, Plazuela

Real, Los Acacios, Los Nogales, Villaluz, Quebrada Villa Luna, Quintas del Llanito y Las esmeraldas; En el Área Metropolitana de Bucaramanga”.

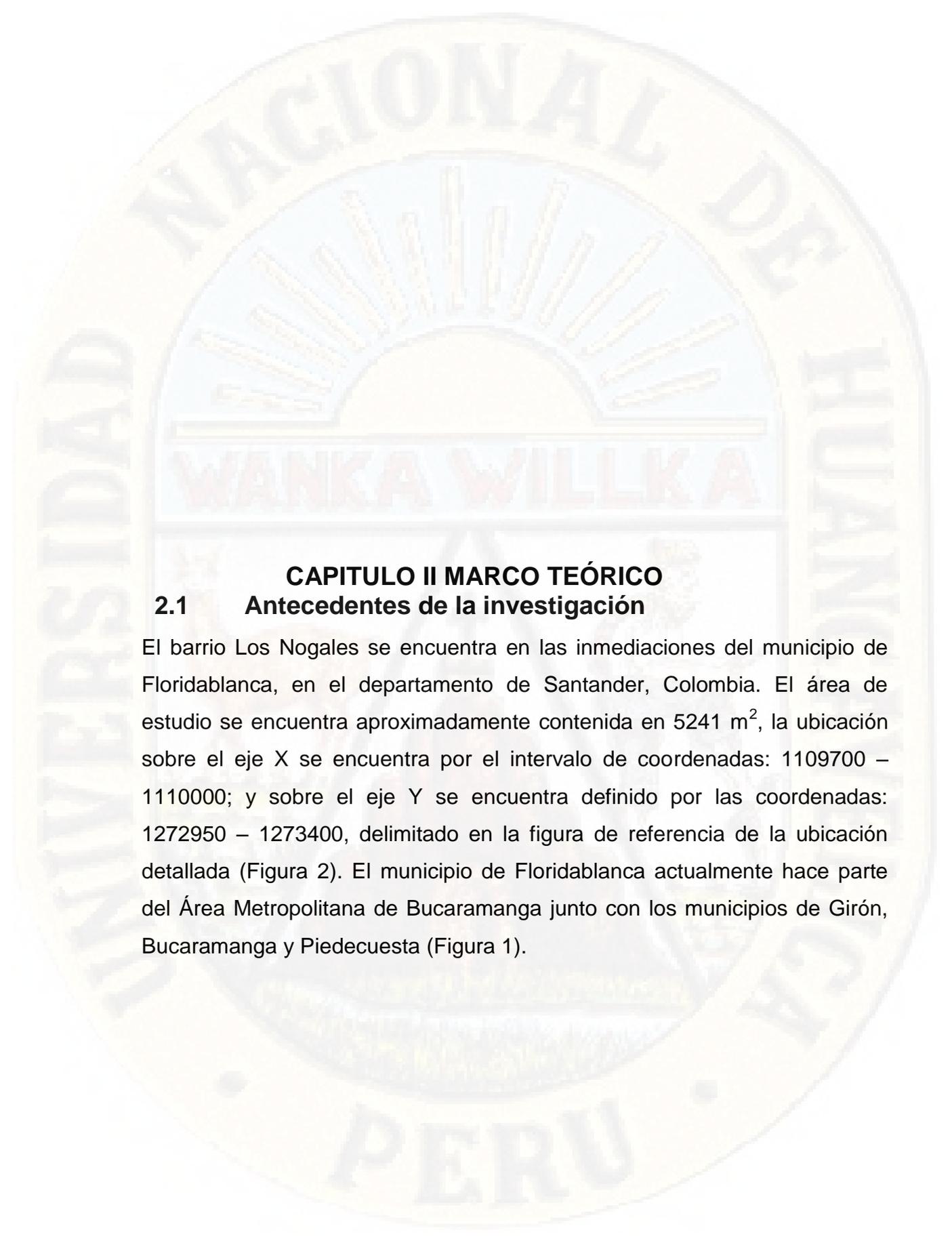
### **1.5 Factibilidad del estudio**

La necesidad de mejorar las condiciones de los habitantes del barrio Los Nogales, sumado con la tranquilidad del municipio para dar a conocer su gestión ante las comunidades se convierte en necesidad fundamental. En la actualidad se han presenciado muchos problemas por fenómenos de remoción en masa, asociados a procesos activos de escorrentía en épocas de lluvia en todo el territorio colombiano; esto ha generado una necesidad de plantear soluciones rápidas y efectivas para evitar sucesos complejos y con altos daños que en muchas ocasiones superan los costos de proyectos de mitigación y prevención, dependiendo de la ubicación se puede generar limitaciones ante el desplazamiento dentro del sector de interés, los recorridos en pendientes muy marcadas y la adquisición de muestras para su análisis se vuelve una labor muy difícil o casi imposible debido a la falta de acceso al sitio; al mismo tiempo, en condiciones climáticas complicadas por épocas de lluvia, se vuelve casi imposible la entrada o muy riesgoso debido a la posible generación de remoción de material, acompañado de cambios físicos en las muestras por sobresaturación de humedad y acceso restringido para las maquinarias de perforación como grandes limitantes en el desarrollo del muestreo, la recolección y control de las variables, la exactitud en los instrumentos de medición y la extracción de muestras sin alteraciones del medio. Todo esto sumado puede influenciar los resultados y modelado final para identificar las alternativas con mejor respuesta para controlar y mitigar la remoción de material.

Por tal motivo, se recomienda implementar el proyecto en temporada de baja intensidad de lluvia o verano, facilitando y controlando el acceso al sitio, la recolección de muestras y los ensayos de campo necesarios para comprobar las condiciones de las variables a estudiar (geología, geomorfología, pendientes, hidrología, entre otras.).

De esta manera, el análisis de estabilidad de taludes se vuelve una alternativa viable para disminuir la posible pérdida de vidas involucradas y al mismo tiempo reducir costos en reparaciones de viviendas (agrietamiento, daños en la calzada, asentamientos diferenciales, etcétera), las autoridades pretenden implementar planes de prevención a pequeñas escalas, dando un medio de control municipal y de seguido comenzar planes de evaluación a escalas intermedias.

Toda la información recolectada, será de utilidad para próximos proyectos donde se pueda necesitar y aplicar para evaluar zonas con presencia de amenaza por fenómenos de remoción en masa.



## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes de la investigación**

El barrio Los Nogales se encuentra en las inmediaciones del municipio de Floridablanca, en el departamento de Santander, Colombia. El área de estudio se encuentra aproximadamente contenida en 5241 m<sup>2</sup>, la ubicación sobre el eje X se encuentra por el intervalo de coordenadas: 1109700 – 1110000; y sobre el eje Y se encuentra definido por las coordenadas: 1272950 – 1273400, delimitado en la figura de referencia de la ubicación detallada (Figura 2). El municipio de Floridablanca actualmente hace parte del Área Metropolitana de Bucaramanga junto con los municipios de Girón, Bucaramanga y Piedecuesta (Figura 1).

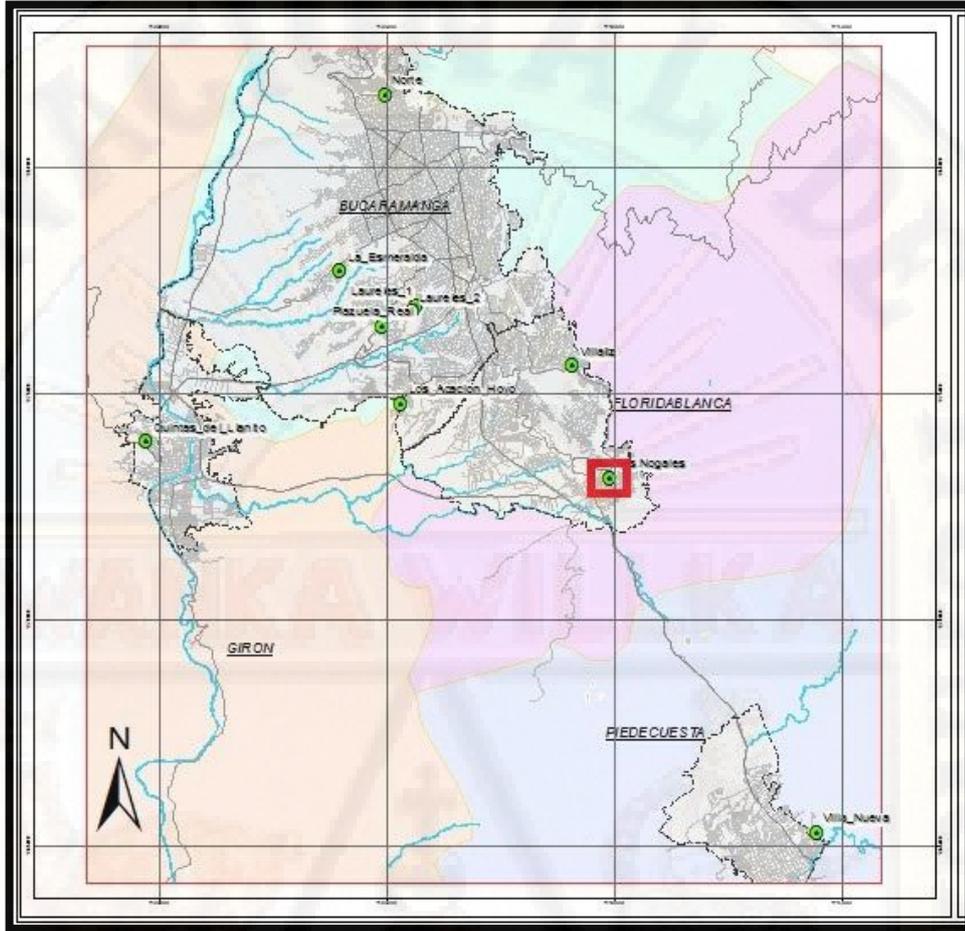


Figura 1. Ubicación del Área Metropolitana de Bucaramanga, señalado en el cuadro rojo la zona de estudio. Generado desde ArcMap 10.3 Fuente: Propia.

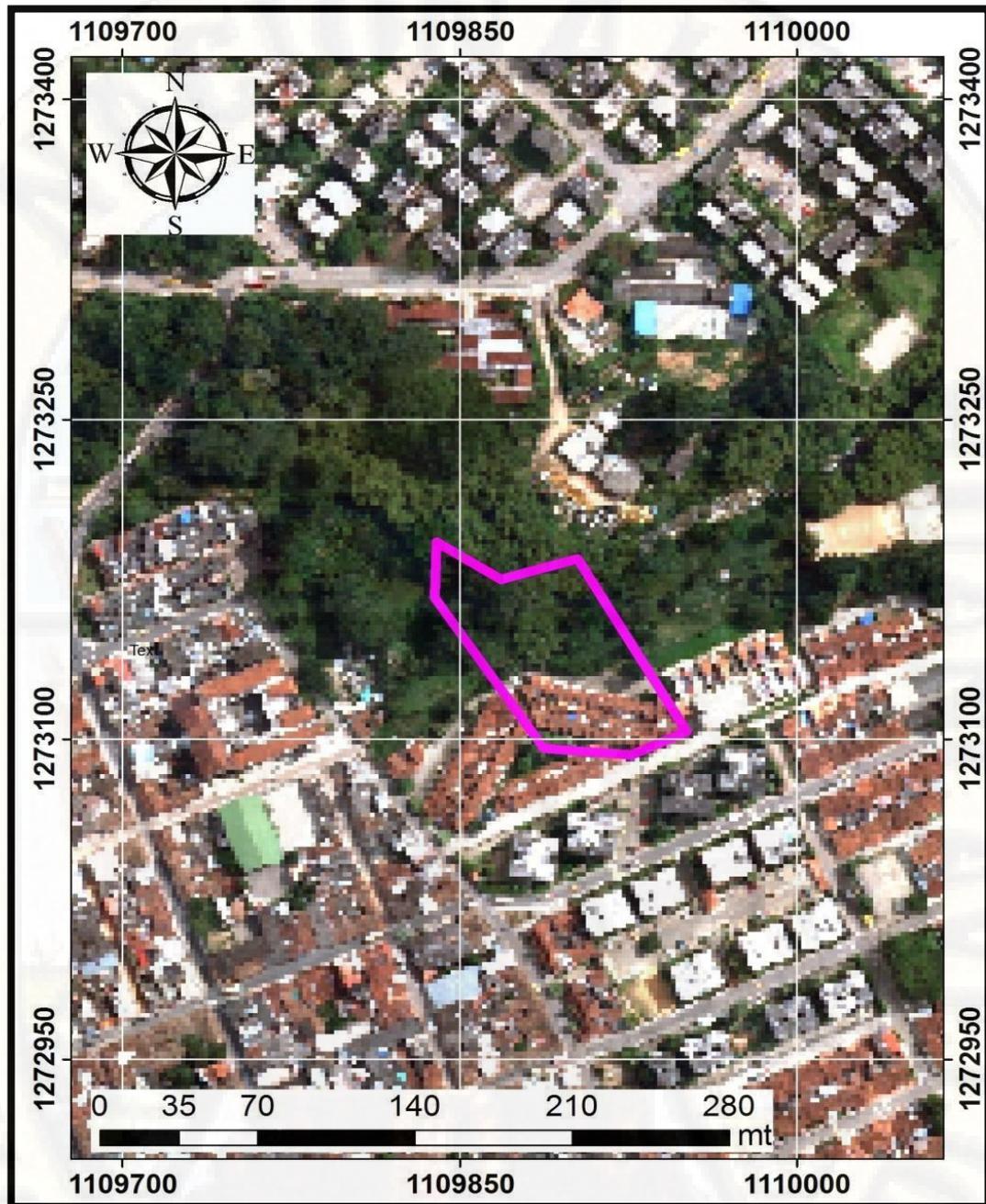


Figura 2. Ubicación a detalle del barrio Los Nogales.

Para el desarrollo del proyecto dentro del barrio Los Nogales, se tomó la información de estudios predecesores y algunas normas importantes para la culminación satisfactoria. Las fuentes de información organizadas de manera alfabética son las siguientes:

- **Bueno y Solarte, 1994. “Geología, Geotecnia y Comportamiento Erosivo de las Áreas de Reserva Forestal de Bucaramanga.”:**

Este estudio hace una recopilación bibliográfica general y se enfatiza en el análisis geológico, geomorfológico, hidrogeológico y geotécnico con la finalidad de obtener del porqué de los diferentes comportamientos de los materiales geológicos y determinar así zonas propensas a erosión.

- **CDMB, 2009. “Normas Técnicas para el Control de Erosión, para la Realización de Estudios Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos y para la Ejecución de Proyectos de Desarrollo”:** Esta norma es la base para el análisis por fenómenos de remoción en masa dentro del área metropolitana de Bucaramanga, para este proyecto se toma los factores de seguridad dentro de la evaluación determinística en condiciones pseudo-estáticas del modelo geológico – geotécnico.
- **De Porta J, 1959. “La terraza de Bucaramanga”:** Descripción detallada de la Estratigrafía comprendida entre el Área de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Lebrija”: El estudio es vital para especificar y hacer referencia a las denominaciones dadas por Hubach, 1952, para cada una de las unidades nombradas por él. Al mismo tiempo entender la relación de la hidrografía con la geología.
- **CDMB - Consorcio Río Frío 2010, 2010. “Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media Del Río Frío (Municipio de Floridablanca y Girón).”:** En este estudio se realizó el análisis de la cuenca media y baja de Rio Frio, el cual arrojó las cotas máximas de inundación en todo el recorrido con diferentes periodos de retorno. Este estudio sirve de referencia para el sector Los Nogales debido a su cercanía al Rio Frio.
- **Google© “GOOGLE EARTH”:** Este medio informático utilizado en la superposición de imágenes satelitales, organizadas en modelos SIG, se utiliza como base cartográfica de localización general de los lugares en estudio, además de visualizarse la imagen satelital, brindando una idea inicial de la ubicación del área del proyecto.

- **IDEAM – CDMB, 2015 “Información Meteorológica del Área Metropolitana de Bucaramanga”:** Esta información se relaciona directamente con los datos de precipitación obtenidos en los diferentes sectores, donde se esté realizando un monitoreo en el régimen de lluvias, entre las estaciones más importantes están, la estación del aeropuerto Palonegro, la estación de la UIS, la estación de la Flora, la Floresta, entre otras.
- **INGEOMINAS. 1999. “Geología del departamento de Santander”:** Este es el mapa presentado para el departamento de Santander en 1999 por el INGEOMINAS, actualmente Servicio Geológico Colombiano, se usa como contexto regional debido a su escala para la categorización geológica para el levantamiento en campo.
- **INGEOMINAS, 2001. “Zonificación Sismo Geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga”:** Estudio desarrollado para el área metropolitana, con identificación de unidades lito-estratigráficas, unidades geomorfológicas, exploración geofísica del subsuelo, caracterización geotécnica del subsuelo y zonificación geotécnica de toda el área metropolitana de Bucaramanga, que sirve como base para realizar el análisis geológico local y para el análisis sísmico de la zona de estudio.
- **INGEOMINAS, 2009. “Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta”:** En este proyecto se denotan cartografías geológicas, geomorfológicas, cobertura vegetal y uso del suelo a escala 1:5.000, como también análisis del subsuelo y ensayos de laboratorio. También se desarrolla el inventario de movimientos en masa y la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, mediante métodos semi-cuantitativos, es la base para la realización de la clasificación y definición geomorfológica de cada lugar de estudio.
- **Julivert M, 1958. “La Morfoestructura de la zona de mesas al SW**

**de Bucaramanga”**: En este estudio se detalla en la región, las diferentes morfologías presentes en el área, como su origen estructural y su énfasis, según la estratigrafía en el área (Detalle de columnas geológicas levantadas y creación de mapa geológico del área).

- **Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) – Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). 2010. “Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10”**: Norma base para el correcto diseño de las obras y alternativas de mitigación, se utilizarán los títulos A, C y H.
- **Royero y Clavijo, 2001. “Mapa Geológico Generalizado, departamento de Santander: Memoria Explicativa. Escala 1:400.000”**: El proyecto explica de manera general todo el contexto evolutivo geológico del área del departamento de Santander, al mismo tiempo las unidades geológicas y las diferentes estructuras a nivel regional.
- **Ward y Goldsmith. 1973 “Geología de los Cuadrángulos H-12: Bucaramanga y H- 13: Pamplona, Departamento de Santander. Memoria Explicativa.”**: Este proyecto abarca el análisis de los cuadrángulos H12 y H13. Se da una recopilación breve y detallada sobre el material asociado a la Formación Bucaramanga, nombrando los estudios anteriormente descritos (De Porta, 1959 y Julivert 1958), también otros materiales caracterizados por estos mismos autores.

## **2.2 Bases teóricas**

El conocimiento de los factores que intervienen en la estabilidad de taludes se convierte en algo esencial para el desarrollo del proyecto, al mismo tiempo ubicar la importancia de las referencias nombradas con anterioridad. Las bases teóricas asociadas al proyecto para la estabilización del talud en el barrio Los Nogales pueden diferenciarse o definirse a continuación.

### 2.2.1 Nomenclatura de un talud o ladera

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativa (Suárez Díaz, 1998). Es importante diferenciar el concepto de ladera desde el punto de vista de origen, abarcando las pendientes generadas de manera natural en el terreno; diferenciándose talud por su relación con procesos de conformación de manera artificial, es decir, debido al manejo antrópico del terreno.

Las formas naturales del terreno (laderas), las cuales permanecen estables por años pueden presentar fallas repentinas asociadas a variables o cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea o superficial, intemperismo diferencial, cambios en la resistencia del suelo o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen el estado natural de estabilidad del terreno.

Por otra parte, los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. (Suárez Díaz, 1998)

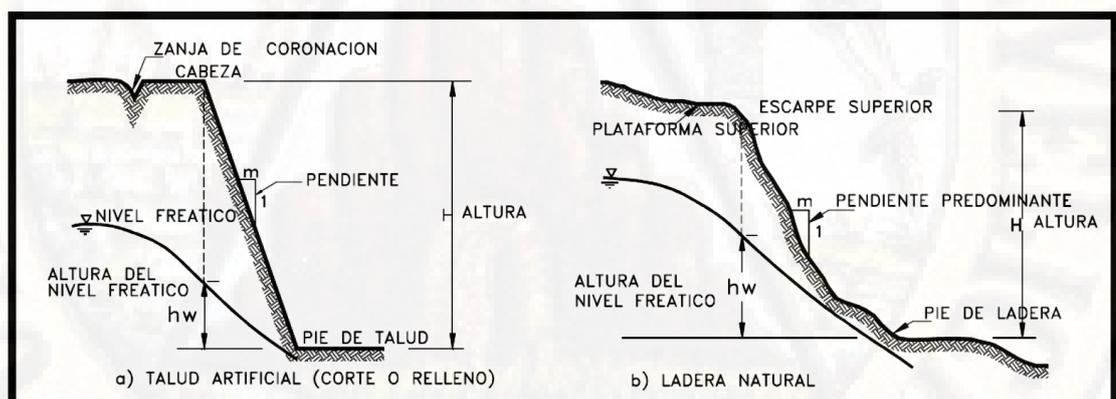


Figura 3. Talud y ladera, tomado de (Suárez Díaz, 1998)

### 2.2.2 Movimientos en masa

Los movimientos en masa (MM) son esenciales en la evolución actual (morfodinámica) del relieve, los factores intrínsecos en ellos como procesos activos muestran un comportamiento de los diferentes macizos rocosos y taludes, fundamental para la caracterización e inventario de estos. Por otra

parte, las clases de MM según (Cruden & Varnes, 1996) describen los tipos de movimientos en masa y el rango de velocidades, lo cual relaciona la intensidad de los movimientos y la amenaza que pueden significar. Las clases de MM según (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007) son caídas, en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable; una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo y en caídas de roca las velocidades alcanzadas pueden exceder los 100 m/s.

Los volcamientos son nombrados así debido a una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Su factor principal es la acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas Varnes (1978) en (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Se pueden diferenciar dos tipos de volcamiento, el volcamiento en bloque asociado a roca competente ocurriendo la falla por pérdida de estabilidad y posterior rotación de uno o varios bloques; el vuelco flexural (flexión) involucra roca frágil y densamente diaclasada donde la falla ocurre por el doblamiento de columnas de roca delgada.

Podemos distinguir, un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante es nombrado como deslizamiento según (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007); definiendo de esta manera dos clases de deslizamiento a partir de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, los traslacionales pueden ser al mismo tiempo planares o en cuña. Los deslizamientos traslacionales son característicos en zonas de falla plana u ondulada siendo representativo en ellos los espesores bajos de material removido. Al contrario, los rotacionales presentan superficies de falla curva y cóncava,

estos muestran superficies con escarpe principal marcado desde la zona de coronación y en algunos casos se puede observar levantamiento del pie de la ladera o macizo rocoso afectado.

Otro movimiento en masa para considerar es la propagación lateral, ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material, originándose principalmente en suelos finos con altos contenidos de agua y saturación considerable. Este movimiento puede considerarse como un estado final en una serie de movimientos donde predomina la deformación interna como mecanismo de desplazamiento relacionado mayoritariamente con deslizamientos y flujos, también pueden desarrollarse y evidenciarse deformaciones plásticas de material frágil bajo el peso de capas competentes de roca.

Los flujos son un tipo de MM que durante su desplazamiento presenta un comportamiento similar a un fluido, pueden ser rápidos o lentos, con alto grado de saturación o seco. Normalmente se clasifica por el tipo y las propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral, entre otros. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Para los movimientos en masa es de carácter primordial la identificación de las velocidades del material a lo largo del suceso para con esto analizar las magnitudes del movimiento, en algunas ocasiones los movimientos de material son lentos, este es el caso de la reptación. Este movimiento es caracterizado por no distinguirse una superficie de falla, asociado a cambios climáticos o el contenido de agua del terreno, es de vital importancia darle igual prioridad con relación a los otros movimientos cuando el desplazamiento es relativamente continuo en el tiempo.

### **2.2.3 Geología**

Los documentos de INGEOMINAS (1999, 2001 y 2009) son esenciales para la alimentación de la variable geología, con el fin de realizar una caracterización de factores tales como litologías, tipos de estructuras regionales y locales, identificación de unidades superficiales, entre otras.

Toda la información recolectada junto a la información generada en campo es combinada, esto ayuda a definir la evolución geológica regional y local del área de estudio; la variable geología es indispensable, la caracterización cualitativa nos ayuda como intermediaria para lograr definir propiedades de resistencia del material y propiedades mecánicas y la respuesta de los diferentes materiales de composición de las rocas y suelos.

De esta manera es importante resaltar propiedades mecánicas como permeabilidad (capacidad de un medio poroso de permitir el paso de un fluido), porosidad como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la muestra (Juarez & Rico, 2005), humedad natural y grado de saturación, entre otras.

La geología estructural es de vital importancia en la estabilidad de taludes, el interés por esta variable se puede reflejar al calcular o definir los esfuerzos o empujes activos dentro de masas de suelo o roca, siendo fundamental encontrar la cinemática representativa del área y como su influencia puede cambiar el comportamiento de estabilidad del talud.

En muchos casos, la geología estructural nos facilita el comportamiento de las principales familias de diaclasas o familia de juntas, colaborando en cómo es la distribución de estas fisuras dentro de los macizos rocosos o taludes por motivo de flujos superficiales, principalmente de escorrentía o drenajes subterráneos; los drenajes subsuperficiales pueden generar cambio en la distribución de esfuerzos y es importante tener en cuenta esta variable o empuje para la estabilización de terreno.

#### **2.2.4 Análisis sísmico**

La principal fundamentación se añade a la Norma Sismo Resistente (NSR-10) Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente, así mismo al Título H: Estudio geotécnico y el Estudio de zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga; con estos tres documentos se identifican los coeficientes de amplificación sísmica  $A_a$  y  $A_{max}$ , dentro de un periodo  $T$  igual a cero, con el fin de aportar a la formulación del modelo geológico – geotécnico, esto debido a que no se

presentan actualmente análisis sísmicos de orden local dentro del alcance del proyecto.

Partiendo de la definición del tipo de suelo, elemento importante puesto que es el medio de propagación de la onda, también sus propiedades mecánicas pueden verse afectadas por el reacomodamiento de partículas por movimientos telúricos; es necesario acudir al número de golpes promedio en fuerzas sísmicas horizontales, verificando el apéndice A4 del Título A de la NSR-10, se observan los índices de amplificación  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $A_d$  y  $A_e$ , además de la categoría de la amenaza sísmica (alta). El Estudio de zonificación sísmica nos enseña el  $A_{max}$ , ocurriendo en el periodo de la onda sísmica igual a cero; todo lo anterior es la base del sismo de diseño nombrado por la NSR-10 en su Título H: Estudios geotécnicos, referido como la variable  $K_{st}$ , siendo el valor ingresado al modelo geológico – geotécnico, para determinar la estabilidad de cada zona de estudio de una manera pseudo – estática.

### **2.2.5 Análisis y levantamiento geomorfológico**

Para el desarrollo se toma como base el estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en masa en algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta; por medio de estos documentos se logra identificar las unidades geomorfológicas o geoformas presentes dentro del área de estudio conservando la nomenclatura y el relieve representativo, entrelazando las descripciones con lo observado en campo desde el punto de vista de los procesos activos denominados morfodinámica.

Lo más importante a tener en cuenta en el levantamiento geomorfológico es el origen del material nuevo, los procesos a los cuales se asocia este material y las modificaciones del relieve a lo largo del tiempo geológico del sector, dentro de los ambientes se pueden identificar el denudacional (D), Fluvial (F), Morfoestructural (S), Antrópico (A), entre otros. Cada uno de estos ambientes posee sus propias geoformas características o categorías representativas, las cuales se describirán de manera local y sectorizarán para mejorar la descripción evolutiva del área de trabajo.

### **2.2.6 Análisis hidrológico**

La referencia principal para la interpretación se genera a partir de la información recolectada desde el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), los datos de precipitaciones con información Meteorológica son esenciales para la predicción de caudales; los caudales son útiles para el diseño de obras y alternativas de mitigación para el cálculo de recurrencia de 10 a 500 años. Tomando como base el estudio de inundación para evaluar su efecto sobre el área de trabajo, los datos recopilados del estudio de inundación son producto de estaciones meteorológicas del IDEAM y la CDMB; la estimación de caudales o régimen de caudales se realizó por medio de análisis estadísticos y mediante el uso de métodos convencionales conocidos y técnicamente aprobados.

Por otra parte, se tomaron los resultados del análisis del estudio del río frío en cuanto a parámetros como los niveles de inundación en áreas aledañas al sector estudiado, caudales esperados en el sector de Floridablanca, niveles de socavación y erosión fluvial puntual en el trayecto del río, entre otros.

### **2.2.7 Análisis de estabilidad**

La caracterización del área desde el ítem de estabilidad se genera por medio de la identificación de los procesos de remoción en masa, este análisis define si es estable o inestable; por medio del análisis determinístico en factores de seguridad (FS) y basándose en los límites por factores de seguridad de la norma geotécnica de la CDMB, creando categorías de tal manera que a partir de lo indicado en la norma el FS sea igual a 1.5 en condiciones estáticas y para pseudo-estáticas de 1.2 para los diferentes escenarios se diseñan las obras de estabilización requeridas. En las condiciones donde el FS sea inferior a 1.0 se considerará como un deslizamiento crítico o alto, así con esta evaluación se determinan medidas de mitigación; las propuestas de alternativas de mitigación pueden ser fácilmente aplicables a sencillas obras superficiales hasta obras complejas

de ingeniería.

## 2.3 HIPÓTESIS

### 2.3.1 Hipótesis principal

El análisis de estabilidad de taludes influye de manera directa en el control y mitigación de laderas para disminuir la amenaza por fenómenos de remoción en masa en el barrio Los Nogales en el municipio de Floridablanca – Santander, Colombia.

### 2.3.2 Hipótesis secundaria

La correcta identificación de las variables (geología, geomorfología, hidrología, entre otras.) por medio de métodos de perforación, ensayos de laboratorio con toma de muestras en campo y el recorrido de toda el área de interés de manera directa, disminuyen la incertidumbre en los mapas y modelos finales para el diseño de las alternativas de remediación.

## 2.4 VARIABLES DEL ESTUDIO

### 2.4.1 Variable independiente

Propiedades físico-mecánicas de las rocas y suelos del barrio Los Nogales.

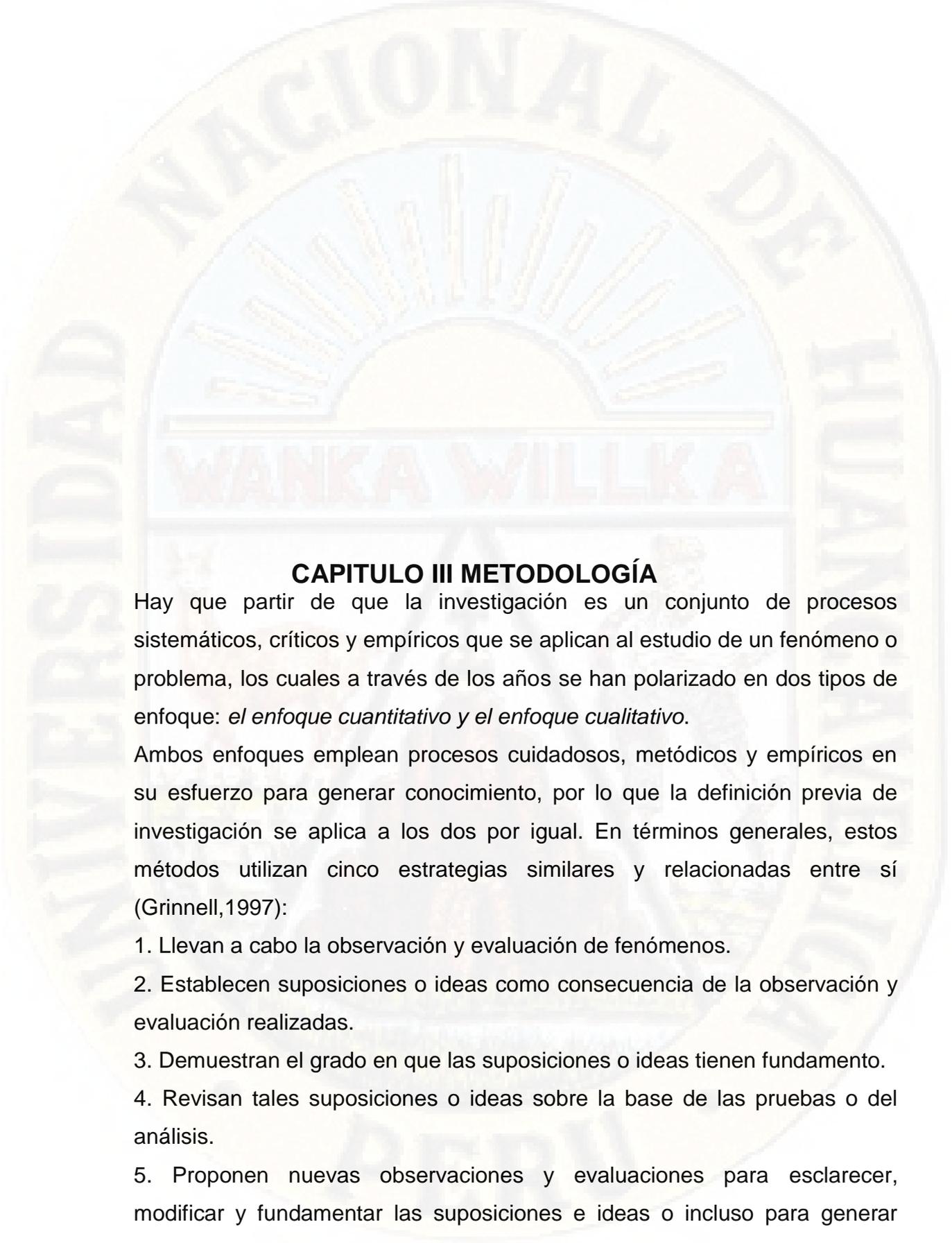
### 2.4.2 Variable dependiente

Diseño y modelamiento de las alternativas de mitigación y remediación dentro del barrio Los Nogales.

## 2.5 DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES

OBJETIVO	VARIABLE	INDICADOR
Realizar un estudio de análisis de estabilidad de taludes y diseño de alternativas de mitigación a la amenaza por remoción	<b>Dependiente:</b>	
	Diseño y modelamiento de las alternativas de mitigación y remediación dentro del barrio Los Nogales.	- Pendiente del terreno. - Procesos erosivos. - Tipo de relieve. - Ángulo de fricción. - Superficie de corte.

en masa del sector Los Nogales, dentro del municipio de Floridablanca – Santander, Colombia.	<b>Independiente:</b>	
	Propiedades físico- mecánicas de las rocas y suelos del barrio Los Nogales.	-Análisis granulométrico. -Límites de consistencia. - Nivel freático. - Alteración del material. - Presencia de fracturas.



### **CAPITULO III METODOLOGÍA**

Hay que partir de que la investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema, los cuales a través de los años se han polarizado en dos tipos de enfoque: *el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo*.

Ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo para generar conocimiento, por lo que la definición previa de investigación se aplica a los dos por igual. En términos generales, estos métodos utilizan cinco estrategias similares y relacionadas entre sí (Grinnell,1997):

1. Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.
2. Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
3. Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
4. Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.
5. Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas o incluso para generar

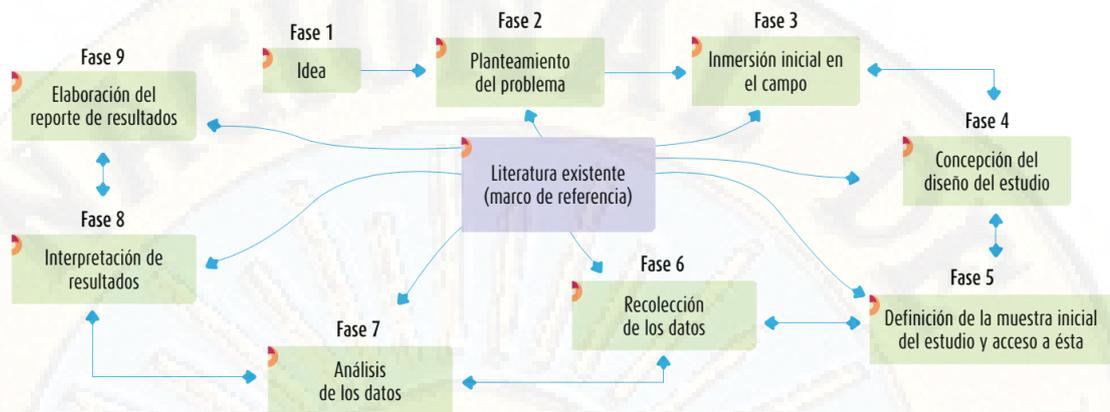
otras.

*El enfoque cuantitativo* es secuencial y probatorio, en donde cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y una vez delimitada se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables, se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto, se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis.



Esquema 1. Proceso de investigación cuantitativa. Tomado de Metodología de la investigación Sampieri.

*El enfoque cualitativo* también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos.



Esquema 2. Proceso de investigación cualitativa. Tomado de Metodología de la investigación Sampieri.

“Para realizar el análisis de estabilidad por fenómenos de remoción en masa dentro del barrio Los Nogales a la investigación se le dará un **enfoque mixto**, es decir, por medio del desarrollo de preguntas antes y durante el proceso de recolección y análisis de datos, sin olvidar el refinamiento de las hipótesis después de obtener los datos cuantitativos de todas las variables para así generar las alternativas con mayor impacto ante las necesidades del área de estudio.

Para este proyecto se trabajarán ecuaciones matemáticas para cálculos de esfuerzos y valores estadísticos asociados a una alta gama de datos tomados in situ (resistencia, humedad, etc.), promediados y balanceados a partir del criterio profesional y las condiciones actuales del terreno; acompañados de estudios de laboratorio por medio de métodos de exploración invasiva.”

### 3.1 Tipo de Investigación

Al dar una clasificación de los tipos de investigación se debe partir del hecho de que toda investigación debe implicar un cambio, una transformación o un aporte a la ciencia, la realidad o al investigador y su medio. Los tipos de conocimiento en un orden que tiene en cuenta la profundidad del conocimiento son:

- **Investigación fundamental, básica o pura:** Se caracteriza porque parte de un marco teórico y permanece en él; la finalidad radica en

formular teorías nuevas o modificar las que existen, en incrementar los conocimientos científicos, pero sin corroborarlos o confrontarlo con ningún aspecto práctico.

- **Investigación aplicada:** También se conoce como investigación práctica o empírica. Su principal característica es la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos. La investigación básica y la aplicada guardan cierta relación, toda vez que depende de los resultados de esta última; esto queda aclarado si planteamos que toda investigación aplicada requiere de marco teórico. No obstante, cuando se realiza una investigación empírica, lo que busca el investigador es el conocimiento de las consecuencias prácticas.

“Dentro de la investigación planteada para este proyecto se define como una **investigación aplicada**, esto debido a que, se inicia de un desconocimiento de las condiciones intrínsecas del terreno en cuanto a propiedades físicas, propiedades mecánicas, condiciones de humedad, tipo de material, ambiente de evolución y condiciones actuales del terreno, pero al mismo tiempo, se posee conocimiento o noción de la información con mayor relevancia dentro del macizo rocoso y la ladera a estudiar, cuáles son los ensayos y las pruebas que deben realizarse durante el campo para obtener información fundamental para generar un análisis pertinente y asertivo del terreno. Algunos documentos anteriores postulan los cambios que se han presentado en el sector del barrio Los Nogales, generando una idea de las condiciones del terreno y los principales factores que pueden afectarla”.

Al mismo tiempo en esta etapa inicial se puede organizar toda la información recopilada por medio de la creación de una base de datos bibliográfica y cartográfica del área de estudio, con la implementación de un Sistema de información Geográfico (GIS); permitiendo un mejor análisis de la información durante todo el proyecto.

### **3.2 Nivel de Investigación**

Se entiende que la investigación se podría presentar de varias maneras y de

igual forma clasificarla, es por ello por lo que ciertos autores comúnmente la clasifican en función de su nivel investigativo, el cual incrementa el grado investigativo sobre el tema que está siendo objeto de estudio. Es por ello que en función del nivel el tipo de investigación puede ser descriptiva, explicativa y exploratoria (ésta en algunos casos se conoce como experimental).

### **3.2.1. Nivel descriptivo.**

Con frecuencia la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

### **3.2.2. Nivel explicativo.**

Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables.

### **3.2.3. Nivel exploratorio o experimental.**

Es aquel que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento. Este tipo de investigación, de acuerdo con Sellriz (1980) puede ser:

- a) Dirigido a la formulación más precisa de un problema de investigación, dado que se carece de información suficiente y de conocimiento previo del objeto de estudio, resulta lógico que la formulación inicial del problema sea imprecisa. En este caso la exploración permitirá obtener nuevo datos y elementos que pueden

conducir a formular con mayor precisión las preguntas de investigación.

- b) Conducente al planteamiento de una hipótesis: cuando se desconoce el objeto de estudio resulta difícil formular hipótesis acerca del mismo. La función de la investigación exploratoria es descubrir las bases y recabar información que permita como resultado del estudio, la formulación de una hipótesis. Las investigaciones exploratorias son útiles por cuanto sirve para familiarizar al investigador con un objeto que hasta el momento le era totalmente desconocido, sirve como base para la posterior realización de una investigación descriptiva, puede crear en otros investigadores el interés por el estudio de un nuevo tema o problema y puede ayudar a precisar un problema o a concluir con la formulación de una hipótesis.

“Para el desarrollo del proyecto de investigación, se llevará un **nivel exploratorio o experimental**, donde el punto de partida es desconocido y con pocos antecedentes técnicos que brinden información confiable de cómo se debe realizar el diseño de mitigación y la caracterización de las variables ante la generación de fenómenos de remoción en masa, recordando que dentro del campo de la ingeniería es fundamental la magnitud y calidad de los datos lo más cercanos al estado actual del macizo rocoso y las diferentes variables que pueden estar cambiando las condiciones de la ladera, con la finalidad de obtener los mejores resultados”.

### **3.3 Métodos de Investigación**

La palabra metodología es un cuerpo de conocimientos que describe y analiza los métodos indicando sus limitaciones y recursos, clarificando sus supuestos y consecuencias y considerando sus potenciales para los avances en la investigación. El objetivo de la metodología es el mejoramiento de los procedimientos y criterios utilizados en la conducción de la investigación científica.

A continuación, se definen algunos métodos utilizados en la investigación

científica:

- **Método inductivo:** el método inductivo utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos aceptados como válidos, para llegar a conclusiones, cuya aplicación sea de carácter general, se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones universales que se postulan como leyes, principios o fundamentos de una teoría.
- **Método deductivo:** el método deductivo consiste en tomar conclusiones generales para explicaciones particulares. El método se inicia con el análisis de los teoremas, leyes, postulados y principios de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares.
- **Método analítico:** el método analítico es un proceso cognoscitivo, que consiste en descomponer un objeto de estudio separando cada una de las partes del todo para estudiarlas en forma individual.
- **Método sintético:** es un proceso que consiste en integrar los componentes dispersos de un objeto de estudio para estudiarlos en su totalidad. Método inductivo-deductivo: consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos.
- **Método dialéctico:** este método se caracteriza por su universalidad, porque, es un método general, es aplicable a todas las ciencias y a todo proceso de investigación.

“Dentro del proyecto de investigación, abarcaremos el concepto del **método analítico – sintético**, comenzando con el estudio y análisis de variables (geología, geomorfología, hidrología, entre otras.) de forma individual, dentro de la ladera y el macizo rocoso, tanto las propiedades físicas y mecánicas, condiciones ambientales, morfometría del terreno, entre otras; a su vez, se integran los componentes para obtener mapas y modelos de las variables

mencionadas para un análisis ante las posibles alternativas que den respuesta a los objetivos planteados”.

### 3.4 Diseño de Investigación

Cuando se hace referencia al *diseño de la investigación*, se refiere a la estrategia programada para la consecución de los objetivos planteados y satisfacer la necesidad de resolver el problema inicial.

Cada tipo de diseño posee características particulares por lo que cada uno es diferente a cualquier otro y no es lo mismo seleccionar un tipo de diseño que otro. La eficacia de cada uno de ellos depende de si se ajusta realmente a la investigación que se esté realizando. Los diseños experimentales son propios de la investigación cuantitativa, mientras los no experimentales se aplican en ambos enfoques (cualitativo o cuantitativo). De este modo existen dos clases de diseño de investigaciones principales, los experimentales o de laboratorio y los no experimentales que se basan en la temporalización de la investigación.

“Para generar de manera adecuada **el análisis de estabilidad de taludes por fenómenos de remoción en masa**, se debe optar por el siguiente diseño de investigación, correspondiente con una investigación experimental”.



Esquema 3. Diseño de la investigación. Fuente: Propia.

Como una profundización en la tercera etapa del diseño de investigación planteado, las variables dentro de la investigación son:

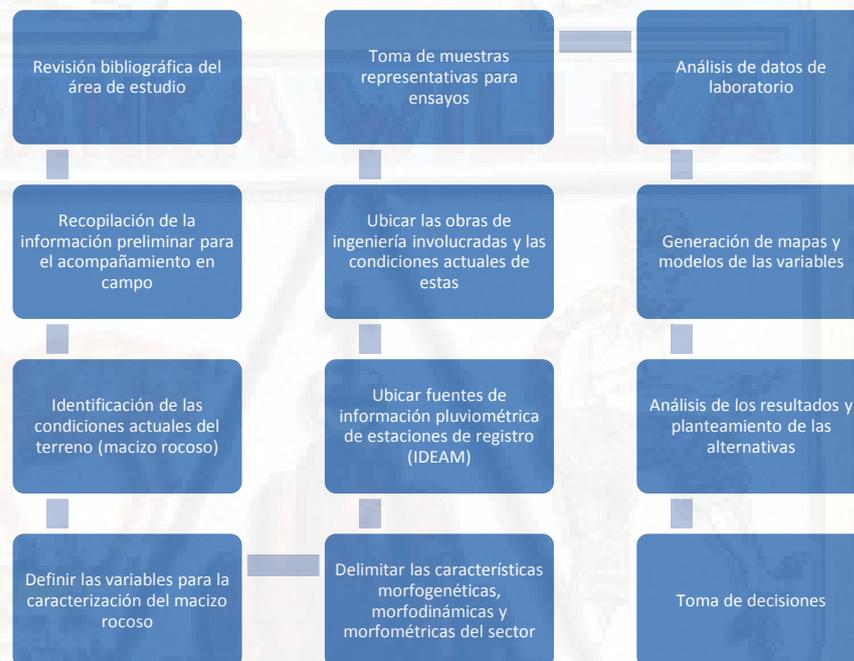
- Análisis de las variables condicionantes del macizo rocoso y el estado actual de la ladera.
- Cuantificación del estado de las obras de ingeniería presentes y los procesos activos dentro del área.
- Estadística de los datos tomados en campo.
- Verificación de los datos para la creación del diseño de alternativas.

Para mantener el control sobre las variables mencionadas, se hace indispensable poseer indicadores de medición, los cuales permitirán conocer datos únicos que servirán para la toma de decisiones. Como indicadores de medición se pueden mencionar:

- Mapeo geológico – geomorfológico
- Manejo de datos y toma de datos pluviales recientes.
- Toma de muestras por métodos exploratorios invasivos – directos.
- Ensayos de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas y físicas de las diferentes capas.
- Interpretación de los datos obtenidos
- Factor de seguridad

- Determinación de las alternativas para evitar la generación de fenómenos de remoción en masa.

Dentro del proyecto actual, se tendrán en cuenta algunas modificaciones generando un esquema más específico para todo el desarrollo del problema y la definición de las alternativas ante la posible generación de fenómenos de remoción en masa, buscando como finalidad emitir un concepto claro y sustentado sobre las diferentes alternativas dentro del barrio Los Nogales de manera técnica y ajustada a la realidad de lo percibido en el entorno del proyecto.



Esquema 4. Diseño de la investigación específico y toma de datos. Fuente: Propia.

### 3.5 Población, muestra y muestreo

Para llevar a cabo un proyecto de investigación, se hace necesario el uso de los procesos estadísticos, cuyo objeto es relacionar numéricamente el entorno donde se trabaja, la calidad y confiabilidad de los datos y las técnicas utilizadas para tal fin. Se sabe que **la población** es el conjunto de individuos u objetos que comparten características similares o que satisfacen los criterios de estudios pertinentes para realizar la investigación. Al realizar una investigación se deben contemplar si es el caso, ciertas características

de la población que será objeto de estudio, tales como la homogeneidad, el tiempo, el espacio y la cantidad. *La muestra* es una porción determinante o representativa de la población que se toma con el fin de realizar un estudio más manejable y con alto grado de confiabilidad. Estas muestras pueden ser aleatorias o sistemáticas, dependiendo del grado de representatividad que se requiera. *El muestreo* es el mecanismo utilizado para realizar la elección de una muestra representativa para la investigación. Igual que la muestra, este muestreo se puede ejecutar de manera aleatoria o sistemática.



Esquema 5. Esquema del muestreo. Fuente: Propia.

Dentro del proyecto, el objetivo general es realizar un análisis de estabilidad de taludes y diseño de obras de mitigación por fenómenos de remoción en masa dentro del barrio Los Nogales, con análisis de las obras de ingeniería presentes en el área y las condiciones actuales del terreno perimetral. Conociendo esto, **la muestra** se relaciona con la toma de datos de litologías, condiciones de las variables (geología, geomorfología, pendientes, drenajes, etc.), los procesos activos y las muestras para ensayos de laboratorio posteriores a la visita de campo, cubriendo los cambios dentro de la ladera y macizo rocoso dentro del área de interés.

### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica para la recolección de datos y muestras es directa, relacionada con las condiciones ambientales se aplican algunos métodos de exploración invasivos (perforaciones) por medio de maquinaria media-liviana. Por otro lado, las muestras del macizo rocoso y la ladera son extraídas desde el afloramiento y embaladas para el posterior análisis, siendo este lo que se considera como la muestra de la investigación.

Las descripciones de los afloramientos de roca y suelo son indispensables para conocer el comportamiento cualitativo y la caracterización del macizo rocoso; acompañado de la identificación de drenajes transicionales y algunas quebradas cerca de las obras de ingeniería, las clasificaciones de madurez y procesos erosivos dentro de la ladera son fundamentales para interpretar las magnitudes recientes y los cambios climáticos importantes.

La evaluación de las obras preexistentes de ingeniería y el pleno conocimiento de la situación ante la posible generación de fenómenos de remoción en masa es fundamental, cuantificar la resistencia y las condiciones de drenaje se hacen necesarias para los modelos y diseños geológicos – geotécnicos para el macizo rocoso.

Como último punto, controlar y organizar la información por medio de libretas de campo para no perder ni cambiar los datos tomados en campo es imprescindible para los posteriores estudios y ensayos de laboratorio.

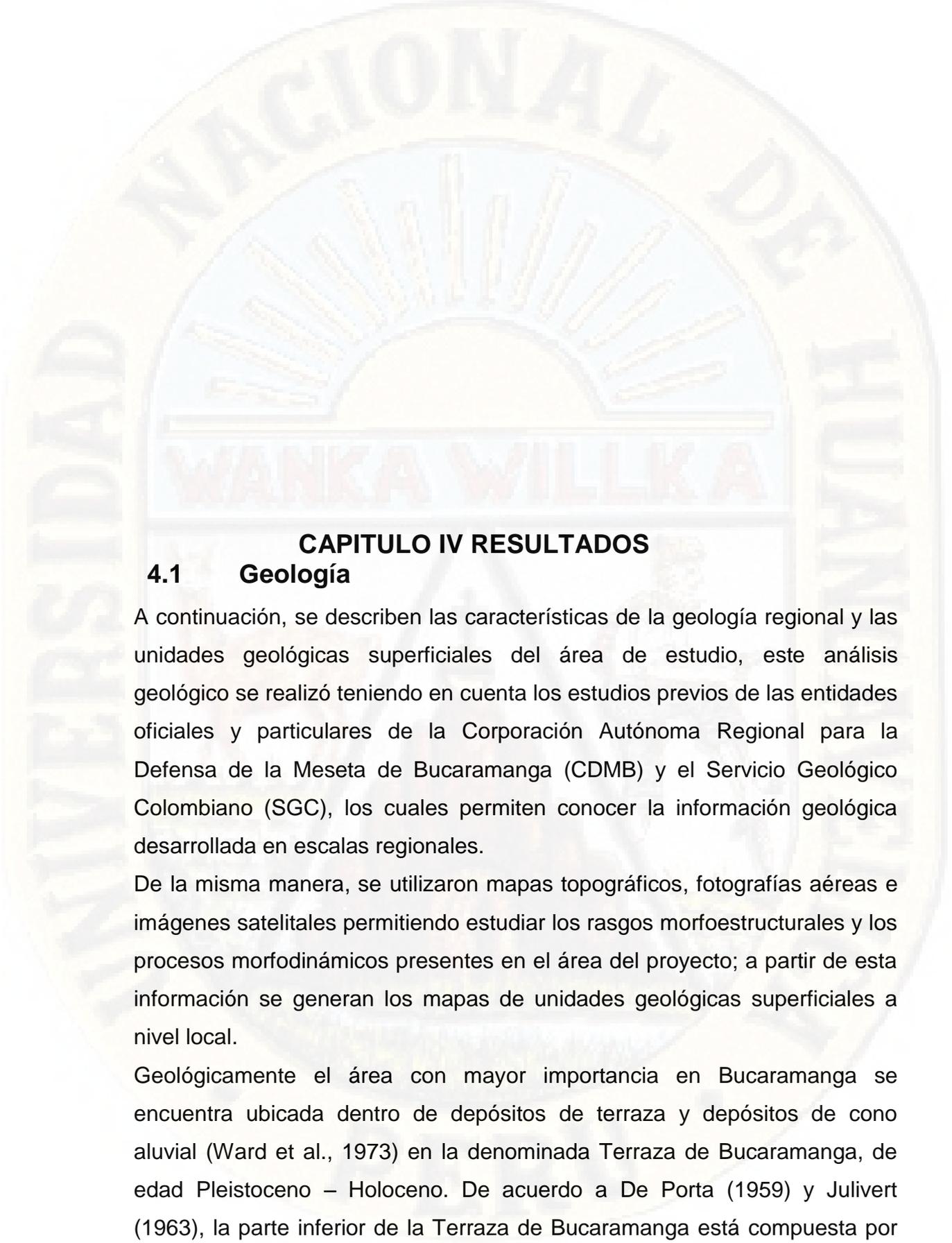
### **3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Conociendo que la investigación se basa en el registro de datos cualitativos (numéricos) y cuantitativos (características del macizo rocoso y la ladera), se realizarán algunos análisis estadísticos para observar algunas tendencias o promedio de comportamiento de los parámetros con mayor relevancia, gráficos de distribuciones y tablas comparativas para definir las características del macizo rocoso y los materiales englobados en todo el espacio del proyecto.

Así mismo, las evaluaciones tomadas in situ durante el campo de las características del terreno y los procesos que se logran observar, las cuales deben ser objetivas y con el mayor argumento que represente las cualidades y propiedades del terreno para el diseño de las alternativas que mejor se acoplen con la representación de las condiciones del barrio Los Nogales.

Los mapas serán digitalizados por medio de software GIS para correlacionar las variables y los cambios composicionales y comportamentales del terreno en cuanto a la generación de fenómenos de remoción en masa, al mismo tiempo, ubicar o georreferenciar puntos de interés (quebradas, obras de ingeniería, cambios litológicos, entre otros.) para los posteriores modelos dentro del área del proyecto.

Para la generación de los modelos geológico – geotécnico es indispensable el apoyo de los ensayos de laboratorio a las muestras tomadas con esta finalidad para conocer el comportamiento mecánico de los materiales y la respuesta ante la presencia de fenómenos de remoción en masa; el software Sople/W del GeoStudio (nos brindará los factores de seguridad por medio de los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern – Price, Bishop y Spencer en condiciones estáticas y pseudo-estáticas) modelará la información del macizo rocoso y la ladera dentro del área para diseñar las alternativas que mejor se adecuen con las condiciones actuales del terreno.



## **CAPITULO IV RESULTADOS**

### **4.1 Geología**

A continuación, se describen las características de la geología regional y las unidades geológicas superficiales del área de estudio, este análisis geológico se realizó teniendo en cuenta los estudios previos de las entidades oficiales y particulares de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC), los cuales permiten conocer la información geológica desarrollada en escalas regionales.

De la misma manera, se utilizaron mapas topográficos, fotografías aéreas e imágenes satelitales permitiendo estudiar los rasgos morfoestructurales y los procesos morfodinámicos presentes en el área del proyecto; a partir de esta información se generan los mapas de unidades geológicas superficiales a nivel local.

Geológicamente el área con mayor importancia en Bucaramanga se encuentra ubicada dentro de depósitos de terraza y depósitos de cono aluvial (Ward et al., 1973) en la denominada Terraza de Bucaramanga, de edad Pleistoceno – Holoceno. De acuerdo a De Porta (1959) y Julivert (1963), la parte inferior de la Terraza de Bucaramanga está compuesta por

gravas, arena, limo y pequeñas capas de arcillas de procedencia fluvial; mientras la parte superior está compuesta de cantos heterogéneos asociados a depósitos coluviales, perdiendo espesor al alejarse del frente montañoso del macizo de Santander, presentan un gradiente superficial mucho mayor que los depósitos fluviales subyacentes y se encuentran restringidos a una zona paralela a lo largo de los valles. Estas unidades se encuentran presentes en el área local del Barrio Los Nogales.

#### **4.1.1 Geología Regional**

Las características regionales de la zona de estudio se encuentran relacionadas a los bloques tectónicos delimitados por la Falla de Suárez al occidente y la Falla de Bucaramanga al oriente (INGEOMINAS, 2007). Las unidades litológicas presentes en la región son descritas con base al estudio de zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga (2011) así:

- **Neis de Bucaramanga (pEb):** Definido por Goldsmith (1971), como una unidad constituida por una secuencia de roca metasedimentaria de alto grado de metamorfismo conformado principalmente por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo; esquistos y gneis calcáreo, con presencia de mármol, gneis horbléndico y anfibolita. Este gneis presenta dos zonas de migmatita, un área donde se encuentra el paragneis está mezclado con roca granítica gnéisica y la otra área donde ambos están cortados por masas pequeñas de granito no foliado (Ward *et al.*, 1973). Las rocas de la unidad afloran al oriente del área metropolitana de Bucaramanga y se encuentra localizada al este de la Falla de Bucaramanga (Figura 4). Entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta la unidad presenta variaciones en la orientación de la foliación, lo cual indica perturbaciones a nivel estructural con grandes magnitudes; encontrándose en contacto con intrusivos Jurásicos graníticos y es considerada de edad precámbrica (Ward *et al.*, 1973).

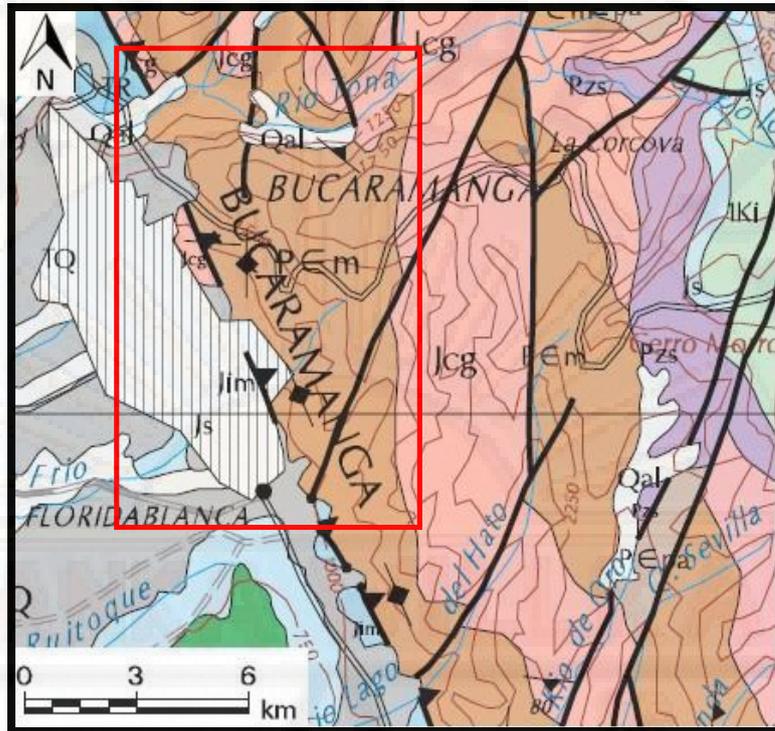


Figura 4. Unidad Neis de Bucaramanga ubicada al Este del Municipio de Bucaramanga. Tomado de Ingeominas, 1999.

- Formación Silgará (pDs):** Nombre propuesto por Ward *et al.*, (1973) al referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfoseadas de estratificación delgada, compuesta principalmente por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y en menores cantidades pizarra y filita calcárea; la sección tipo de la unidad es localizada en la Quebrada Silgará. Las relaciones estratigráficas sugieren que la unidad se encuentra suprayaciendo al Neis de Bucaramanga e infrayaciendo en contacto discordante con la Formación Floresta del Devónico (Figura 5).

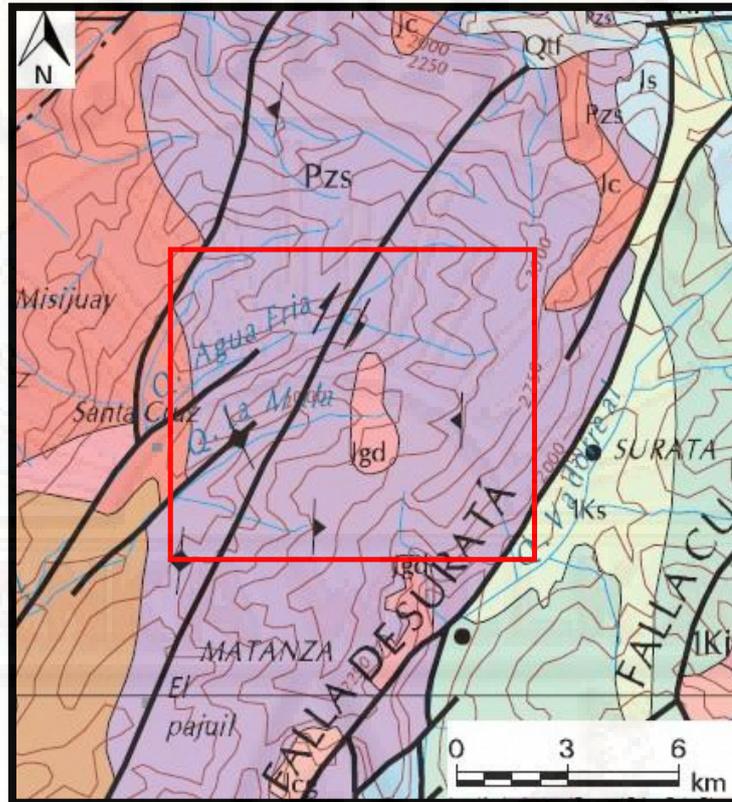


Figura 5. Formación Silgará ubicada al Noreste del Municipio de Bucaramanga. Tomado de Ingeominas, 1999.

- Formación Bucaramanga:** La formación Bucaramanga hace parte de los depósitos cuaternarios descritos por Ward *et al.*, (1973). La unidad inicialmente fue propuesta por Hubach (1951), quien la subdivide en: Miembro Órganos (Qbo) y Miembro Finos (Qbf). Posteriormente De Porta (1959) divide la formación en tres paquetes diferenciados de la siguiente manera: uno inferior conformado por niveles discontinuos de gravas clasto soportadas y con lentes arenosos intercalados con un espesor de 150 m; un segundo manto rocoso con un espesor de 18 m ubicado en la parte superior, compuesto de sedimentos arcillosos y un último paquete de 8 a 15 m de espesor, constituido por una mezcla de fragmentos angulares gruesos y finos arenosos. Sin embargo, después de trabajos de campo detallados el INGEOMINAS subdivide la unidad en cuatro miembros: Órganos (Qbo), Finos (Qbf), Gravoso (Qbg) y Limos Rojos (Qblr); de acuerdo con las dataciones publicadas en el

proyecto hidroeléctrico Fonce-Suárez, la edad de la Formación Bucaramanga es menor a 730.000 años Pleistoceno (INGEOMINAS, 1997) (Figura 6).

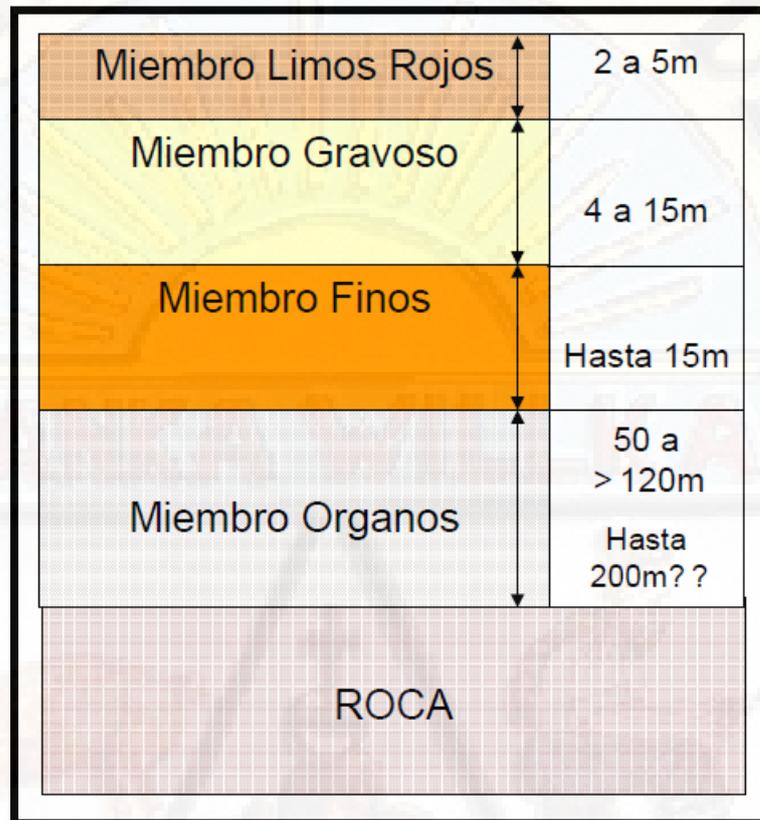


Figura 6. Perfil tipo de los miembros que componen la Formación Bucaramanga. Tomado de INGEOMINAS, 2001.

Morfológicamente la unidad corresponde a un abanico aluvial erosionado posiblemente asociado en gran parte al río Suratá, su acumulación se da sobre una depresión de origen tectónico, sobre la cual se ubica el casco urbano de la ciudad de Bucaramanga. El abanico limita al nororiente y oriente con el Macizo de Santander, al noroccidente y occidente con el Cerro de Palonegro y el río de Oro, al sur con la Mesa de Ruitoque; geomorfológicamente presenta una superficie suavemente ondulada, con pendiente ligeramente inclinada al occidente, entre 2 y 7 grados, con una extensión aproximada de 60 a 80 km<sup>2</sup>. Los valores reales de los espesores de la Formación Bucaramanga son desconocidos, sin embargo, por medio de los cortes geológicos se ha estimado un valor promedio de 250 m en sus

mayores espesores.

Para esta unidad se ha considerado un ambiente fluvial, con alternancia de materiales de origen aluvial del tipo cono de deyección, flujos de escombros, depósito de canal y lagunar; esto relacionado con base en la granulometría presente en los materiales, los rasgos geomorfológicos de la formación, así como los posibles agentes de transporte y la fuente de generación del material suelto (Julivert, 1958).

Así mismo se describen las características geológicas de cada uno de los cuatro miembros, de acuerdo con la información geológica encontrada en los estudios del INGEOMINAS (2011).

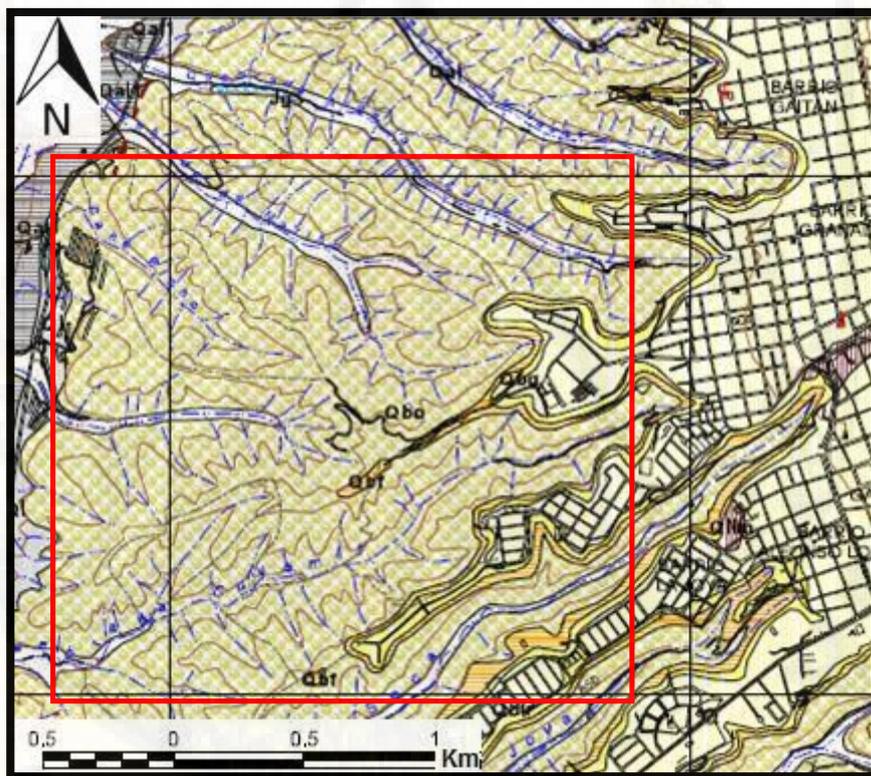


Figura 7. Formación Bucaramanga Miembro Órganos (Qbo), al Oeste del Municipio de Bucaramanga. Tomado de INGEOMINAS, 2001.

**Miembro Órganos (Qbo):** Definida por Hubach (1951), posee un espesor mayor a 180 m, siendo el más potente de la Formación Bucaramanga. La

presencia de una serie de niveles polimícticos de fragmentos gruesos de aspecto conglomerático, con alternancia de capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura según Bueno y Solarte (1994) indican los niveles y cambios turbulentos durante la deposición del material. Los niveles lenticulares descritos por Hubach (1951), algunos limo-arenosos de hasta 5 m; otros niveles de aspecto conglomerático que forman los depósitos de gravas y bloques poco consolidados dispuestos en forma de capas gruesas a muy gruesas, con espesores hasta de 15 m. Los tamaños de los cantos varían de 10 a 30 cm, alcanzando bloques mayores a 1 m de diámetro con predominancia de areniscas silíceas de grano medio, altamente cementadas y con menor proporción fragmentos de rocas ígneas ácidas de textura fanerítica, gneises micáceos de color amarillo hasta rosado, areniscas lodosas rojizas de grano fino y alto contenido de micas, cuarzo lechoso, liditas y cherts. Los niveles gravosos se caracterizan por su matriz arcillosa pardo amarillento y los niveles finos presentan material arcilloarenoso y arenoarcilloso de consistencia compacta, con trazas de materia orgánica (Figura 7).

**Miembro Finos (Qbf):** Esta sección fue reconocida y definida por Hubach (1951), se ubica estratigráficamente entre el nivel inferior de la Formación Bucaramanga (Miembro Órganos) y el nivel superior (Miembro Gravoso) en contactos netos del tipo plano paralelo. Es una capa lenticular horizontal con alternancia de niveles arcillosos, limoarenosos y arenolimosos, con tonalidades gris verdosos con espesores promedio de 15 m. La geometría de la unidad es tabular con estratificación paralela, cruzada y ondulosa; con capas de 5 a 40 cm. Hacia la base el Miembro Finos es característico de material arcillolimoso, masivo, con tonalidades grises a verdes, estratificación plana paralela, y gran variación de espesores. En el techo del miembro se encuentran intercalaciones entre niveles arenolimosos y limoarenosos arcósicos de tonos amarillento a pardo amarillento.

La representación geomorfológica de este miembro es marcada por presencia de escarpes con un grado de alteración moderada con consistencia plástica para el material arcilloso (Figura 8). El ambiente de deposición para este miembro es de orígenes aluviales de intercanales poco profundos, de baja energía y de escasas interdigitaciones de flujos de escombros de facies arenosas (INGEOMINAS, 2001).

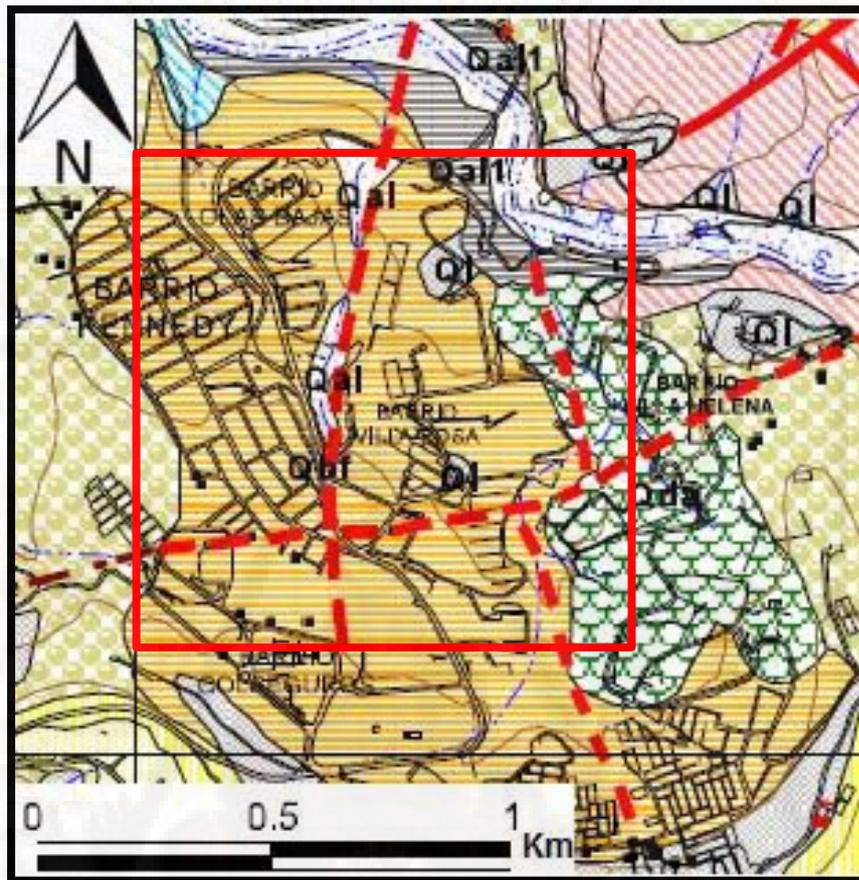


Figura 8. Formación Bucaramanga Miembro Finos, al Norte del municipio de Bucaramanga. Tomado de INGEOMINAS 2001.

**Miembro Gravoso (Qbg):** Definido por Niño y Vargas (1992), se observa ubicado sobre el escarpe occidental y norte de Bucaramanga (Figura8); abarcando los escarpes superiores de la parte alta del barrio La Gran Ladera y el nacimiento de la quebrada La iglesia, en los alrededores de los barrios Lagos del Cacique, Diamante II y San Luis. Los espesores varían entre 8 y 30 m; los principales niveles son gravosos, gravo arenosos y gravo lodosos. En su mayoría los cantos se encuentran compuestos por fragmentos de

rocas metamórficas e ígneas y en menores cantidades sedimentarias tales como areniscas cuarzosas, areniscas limosas y limolitas moradas; los tamaños de grava presentan un diámetro promedio de 15 cm, y predomina sobre bloques de rocas de hasta 80 cm de diámetro. La estructura interna es matriz soportada, con áreas clasto soportada en sitios puntuales; el contacto con el Miembro Finos es neto, continuo y suavemente ondulado, infrayaciendo el Miembro Limos Rojos en contacto gradacional (Niño y Vargas, 1992).

Geomorfológicamente es similar al Miembro Órganos en los sectores de valles y quebradas. En la parte sur de la Quebrada la Iglesia, su morfología se caracteriza por presentar colinas suaves, onduladas y laderas alargadas con un drenaje dendrítico; el grado de meteorización en estas zonas es medio a alto, siendo en la parte superficial menos compacta y altamente permeable. El ambiente de deposición es de flujo de escombros (INGEOMINAS, 2001) (Figura 9)

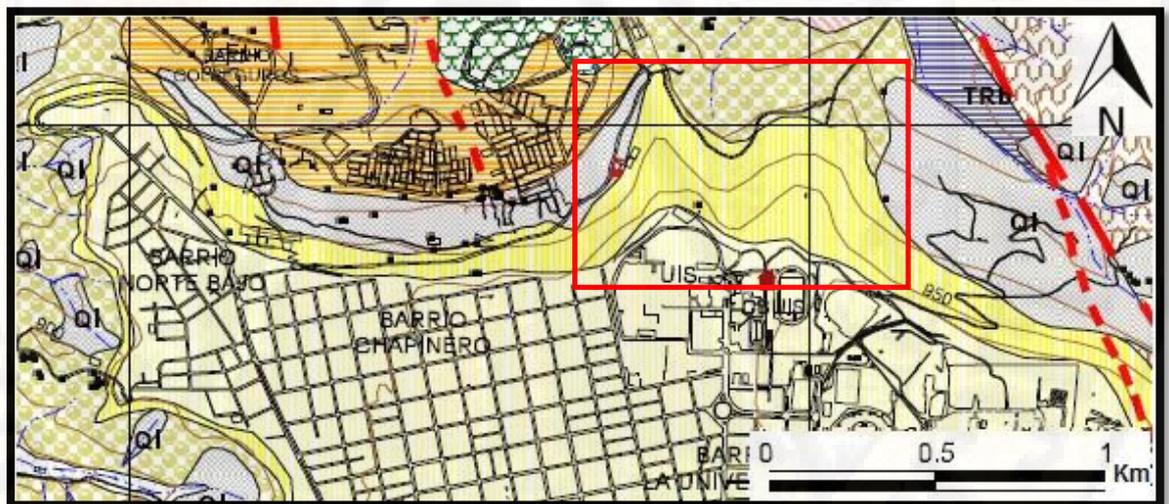


Figura 9. Formación Bucaramanga Miembro Gravoso al Norte del Municipio de Bucaramanga. Tomado de INGEOMINAS, 2001.

**Miembro Limos Rojos (Qblr):** Nivel definido por Julivert (1963), localizado de forma no uniforme en el sector urbano de Bucaramanga y continúa hacia el sur hasta el sector norte del municipio de Floridablanca. Las características texturales se relacionan con arenas arcillosas gravosas y



geológicas superficiales (UGS) a escala detallada (1:200), de acuerdo a las características físico-mecánicas de los diferentes suelos y materiales rocosos presentes en el área de estudio.

Las UGS corresponden a un conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros (Hermelin, 1987). Estas formaciones superficiales incluyen rocas con diferente grado de meteorización, suelos y depósitos sin consolidación según su origen (Tabla1), y que son correlacionables con procesos morfodinámicos relacionado con la acción de agentes exógenos y endógenos que constantemente cambian y modelan la superficie terrestre. La caracterización geológica de estas unidades permite evaluar el comportamiento mecánico de un terreno, siendo esta evaluación el insumo principal para el desarrollo y generación de obras civiles; a partir de esta información es elaborado el mapa de Unidades Geológicas Superficiales, el cual proporciona de manera visual las condiciones físicas actuales de las diferentes litologías en superficie.

De esta manera se considera un factor sumamente importante para el planteamiento del uso del suelo para el desarrollo urbano, así como para la construcción y mantenimiento de obras de ingeniería que permitan mitigar, controlar y prevenir los posibles riesgos asociados a la geología en el barrio Los Nogales.

Tabla1. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen (Hermelin, 1985 y Salazar, 1995 en INGEOMINAS, 2007).

ORIGEN	TIPO DE UGS
Derivadas de roca In situ	Roca inalterada. Saprolito. Suelos Residuales.

Depósitos aluviales	Aluviones recientes o de lecho de río Llanuras aluviales. Abanicos, terrazas aluviales, depósitos torrenciales y fluviotorrenciales.
Depósitos lacustres y paludales	Depósitos lacustres.
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones. Flujos (de lodo, tierra y de escombros). Derrubios de pendiente.
Depósitos costeros	Deltas, Barras, Playas, etc.
Depósitos volcánicos	Tefras, flujos piroclásticos, ignimbritas y flujos de lodos volcánicos. Lahares, cenizas y coladas de Lava. Cenizas volcánicas.
Depósitos eólicos	Dunas. Loess.
Depósitos de glaciares	Morrenas y Tillitas. Fluvioglaciares.
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras. Rellenos de excavaciones. Escombreras o botaderos.

#### Unidades de Suelo

Para la clasificación de las unidades de suelo, fue indispensable tener en cuenta la nomenclatura utilizada por INGEOMINAS (2007), la cual subdivide los suelos en residuales, transportados y antrópicos, esto con relación al origen de los materiales; en el área de estudio se reconocieron 4 unidades geológicas superficiales principalmente, nombrados de la siguiente manera Suelos de Terrazas aluviales medias y bajas, estas dos primeras asociadas a la Unidad A o Depósito cuaternario indefinido (Qindef) según INGEOMINAS (2001); Suelos de cauce del río activo y finalmente Suelos de relleno antrópico, descritos a continuación:

- **Suelos Aluviales de Cauce Activo (Sal):** La deposición y transporte de estos sedimentos se generan por medio de los ríos y quebradas, conformando cauces activos, abandonados y llanuras de inundación de origen reciente (INGEOMINAS, 2007). En este caso se observa un suelo arenoso con cantos subredondeados a subangulares con esfericidad baja en los granos más grandes (de hasta 5 m de diámetro) y esfericidad media-alta en los cantos más pequeños (hasta 50 cm de diámetro), las composiciones principales son de origen granítica (95% Qtz, Plg, Msc, Fks y en menores cantidades aproximadamente 5% máficos) y gnéisica con bandeamiento muy marcado, gneises cuarzo feldespáticos y cuarzo anfibólicos; se distinguen algunos depósitos de playas del río, que son principalmente de tamaños arenosos de grano medio-fino sin consolidación (Figura 11).



Figura 11. Suelos de Cauce del río. A) Cauce del río restringido por un muro de contención.

B) Depósitos de Playa. C) Cantos de Gneis cuarzo anfibólico. D) Cauce del río. Fuente: Propia.

- **Unidad A (Qindef):** Se caracteriza por conservar una matriz soportada por material areno-limoso con tonalidades amarillenta-anaranjada, compuesta por granos de tamaño arena media (80%) y limos (20%), de consolidación intermedia y con presencia de clastos de rocas ígneo-metamórficas como gneises cuarzo-feldespático y cuarzo anfibólico, con diámetros de hasta 1 m, de granos subredondeados a redondeados y esporádicamente subangulares; algunos cantos son provenientes de origen sedimentario. La distribución de los clastos es de gravas en 80% y bloques 20%, la relación matriz-clastos es 70%-30% respectivamente. INGEOMINAS en su trabajo del 2001, plantean para la zona depósitos de flujos de escombros, los cuales son constituidos esencialmente por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander, los tamaños del material son de tipo grava y bloques; los tipos de roca son gneises y granodiorita en pequeñas proporciones anfibolitas y esquistos, en matriz areno –limosa, de tamaños de arena media a gruesa en alrededor de un 80% y material fino limo-arcilloso del 20% restante, las composiciones son cuarzo, feldespato y partículas de rocas moderadamente meteorizadas, moscovita en láminas y algunos máficos (INGEOMINAS, 2001). Por otro lado, durante las visitas de campo se encontraron rasgos similares y correlacionable al depósito de suelo del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga; sumándole la falta de límite en el borde sur de la Formación Bucaramanga, la falta de datos geocronológicos, columnas estratigráficas, sísmica de superficie y perforaciones profundas, de esta manera se trabaja en este proyecto con la “Unidad A” la cual no se asocia a ninguna unidad conocida (Figura 12 y 13).

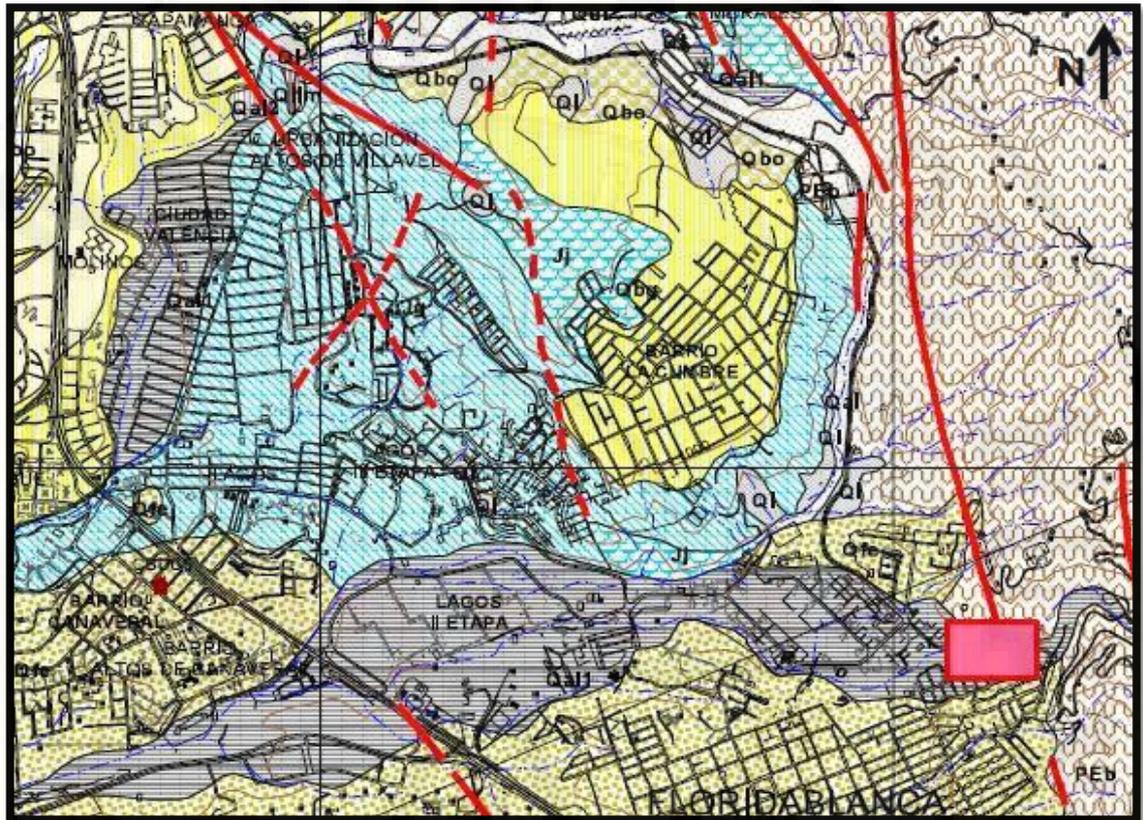


Figura 12. Zona de estudio ubicada sobre la unidad de Flujos de detritos según INGEOMINAS 2001. Tomado de INGEOMINAS 2001.



Figura 13. Suelos del cuaternario indefinido (Unidad A). Se observa la tonalidad y el grado de meteorización del suelo. Fuente: Propia.

- **Suelos de Terrazas bajas- medias ( $Sat_1$ ,  $Sat_2$ ):** Corresponden a depósitos aluviales, acumulados en forma de escalones en los

márgenes de los ríos y arroyos, con tamaño de grano del tipo arena, grava, cantos y bloques; redondeados a subredondeados y alta esfericidad; con variaciones en la composición según la litología de las zonas atravesadas por las corrientes (INGEOMINAS, 2007). EN este caso se observa un suelo areno-limoso y cantos subredondeados a subangulares con baja esfericidad, presentando diámetros de hasta 1 m, de composición granítica y gnéisica con bandeamiento muy marcado, gneises cuarzo feldespático y cuarzo-anfibólico (Figura 14).



Figura 14. Depósito de Terraza baja. Fuente: Propia.

- **Suelos antrópicos (Sla):** Conocidos como materiales heterogéneos dispuestos por el hombre, distribuidos aleatoriamente y sin ningún tratamiento o adecuación, con el objeto de cumplir con los requerimientos de los diseños de obras de ingeniería o con la intención de aprovechar áreas de cauce de drenajes (INGEOMINAS, 2007). En el área se encuentran conformados principalmente por materiales de tamaño arena, arcilla y grava; producto de residuos de

construcción, excavaciones de minería o adecuaciones de terrenos. La principal evidencia encontrada para identificar el material fue por medio de perforaciones y la superficie del relieve cambiante en las zonas intervenidas por medio de sus pendientes (Figura 15).

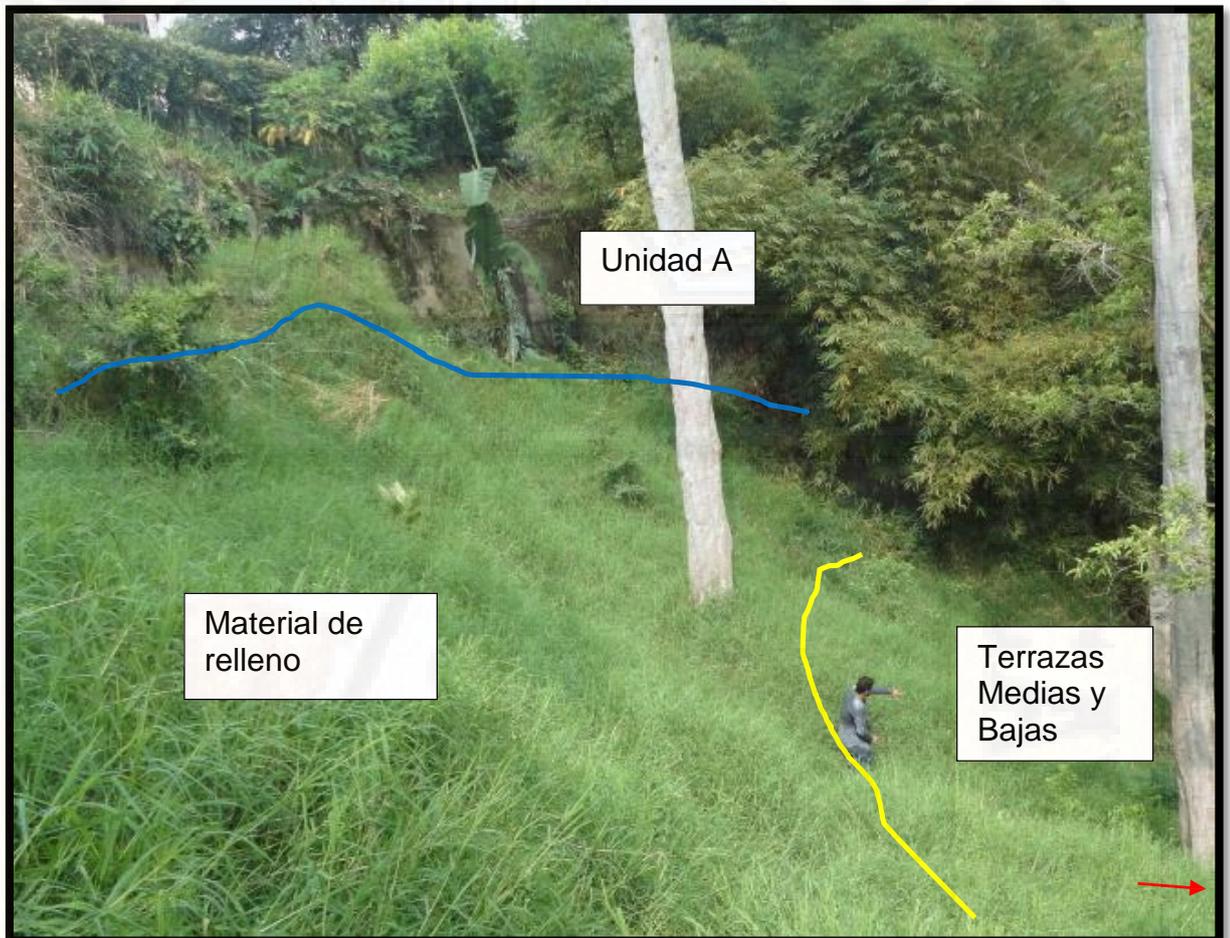


Figura 15. Suelos antrópicos presentes en la ladera principal del proyecto, asociados a materiales de escombros y residuos de construcción con hasta 3.5 m de profundidad.

Fuente: Propia.

El resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las UGS en el área del proyecto se plasma en el mapa de la geología superficial del área (Figura 16) (Ver anexo 1). Las unidades de suelo presentan un área en porcentaje de ocupación lo que nos ayuda a definir las mayores coberturas y las condiciones físico-mecánicas del área por sectores (Figura 17).

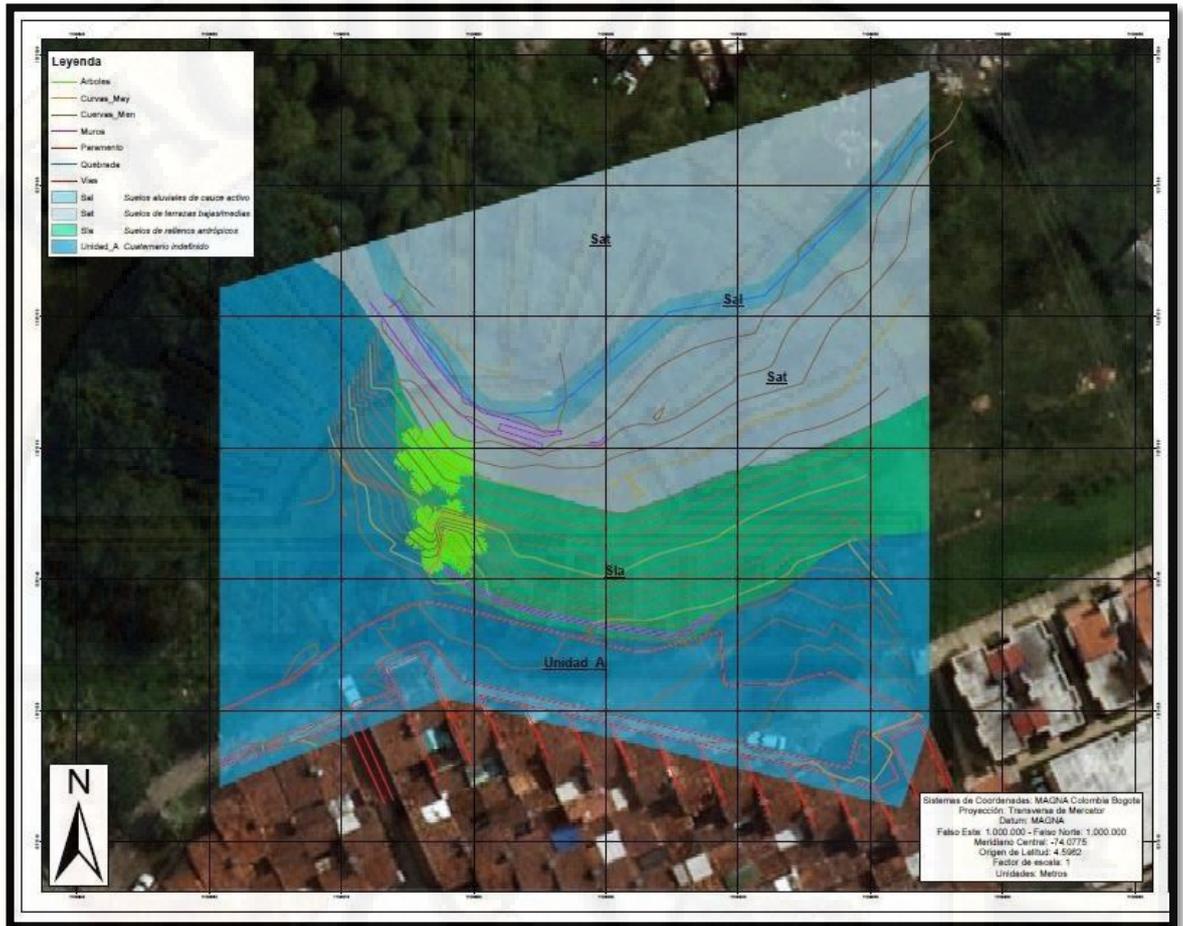


Figura 16. Mapa de las UGS escala 1:200 para el área del proyecto. Fuente: Propia.

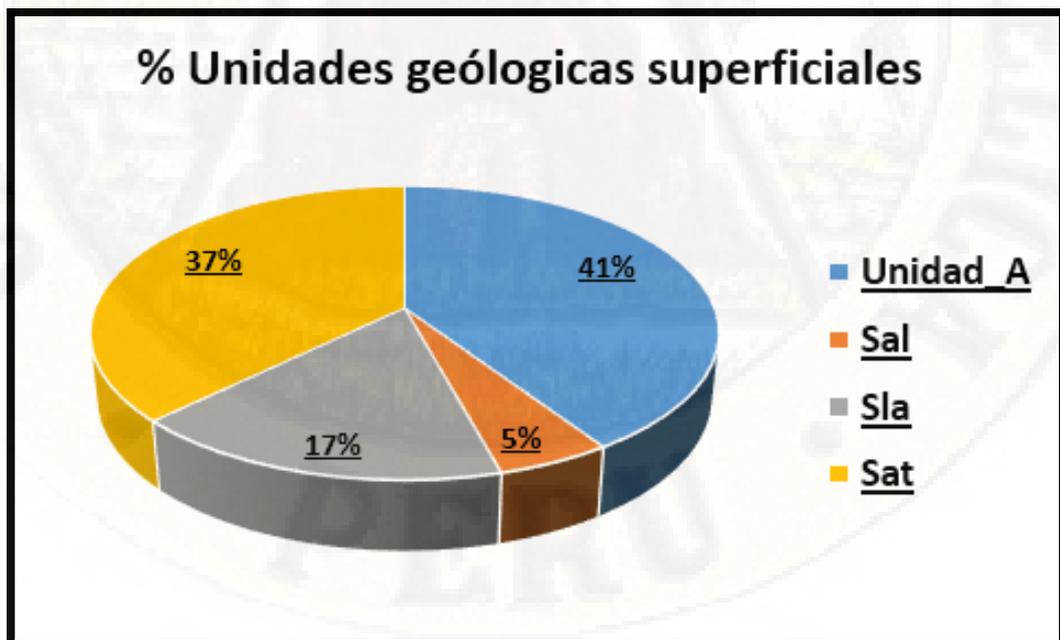


Figura 17. Porcentaje de Unidades Geológicas Superficiales en el área de estudio.

### 4.1.3 Geología Estructural

#### Marco geológico y tectónico de Colombia

El marco geológico del área latinoamericana se puede reflejar desde el segmento septentrional de Suramérica, en donde se encuentra la cadena montañosa de los Andes de Ecuador, Colombia y Venezuela; reconocido como el Bloque Nor-Andino (sus siglas en inglés NAB), el cual corresponde a un segmento geológicamente diferente de la Cordillera de Los Andes (Cediel *et al.*, 2003) considerado como un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico (Royero y Clavijo, 2001), en donde ocurre la interacción de tres placas litosféricas principales: la Placa de Nazca ubicada en el Pacífico, la Placa Caribe y la Placa Suramericana incluyendo en la última el Bloque Nor-Andino (Cediel *et al.*, 2003; Royero y Clavijo, 2001) (Figura 18).

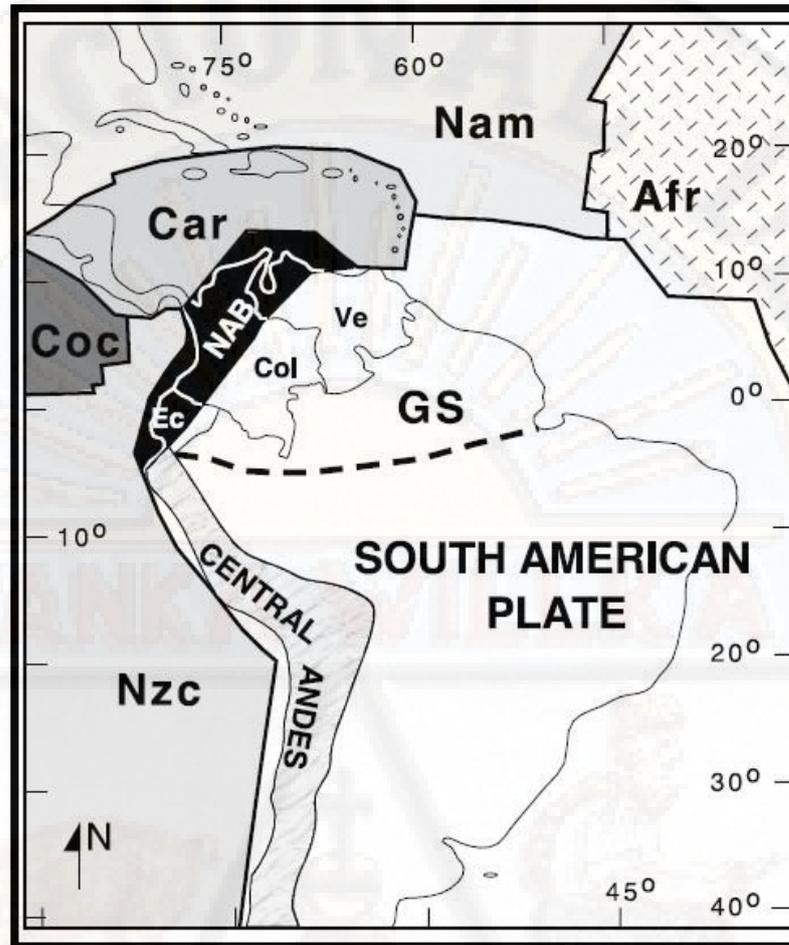


Figura 18. Bloque Nor-Andino en la esquina septentrional de Suramérica y su compleja interacción con las Placas Nazca, Caribe y suramericana. Tomado de Cediel *et al.*, 2003.

La Placa de Nazca se encuentra subduciendo al oriente bajo la Placa Suramericana a una tasa de subducción de 65-70 mm/año (Rhea *et al.*, 2010). La placa de Nazca se forma en el último episodio de fragmentación de la Placa Farallón a principios del Mioceno, cuando la Placa de Cocos se separa completamente reduciendo considerablemente el tamaño y fragmentando la Placa Farallón renombrada como Placa de Nazca (Lonsdale, 2005).

Por otro lado, la evolución de la Placa Caribe la cual se encuentra al norte del territorio colombiano ha sido controversial en las últimas décadas; se han planteado básicamente dos grupos de modelos diferentes: los modelos “del pacífico” que proponen un origen de la corteza oceánica caribe en el

Mesozoico Tardío en la región Pacífica y una deriva a su posición actual en medio de las dos américas (Pindell *et al.*, 1988); el otro modelo alternativo propone la formación de la corteza caribe al oeste de su posición actual pero en medio de las dos américas (Meschede y Frisch, 1998). La tasa de desplazamiento de la Placa Caribe con respecto a la Placa Suramericana es de aproximadamente 20 mm/año (Pérez *et al.*, 2001).

#### Marco geológico y tectónico del departamento de Santander

El departamento de Santander se encuentra conformado por los Terrenos Santander, Floresta y el Supraterreno Cretácico en el sentido de Etayo *et al.*, (1983). Sin embargo, el uso de estos términos ha dado lugar a una serie de confusiones en la aplicación e interpretación de estos, por tal razón Royero y Clavijo (2001) han optado por subdividir el departamento de Santander en tres provincias: el Macizo de Santander, la Cordillera oriental y el Valle Medio del Magdalena (Figura 19).

La Provincia del Macizo de Santander se encuentra al oriente de la Falla de Bucaramanga y esta subdividida en los bloques Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña. En términos generales, estos bloques incluyen fallas inversas y sistemas de fallamiento en pequeños bloques y la presencia de anticlinales y sinclinales con direcciones que van desde el SE-NW hasta SW-NE. La litología de la provincia corresponde a rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas; rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas; rocas sedimentarias paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas (Royero y Clavijo, 2001)

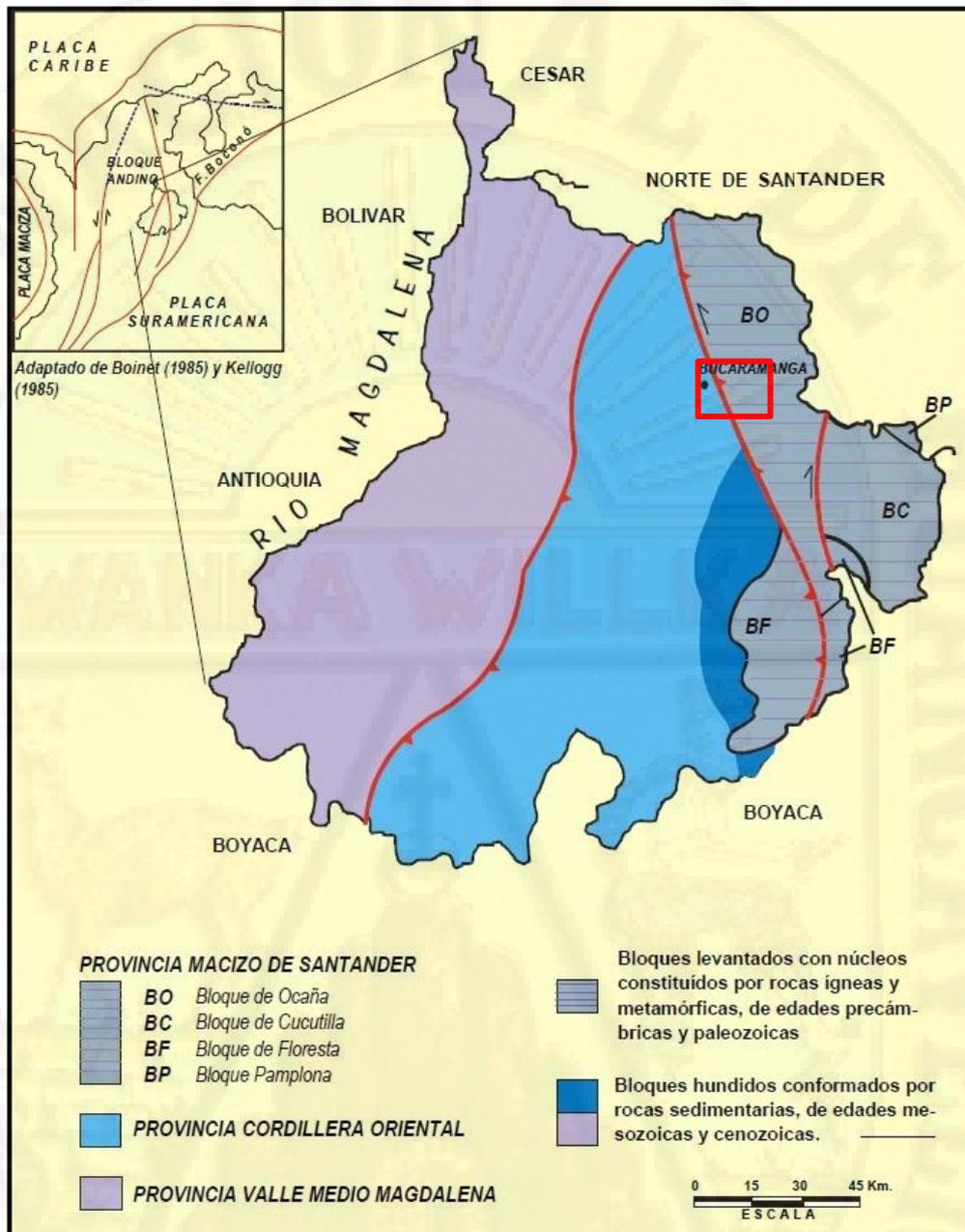


Figura 19. Esquema tectónico del departamento de Santander. En el cuadro rojo se encuentra el área de estudio. Modificado de Royero y Clavijo, 2001.

La Provincia de la Cordillera Oriental se encuentra entre la Falla de Bucaramanga y la Falla La Salina, caracterizada por la presencia de pliegues anticlinales y sinclinales amplios limitados por fallas inversas de direcciones NE a NW. Así mismo se definen unidades de rocas sedimentarias Jurásicas y Cretácicas (Royero y Clavijo, 2001). La Provincia más al occidente es la del Valle Medio del Magdalena, caracterizada

tectónicamente por un estilo estructural de plegamiento con anticlinales y sinclinales amplios y con pendientes suaves; las rocas presentes son del tipo sedimentarias mesozoicas y cenozoicas (Royero y Clavijo, 2001).

Estas provincias mencionadas abarcan estructuras principales dentro del departamento de Santander (Figura 20), dentro de las estructuras con mayor interés en el proyecto se encuentran:

- **Falla de Bucaramanga:** La estructura es interpretada como el segmento meridional considerado anteriormente como la Falla Bucaramanga – Santa Marta según París *et al.*, (2000). Esta falla corresponde a una falla de rumbo con movimiento sinistral y dirección NNW, desarrollando características geomorfológicas bastante evidentes como lomos de presión, lomo de obturación, sillars de falla, cauces desviados, lagos de falla, entre otros (Royero y Clavijo, 2001; Ward y Goldsmith, 1971). Como una cualidad destacable de la falla se puede mencionar el desplazamiento sinistral del río Suratá de 2.5 km, el cual se ha considerado como el afluente que aporla los sedimentos al Abanico Aluvial de Bucaramanga (Diederix *et al.*, 2008) (Figura 21); según Jiménez *et al.*, (2014) con base a investigaciones de paleomagnetismo del abanico la Falla de Bucaramanga tiene una tasa de desplazamiento de 3 mm/año como máximo.
- **Sistema de Fallas del Suarez:** Este complejo de estructuras dentro de la región de Santander, se incluyen las fallas del Suarez, del Río de Oro y la de Chimitá-Café Madrid (INGEOMINAS, 2009). El sistema se extiende por una longitud de 120 km desde Barbosa hasta la Falla de Bucaramanga al norte; su trazo posee una dirección N20°E y una inclinación hacia el occidente (Royero y Clavijo, 2001).

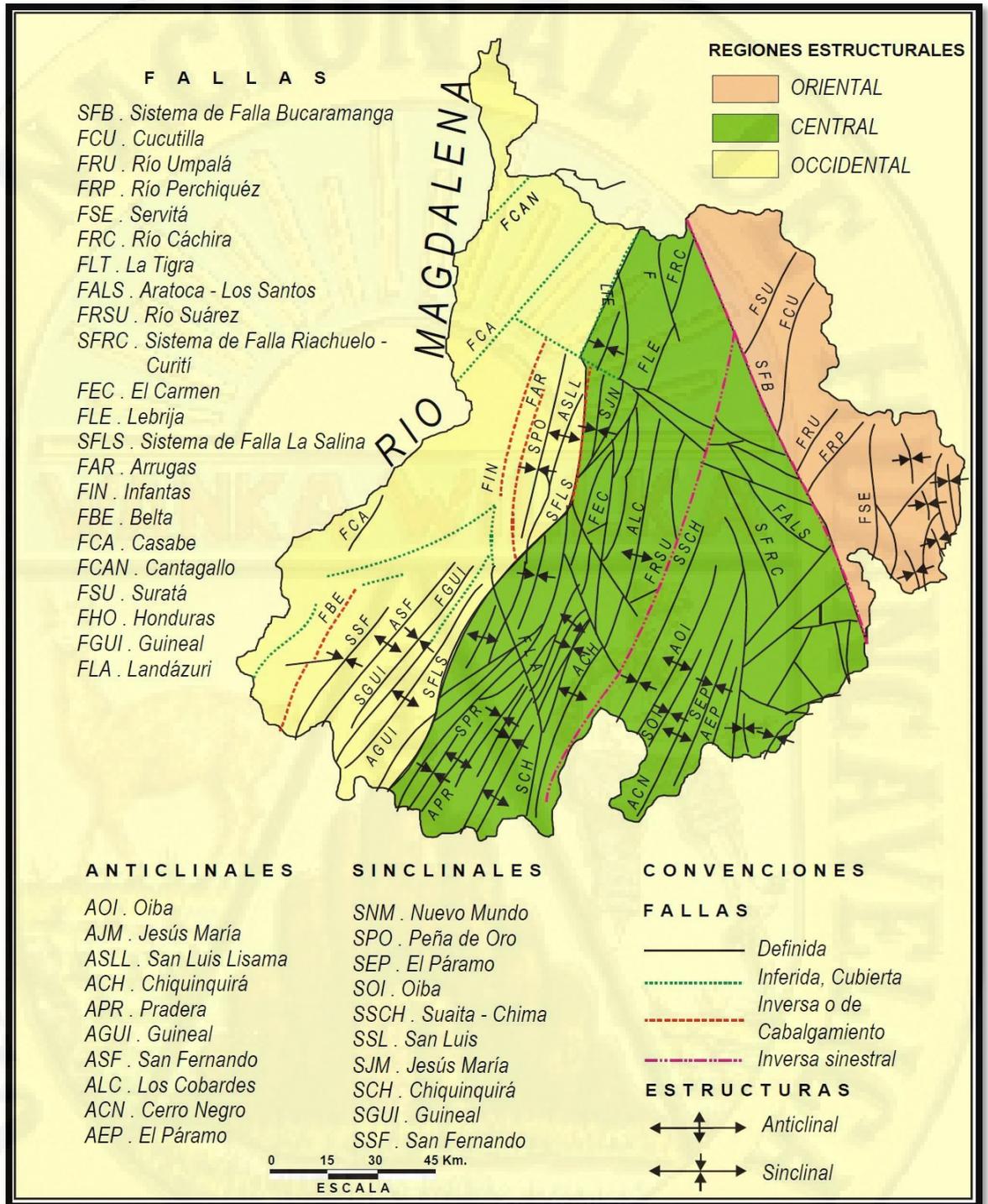


Figura 20. Esquema estructural del departamento de Santander. Tomado de Royero y Clavijo, 2001.

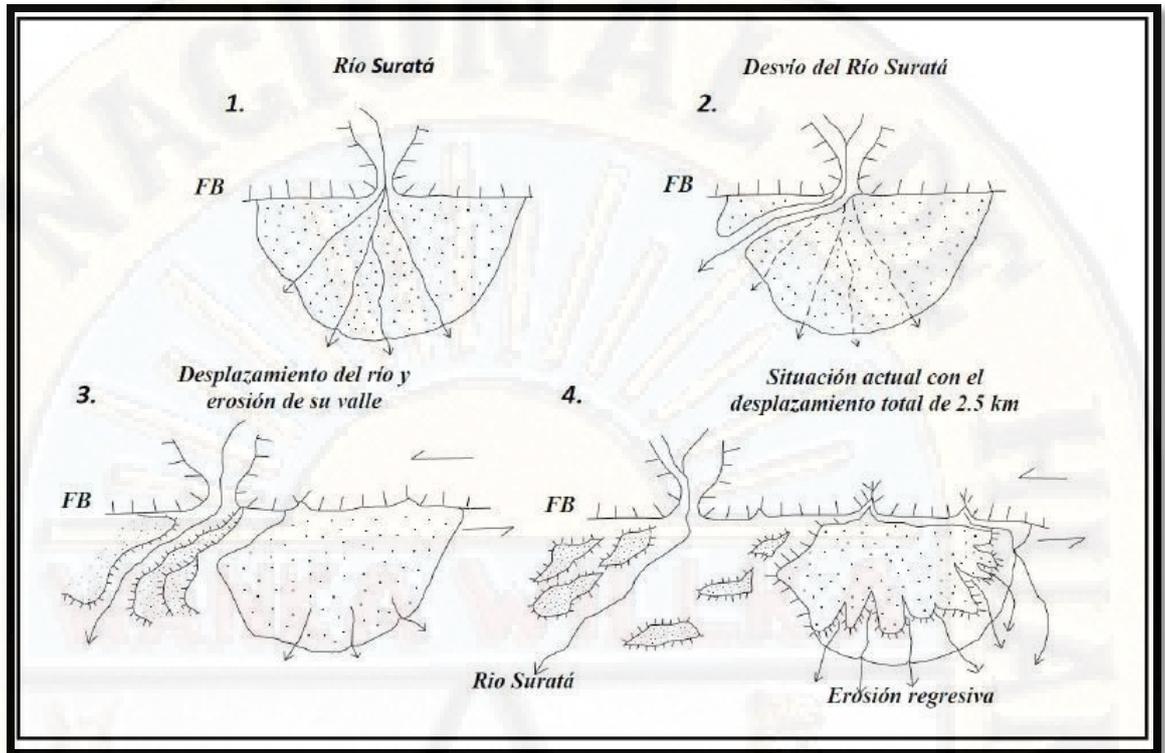


Figura 21. Desvío del Río Suratá debido a la acción de la Falla de Bucaramanga. Tomado de Diederix *et al.*, 2008.

- Nido sísmico de Bucaramanga:** Es una zona sísmica de intermedia profundidad, aproximadamente 160 kilómetros; ubicada en el departamento de Santander a  $6.8^{\circ}$  N y  $73.1^{\circ}$  W. El sector tiene una alta tasa de actividad sísmica con relación a su volumen y a la relativa tranquilidad sísmica del área circundante, la generación de sismos en el departamento se ha intentado de explicar con diversas teorías; sin embargo, ninguna ha sido capaz de explicar totalmente la naturaleza del nido, por lo que en términos generales se ha explicado por la compleja interacción de las Placas Nazca, Caribe y Suramericana (Cortes *et al.*, 2005; Taboada *et al.*, 2000; Zafiri *et al.*, 2007).

En un régimen un poco más local, para el área de estudio los fallamientos y lineamientos regionales han sido participes de la formación y estructuración del sitio a través del tiempo geológico, como también en la actualidad (Ubicación cercana al llamado Nido Sísmico de Bucaramanga y de la Falla

Bucaramanga – Santa Marta) (Figura 22).



Figura 22. Ubicación del barrio Los Nogales con respecto a las fallas regionales. Editado de Google Earth 2015.

## 4.2 Geomorfología

La geomorfología se define según Huggett (2007) como el estudio de las características físicas de la superficie terrestre, sus formas de relieve como ríos, colinas, llanuras, playas, dunas de arena, terrazas y otras innumerables geoformas; otros autores como Bloom (2004) incluyen las geoformas de origen submarino, además proponen una definición como el estudio científico a través del análisis, descripción sistemática y entendimiento de las formas de la superficie terrestre y los procesos que las forman; estas geoformas se encuentran asociadas de manera directa a factores como la climatología, hidrografía, geología, pedología, entre otros.

Para un estudio detallado se debe considerar como un insumo principal para la diferenciación y homogenización de las unidades con características similares en cuanto a comportamiento geomecánico, el mapa de categorías geomorfológicas; dentro del proyecto se define a partir de la escala de trabajo un mapa de elementos geomorfológicos, con un objetivo fundamental

de identificar y caracterizar las geoformas desde las tres ramas de la geomorfología: morfogénesis, morfodinámica y morfometría (SGC,2015).

Las geoformas que se observan en el área del barrio Los Nogales serán descritas muy detalladamente a continuación:

#### 4.2.1 Morfogénesis

La morfogénesis como rama de la geomorfología corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma del paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exógenos (agua, viento y hielo), actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades; que varían durante el tiempo geológico, modelando el terreno (SGC, 2013) (Tabla 2).

Tabla 2. Origen de las principales geoformas (Verstappen & Van Zuidam, 1975)

ORIGEN PRINCIPAL	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
FLUVIAL	Erosión fluvial y sedimentación.	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosionales.
LACUSTRE	Erosión lagunar y sedimentación.	Geoformas producto de niveles de agua alta (terrazas) y/o fondos de lagos (Evaporitas, playa)
MARINO	Erosión marina y sedimentación.	Geoformas de ambientes de alta energía (grano grueso), baja energía
VOLCÁNICO	Actividad volcánica.	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos.
DENUDACIONAL	Meteorización, desgaste de masa, erosión linear.	Geoformas asociadas a desgastes, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear y asociadas a procesos denudativos específicos (desgaste de masas).

ESTRUCTURAL	Fallamiento	Geoformas asociadas con las capas de rocas estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamiento y levantamientos.
ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL		Geoformas que involucran tanto procesos denudacionales como estructurales
KARSTICO	Solución y re-deposición	Geoformas positivas (colinas), negativas (depresiones) y estructurales.
EÓLICO	Erosión por el viento y sedimentación	Geoformas de acumulación (activas y no activas) y de deflación
GLACIAL	Erosión y sedimentación	Geoformas erosionales dominantes de glaciación continentales, de montañas y de acumulación (morrenas, hielo, y lomos)
ANTROPOGÉNICO		Formas del relieve producidas por modificaciones causadas por la intervención del hombre.

Dentro del área de estudio los ambientes morfogenéticos sobresalientes son fluvial, denudacional y antropogénico.

#### **4.2.2 Morfodinámica**

La morfodinámica abarca todo lo referente con procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro; refiriéndose a la dinámica exógena, de esta manera está directamente relacionada con la actividad de los agentes como el viento, agua, hielo y acción de la gravedad terrestre, que se encuentran modificando las geoformas y todo el relieve preexistente (Carvajal, 2011).

Los procesos se encuentran asociados principalmente al cambio físico y químico (meteorización, erosión y deposición), lo cual genera modificaciones en los materiales y las formas superficiales de la tierra, definiendo un

equilibrio dinámico de las geformas (Gradación = Degradación y Agradación de los materiales) según Thornbury (1960) en Carvajal (2011). Estos eventos naturales que son específicos de cada ambiente morfogenético afectan y modelan la superficie terrestre con diferentes grados de intensidad, grabándole al terreno características propias de cada ambiente (Carvajal, 2011).

Con esto, se llega a la elaboración de mapas que identifican y localizan los diferentes fenómenos de remoción en masa (antiguos movimientos y recientes) y de erosión, que han ocurrido y ocurren en diferentes sectores del área de estudio (CORPES e INGEOMINAS, 1998).

Los procesos morfodinámicos corresponden a procesos asociados al ambiente denudativo, abarcando todo lo relacionado con fenómenos de remoción en masa y los diferentes procesos erosivos; los fenómenos erosivos se conectan con los procesos de reparación, transporte y acumulación de las partículas, producto del debilitamiento generado por la meteorización y la posterior sedimentación, por la acción de los agentes erosivos como el agua, el viento, el hielo y los organismos vivos; los cuales se constituyen en medios de transporte (CORPES e INGEOMINAS, 1998). Para su clasificación se utiliza la nomenclatura del Manual de Protección Geotécnica y Ambiental (1991) y la planteada por Vargas (1989) en CORPES e INGEOMINAS (1998) (Figura 23, Figura 24 y Figura 25).

TIPO	MODALIDAD	DESCRIPCION
1 Pluvial		El impacto y tamaño de las gotas de lluvia producen desprendimiento de las partículas superficiales del suelo
2 Esguerrimiento superficial del agua	Esguerrimiento difuso Erosión Laminar Erosión en Surcos Erosión en cárcavas Tierras malas Terracetos o patas de vaca	Las partículas pequeñas son arrastradas en tramos cortos formándose surquillos temporales. Llamada erosión "normal" Arrastre casi imperceptible de capas delgadas por mantos de agua o redes de surquillos, formando pequeñas entalladuras Hendido de la superficie del terreno al concentrarse el esguerrimiento en surcos más o menos paralelos independientes. Los canales o zanjas pueden tener profundidades menores de 50 cm. Cuando hay concentración de surcos formando zonas o canales con profundidades mayores de 50 cm. Corresponden a zonas de erosión laminar y/o hídrica más concentrada Corresponden a formas irregulares o arrugas del suelo paralelos entre si y perpendiculares al sentido de la pendiente, producto de esguerrimiento de su parte más superficial por sobre pastoreo, ocurre generalmente en suelos con poca cobertura vegetal.
1 Flujo sub-superficial de agua	1. Difuso 2. Concentración o en sofución	Arrastre de partículas finas bajo la capa vegetal, casi imperceptible Arrastre de partículas finas por debajo de la superficie del suelo, causado por las aguas de infiltración. Se producen hundimientos locales con ruptura de la capa inferior
2 Acción de aguas corrientes	1. Socavación lateral 2. Profundización del cauce	Las aguas corrientes, de ríos, causan arrastre de materiales de sus riberas y su fondo para luego depositarlos en otros sitios

Figura 23. Clasificación de fenómenos de erosión (Manual de Protección Geotécnica y Ambiental (1991) en CORPES e INGEOMINAS, 1998).

TIPOS		CARACTERÍSTICAS
PLUVIAL (ESCORRENTIA)	LAMINAR	No existen canales o zanjas, se forman pequeñas entalladuras que producen arrastre de capas o láminas delgadas de suelo, de forma homogénea sobre la superficie del terreno o acción del agua de escorrentia
	HIDRICA DIFUSA	EN SURCOS Forma canales o zanjas paralelas menores de 50 cm. de profundidad.
	CARCAVAS	Forman zanjas o canales con una profundidad mayor de 50 cm.
3 CONCENTRADA	TIERRAS MALAS	Corresponden a zonas de erosión laminar y/o hídrica muy concentrada. Se pueden ligar fenómenos de remoción en masa.
FLUVIAL	ACCION DE LAS AGUAS CORRIENTES	SOCAVACION LATERAL Y DE FONDO Corresponden a la acción de las aguas corrientes, causando desprendimiento y arrastre de los materiales de sus riberas y sus fondos. Este proceso puede graduar y degenerar a movimientos de mayor categoría y magnitud.

Figura 24. Tipos y formas de erosión hídrica (Vargas, 1989; en CORPES e INGEOMINAS, 1998).

Para el área de estudio se identifican procesos de erosión asociados principalmente a la acción de aguas de corrientes con suave a nula socavación lateral y profundización del cauce hacia el margen izquierdo de la Quebrada, en donde se localiza el talud a intervenir. A diferencia de la

escorrentía superficial y la afectación pluvial es baja a nula en el área de estudio debido a la cobertura del suelo del tipo arbóreo, pastos naturales y rastrojos bajos principalmente. A partir de esto, la erosión se cataloga dentro de un grado 1 (<10% de área afectada), en donde no se presenta erosión o es muy baja (Figura 26).

EROSIÓN LAMINAR		
GRADOS DE EROSIÓN HÍDRICA	CARACTERÍSTICAS	DISTRIBUCIÓN DE LA VEGETACIÓN
1 (% Area afectada) Sin erosión o muy leve (< 10%)	No se evidencia erosión, suelos con buena cubierta vegetal de pastos y arbustos; bien desarrollado el horizonte A. La zona erosionada cubre < 10%.	Sectores con bosque primario y secundario poco intervenido y pastos bien desarrollados
2 Baja o ligera (10-25%)	Se observan parches sin vegetación sobre el terreno; el horizonte orgánico de los suelos se ha perdido en éstos puntos. El área agrupada bajo esta categoría cubre entre el 10 y 25% de esta.  Horizonte A parcialmente erosionado.	Sectores con bosque secundario, pastos bien desarrollados y cultivos transitorios
3 Moderada (25-50%)	La vegetación es escasa y arbustiva. Las zonas erosionadas cubren entre 25 y 50% del área, en sectores aflora la roca infrayacente.  Horizonte A es muy delgado; existe la presencia de surcos, cárcavas, y caídas de roca y detritos.	Arbustos escasos, pastos poco desarrollados y cultivos transitorios
4 Alta o severa (50-75%)	Vegetación muy escasa y principalmente arbustiva (rastrojos); el área erosionada ocupa entre 50 y 75% del terreno. No existe Horizonte A. Parte del horizonte subyacente esta erodado. La presencia de surcos, cárcavas, caídas de rocas y flujos pueden ser considerable	Vegetación muy escasa arbustos y pastos mal desarrollados; los cultivos transitorios
5 Muy severa (> 75%)	No existe vegetación o es muy escasa. El área erosionada es más profunda desapareciendo gran parte de los suelos, los fragmentos superficiales y afloramientos rocosos ocupan más del 75% del área cartografiada.  En general esta relacionada con tierras malas, en donde se presentan concentradas todas las formas de erosión de movimientos en masa asociadas con estas.	En general sin vegetación

Figura 25. Caracterización y clasificación de las unidades de intensidad de erosión (Van Zuidam, 1985 y Vargas, 1989; en CORPES e INGEOMINAS, 1998).



Figura 26. Cobertura total con pastos naturales, árboles y rastrojos bajos; evitando así la creación de procesos de erosión laminar y/o de escorrentía; a su vez los procesos de erosión por socavación en la quebrada o profundización del cauce son bastante bajos.

#### **4.2.3 Morfometría**

Es la tercera rama de la geomorfología y no la menos importante, conocida como la representación de la descripción cuantitativa de características del terreno como la longitud, inclinación y altura de las laderas. En este estudio se tendrán en cuenta solamente la variable de pendiente, definida como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la línea horizontal imaginaria; el valor es expresado en grados de  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  o en porcentaje, relacionado con los movimientos en masa de una manera directamente proporcional (a medida que aumenta el grado de pendiente, es mayor la susceptibilidad a los movimientos en masa) (SGC, 2013).

La creación del mapa de morfometría del área de estudio se desarrolla a partir de una interpolación generada por una red irregular de triángulos (TIN) con los valores dados por el mapa de topografía facilitado como insumo inicial del proyecto. Posteriormente, a partir del TIN, se genera el mapa de

pendientes (Figura 27), en el cual las divisiones se dieron según SGC (2013), mostrando las características porcentuales y la distribución de los diferentes rangos de pendientes en el área de trabajo (Figura 28).

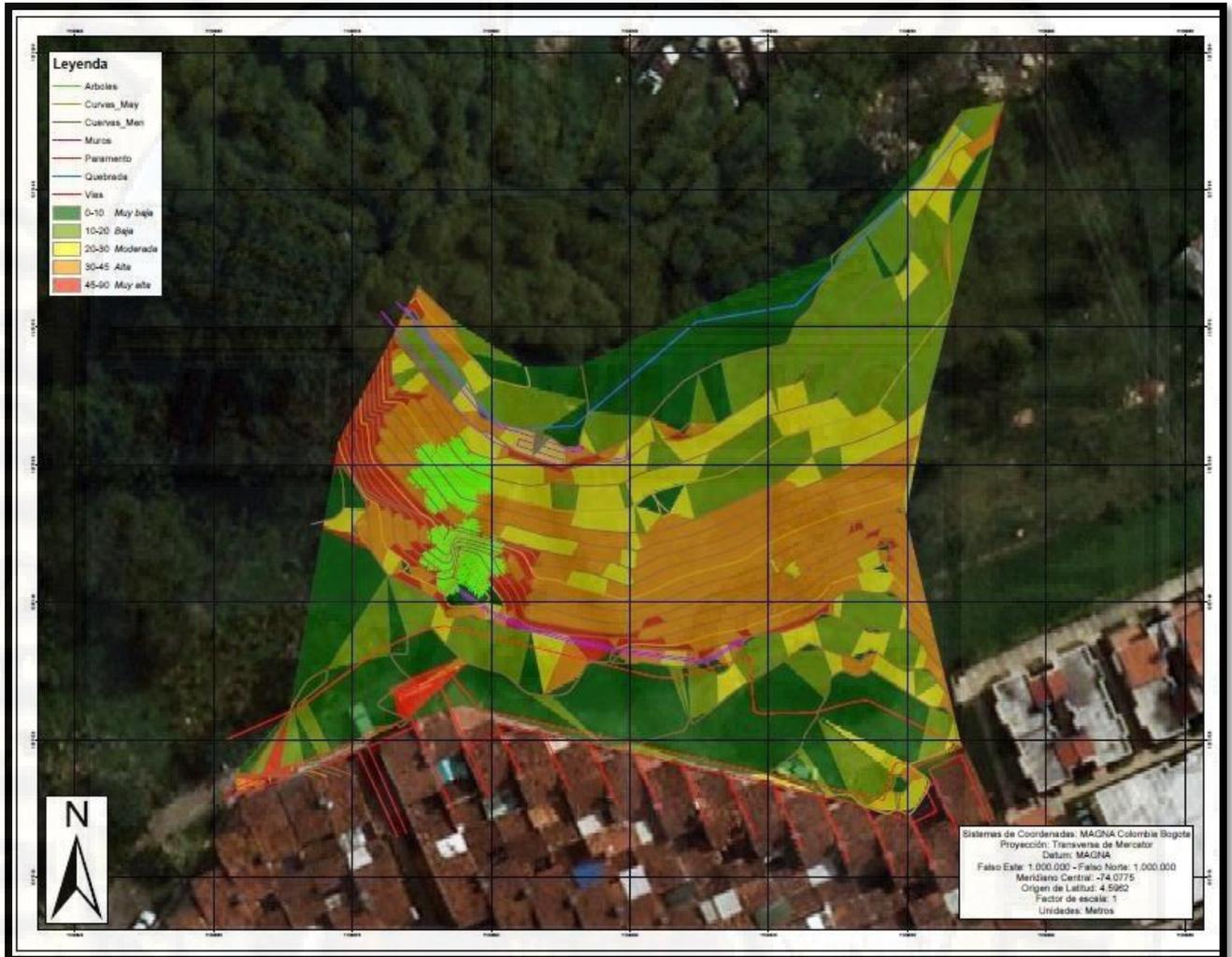


Figura 27. Mapa morfométrico del área de estudio.

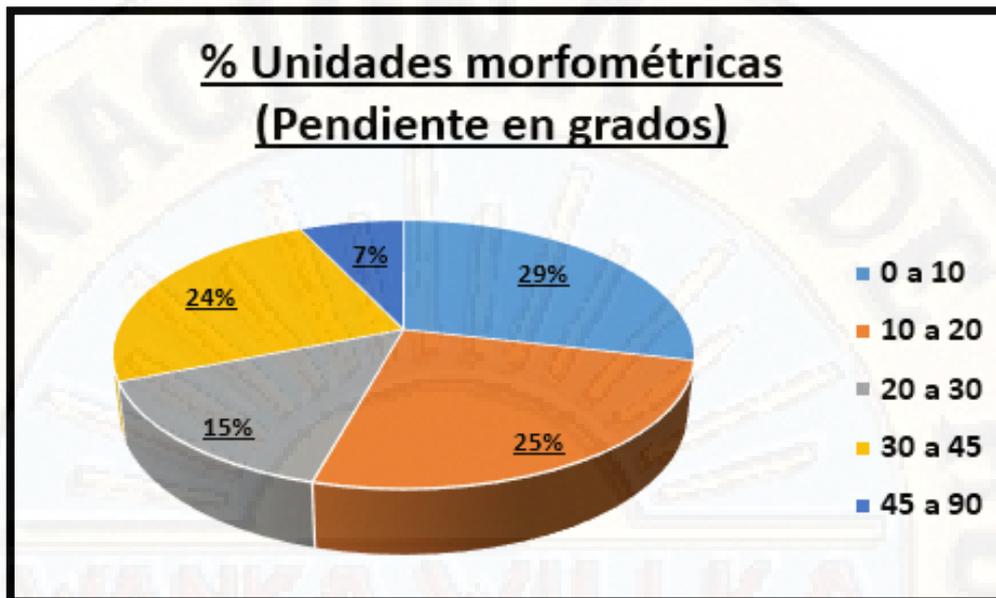


Figura 28. Porcentaje de unidades morfométricas presentes en el área de estudio. Se destaca que el 29% corresponde al rango entre 0 a 10° y el 25% a zonas entre 10-20° (ocupando más de la mitad del área a intervenir). Fuente: Propia.

#### **4.2.4 Elementos Geomorfológicos**

Durante la realización del proyecto se utilizó la metodología y nomenclatura que el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) ha utilizado en trabajos anteriores y otras entidades del estado han desarrollado como el de INGEOMINAS (2007); el objetivo de continuar utilizando esta guía es evitar confusiones con el manejo de nuevos términos durante el desarrollo y la presentación de los resultados. Además, los trabajos guía se encuentran basados en los principales orígenes geomorfológicos según el Sistema ITC de Holanda (Verstappen & Van Zuidam, 1975; Verstappen, 1983; Van Zuidam, 1986) (Tabla 2).

El trabajo logra destacar que, a partir de la relación de la morfometría, la morfogenética y la morfodinámica; para la realización de la cartografía geomorfológica, se tiene en cuenta la jerarquización de unidades según Carvajal (2011), definido como “elementos geomorfológicos”, siendo estas unidades geomorfológicas las más pequeñas y volviéndose esenciales para la escala de trabajo utilizada en el proyecto. (INGEOMINAS, 2007)

Las geoformas que se observan en el área del barrio Los Nogales se describirán tomando como referencia los ambientes morfogenéticos de formación de cada unidad así:

#### Ambiente Fluvial

Las geoformas son creadas por acción directa de los cauces o corrientes de agua, que han actuado o están actuando sobre la superficie (suelo o material rocoso). Para el proyecto se logran identificar 2 unidades geomorfológicas dentro de este ambiente.

- **Cauce o lecho actual del río (F1):** Son áreas en las cuales se encuentra actuando una corriente de agua, y corresponden a las zonas más bajas de una microcuenca. En el área del proyecto se encuentra una quebrada de aproximadamente 4 m de ancho, con muros de contención a ambos lados en diferentes secciones del cauce; los muros se encuentran disminuyendo la sección hidráulica, focalizada a lo largo de toda el área, hacia la parte baja del barrio Los Nogales (Figura 29).



Figura 29. Geomorfología de cauce actual del río. A) Ubicación y tramo general de la quebrada Clausen. B) Depósitos de arenas de playa. C) y D) Depósitos de diferentes cantos de roca. Fuente: Propia.

- Nivel de terraza baja (F3):** Los sistemas de aterrazamiento presentan gran complejidad morfogénica, su evolución corresponde a unas secuencias de estabilización – cambios sustanciales (saltos con categoría de rupturas catastróficas), difícilmente esquematizables. La formación de cada terraza individual (erosiva, aluvial o mixta), en principio se explica mediante una secuencia sencilla con dos etapas básicas; durante la primera hay un ensanchamiento lateral del cauce (sea por excavación o excavación y aluvionamiento en conjunto) elaborando una llanura (erosiva o aluvial), en la siguiente etapa el río concentra su acción erosiva vertical y sobre-excava un nuevo cauce, dejando colgada la

llanura primitiva (Pedraza, 1996).

De esta manera, se puede ver la geoforma caracterizada por su morfología plana ligeramente inclinada y con una pendiente muy suave; encontrándose adyacente a los cauces de los ríos y delimitadas por un talud o un escarpe. En el área de Los Nogales se puede definir la geoforma en los lugares adyacentes al cauce activo del río (Figura 30).



Figura 30. Unidad geomorfológica de terraza baja de ambiente fluvial. Fuente: Propia.

#### Ambiente Denudacional

En el ambiente denudativo los factores exógenos asociados directamente como el agua y el viento, lo que conlleva a procesos erosivos y de posterior deposición por medio de aguas lluvias, escorrentías y ríos. Dentro del área del barrio Los Nogales se reconoce cuatro diferentes geoformas producto de esta combinación de procesos.

- **Ladera moderada (D11):** La unidad corresponde a una superficie natural del terreno producida por procesos denudacionales caracterizada por presentarse en forma de ladera ondulada con inclinaciones entre 10-40°, generalmente con cobertura vegetal buena; en el barrio Los Nogales se encuentra haciendo parte del Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga (Figura 31).



Figura 31. Ladera moderada de origen denudacional. Fuente: Propia.

- **Lomo ancho (D4):** Los lomos se sitúan en divisorias de aguas con terminaciones en forma de crestas semi-redondeadas, aplanadas e incluso áreas llanas; se puede identificar esta geoforma junto al muro de contención que bordea el cauce de la quebrada Clausen encima de la socavación creada por el río en la superficie del terreno (Figura 32).



Figura 32. Geoforma de lomo ancho. Fuente: Propia.

- **Ladera muy inclinada (D10):** Superficie natural del terreno con pendientes muy empinadas y marcadas, producto de procesos denudacionales, las inclinaciones poseen intervalos de 40-70°; la vegetación dentro de estas geoformas en algunos casos es escasa. En la zona de estudio se observa la geoforma en las laderas al costado del lomo ancho cerca al cauce de la quebrada y la ladera, sobre la cual se encuentra el muro de contención sobre la calle 4<sup>a</sup> entre carreras 13 y 14 de Los Nogales (Figura 33).



Figura 33. Ladera muy inclinada originada por procesos denudacionales. Fuente: Propia.

- **Escarpe de corona principal de Movimiento en Masa (D14):** En la generación de fenómenos de remoción en masa se puede identificar una superficie casi vertical desarrollada en la periferia del deslizamiento, causada por el desplazamiento de material hacia afuera y debajo de la ladera; en estas áreas es normal la generación de grietas paralelas o semi-paralelas conocidas como grietas de tensión o tracción (INGEOMINAS, 2007). En el proyecto se puede delimitar un área con estas características de afectación cerca del muro principal con presencia de subsidencia y desplazamiento del material (Figura 34).



Figura 34. Escarpe de coronación principal del Movimiento en masa. Este es el foco principal de estudio, en donde el muro de contención presente se encuentra desplazado en la vertical (hundimiento) y a su vez fracturado. Fuente: Propia.

### Ambiente Antropogénico

El ambiente antropogénico es considerado muy reciente y modifica el terreno por medio de la intervención de la mano del hombre sobre las formas naturales del terreno, la intervención del hombre genera cambios en todo el ecosistema perimetral. En este proyecto se logró identificar únicamente una geoforma del ambiente antropogénico.

- Cimas explanadas (A1): La unidad es considerada como una superficie resultante de explanaciones realizadas mecánicamente con fines de infraestructura o de construcción de viviendas, en el barrio Los Nogales se puede observar que se realizaron estas obras junto a rellenos con fines urbanísticos (Figura 35).

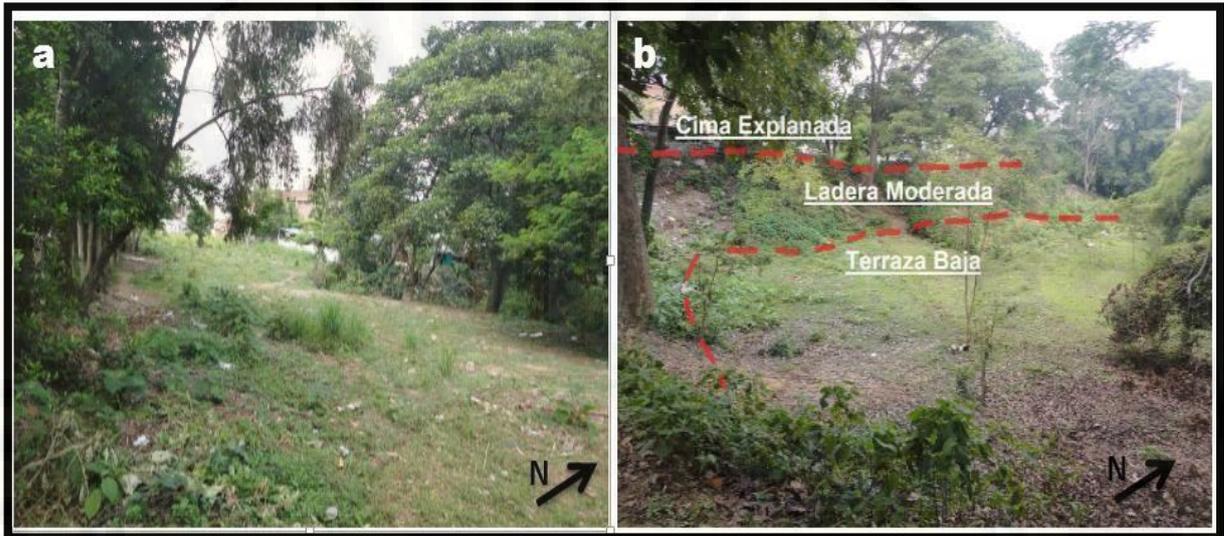


Figura 35. Geoforma de cimas explanadas de origen antropogénico. Fuente: Propia.

El resultado de la correcta identificación, caracterización y levantamiento de las unidades geomorfológicas superficiales en el área de estudio es fundamental para la creación del mapa geomorfológico del proyecto (Figura 36); luego de la digitación y delimitación del área, es sencillo calcular los porcentajes de cada unidad geomorfológica o geoforma presente (Figura 37).

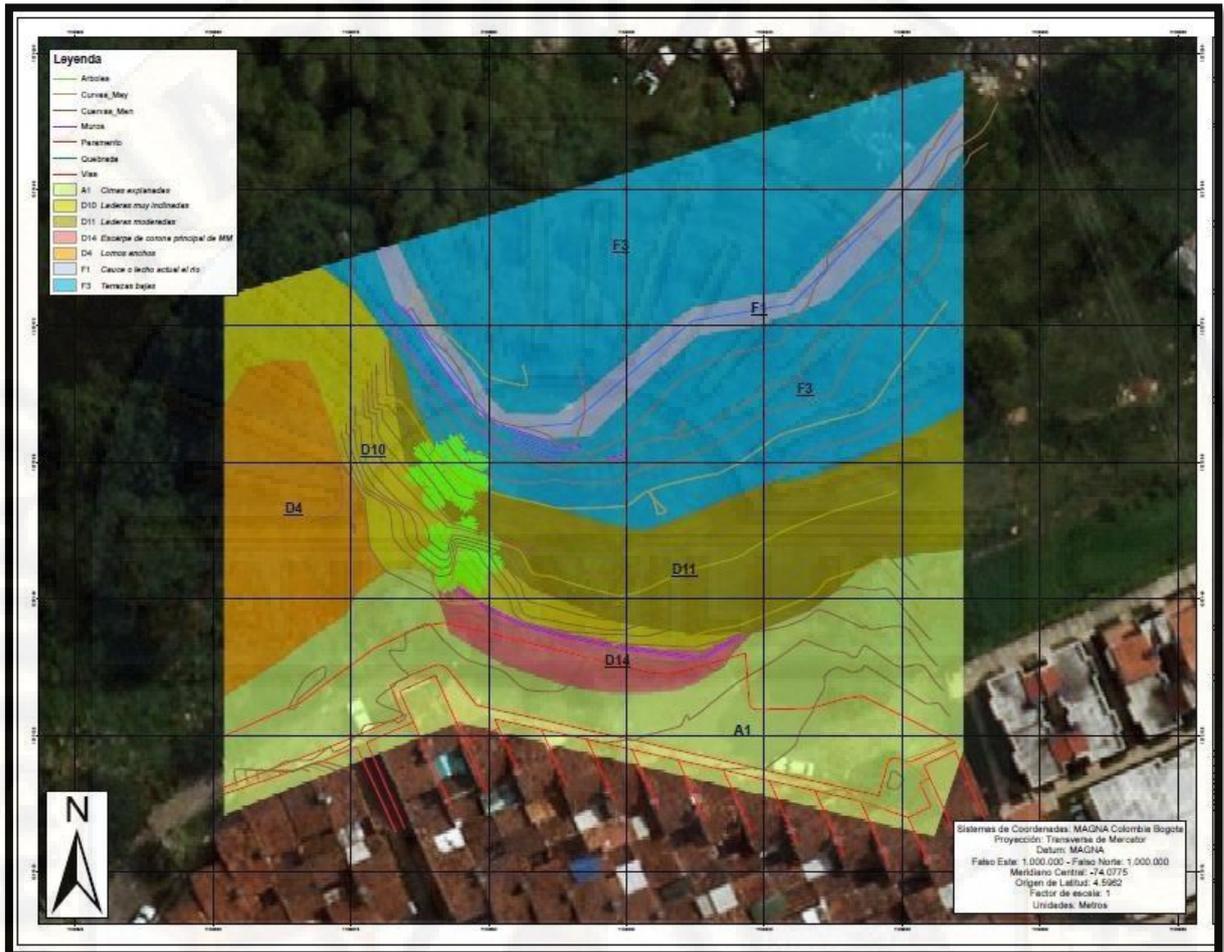


Figura 36. Mapa geomorfológico del proyecto. Fuente: Propia.

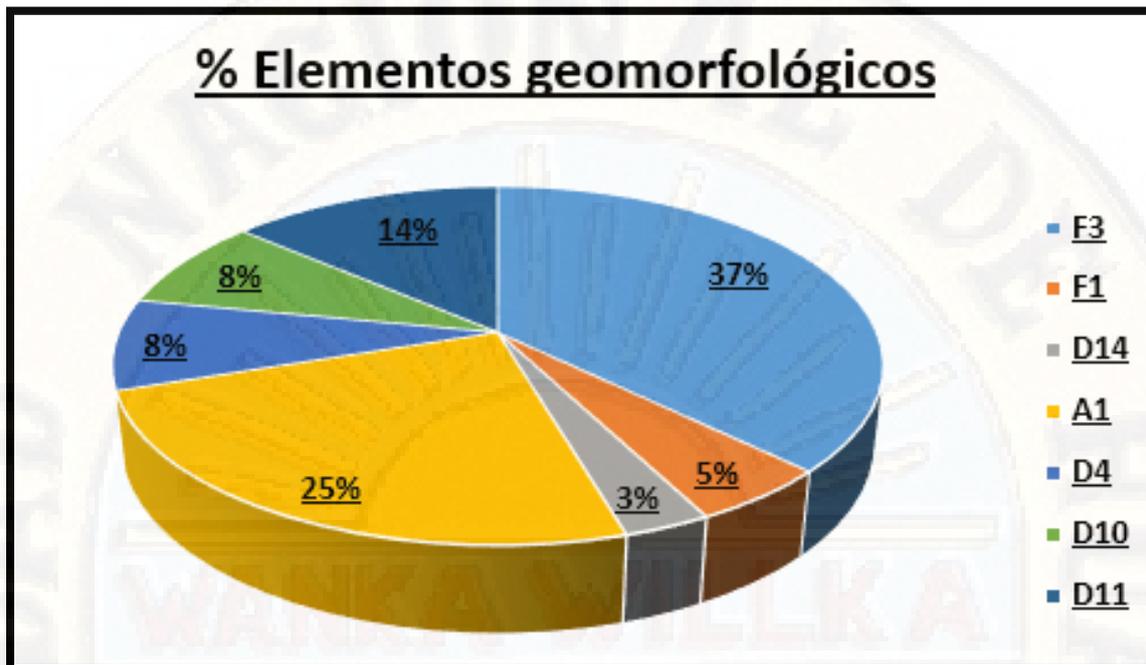


Figura 37. Porcentaje de unidades de elementos geomorfológicos para el área de estudio. Se destaca que la geoforma de mayor porcentaje (37%) corresponde a Terrazas bajas (F3), como segunda geoforma se encuentra las cimas explanadas con un 25% de cobertura del área total. Fuente: Propia.

### 4.3 Cobertura del Suelo

La identificación y análisis de los usos del suelo es indispensable para el estudio puntual de los procesos de afectación por fenómenos de remoción en masa, basándose en la implicación de la utilidad o servicio que presta un tipo de cobertura al ser humano, es decir, las funciones económicas o actividades humanas dentro de una porción específica de la tierra (Janssen, 2000 en SIAC, 2014).

Dentro del área del proyecto de Los nogales se delimitaron 12 unidades del suelo diferentes, dentro de las cuales se encuentran unidades puntuales, consociaciones (unidades conformadas por una o más clases, donde se puede observar la clase dominante ocupando el 70% o más del área considerada; estas son separadas por “/”) y asociaciones (unidades con dos o más clases, donde ninguna ocupa o alcanza el 70% del área, separadas por un “-“). Para estas dos últimas categorías se especifica que el primer

nombre posee un mayor valor y área con respecto a su acompañante. Las unidades se describen a continuación:

- **Cauce (Ri):** Área sobre la cual el flujo de agua y sedimentos son los encargados de transportar el material, en el proyecto se ve representado en la quebrada Clausen, la unidad se complementa con las descripciones planteadas para las unidades geológicas superficiales y las unidades de elementos geomorfológicos.
- **Construcciones urbanas (Cu):** Son edificaciones construidas por el hombre para su propio servicio, ubicadas en el perímetro urbano, las categorías principales son: residencial, educativa, salud, deportiva, institucional, vial, de transporte, entre otras (Figura 38).



Figura 38. Construcciones urbanas en el sector Los Nogales. Fuente Propia.

- **Árboles (Ar):** Se consideran como árboles aislados que se encuentran dentro del casco urbano o a lo largo de las carreteras, formando pequeños grupos similares a los encontrados en bosques secundarios o en plantaciones altas. En el área del proyecto se

presentan delimitando las áreas de construcciones urbanas (Figura 39).



Figura 39. Grupo de árboles, ubicados cerca de las construcciones urbanas. Fuente: Propia.

- **Rastrojos bajos (Rb):** Considerada con este nombre debido a la aparición de especies herbáceas y arbustivas con alturas de 1 a 3 metros. Se identifican en el área del proyecto como asociaciones y consociaciones (Figura 40).

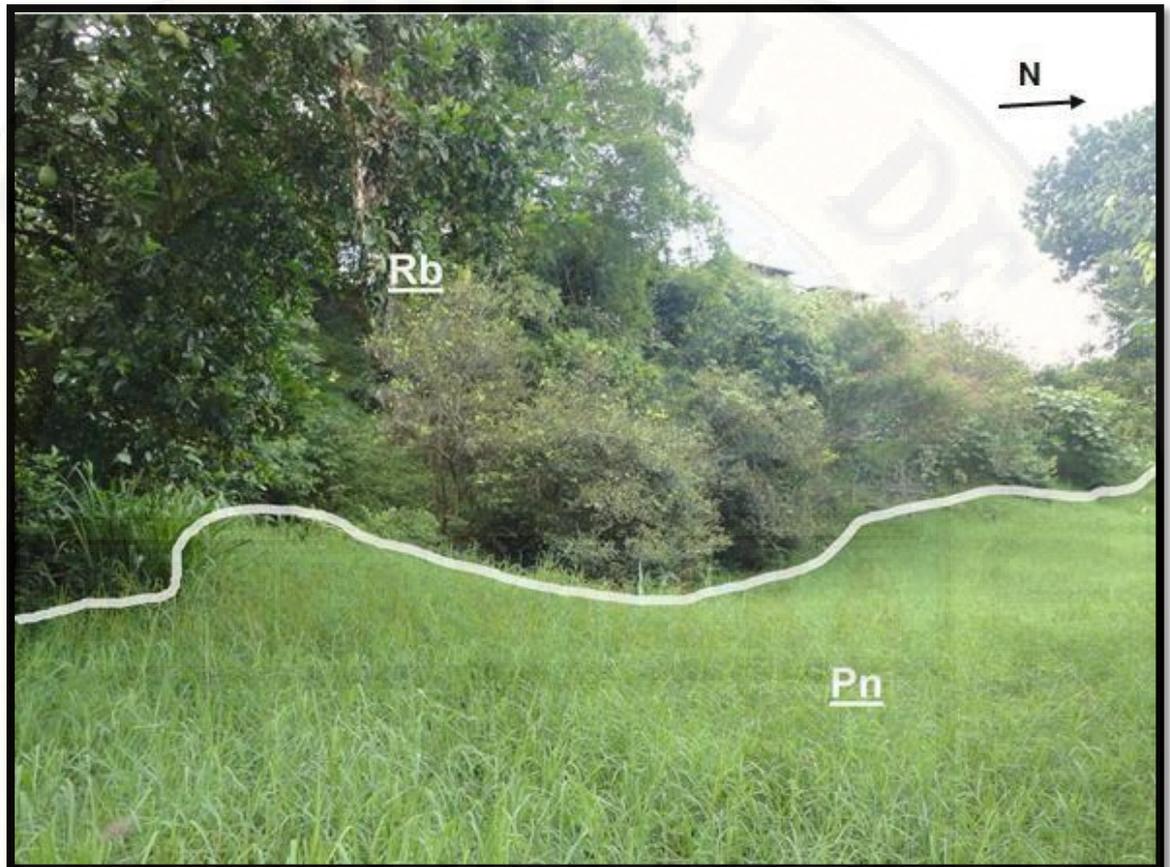


Figura 40. Contacto entre dos unidades de uso de suelo, Rastrojos bajos y Pastos naturales. Fuente: Propia.

- **Pastos naturales (Pn):** Cobertura de pastos sin manejo del hombre, el cual se puede encontrar junto con pequeños cultivos y algunos árboles frutales o no; debido a la protección media que genera al suelo contra la erosión su importancia es considerable y constituyen un nicho de hábitat para la alimentación de la fauna (INGEOMINAS, 2009) (Figura 40).
- **Cultivos (Ct):** Definida como pequeñas porciones de tierra dedicadas a promover el ciclo vegetativo de algunas especies y la obtención de frutos alimenticios tales como papaya, plátano y limón. En el área de estudio por encima de la ladera y cerca al cauce de la quebrada Clausen se encuentran principalmente en asociaciones con rastrojos bajos (Rb-Pn) (Figura 41).



Figura 41. Usos del suelo de la categoría Cultivos (Ct). Fuente: Propia.

- **Bambú (Bu):** Es una especie de guadua encontrada cerca al cauce de la quebrada Clausen, así mismo en algunas zonas con suelos desnudos o descubiertos y en pastos de pequeñas alturas (Figura 42).
- **Suelos desnudos o descubiertos (Sd):** Áreas sin cobertura vegetal, las cuales han sufrido procesos erosivos por causas naturales o antrópicas (algunas áreas de canteras, rellenos o terraplenes) moldeados constantemente por agentes exógenos como el viento y el agua; en otro caso la presencia de estas áreas se debe a la práctica de la quema de la capa vegetal, incluyendo también afloramientos rocosos.

Los suelos descubiertos se delimitan en las laderas por debajo de la explanación y encima de esta, contiguo al parqueadero en consociación con uso del suelo del tipo pastos naturales (Pn), rastrojos bajos (Rb) y árboles (Ar) (Figura 43).



Figura 42. Uso del suelo tipo bambú (Bu), ubicado a las orillas de la quebrada Clausen.  
Fuente: Propia.



Figura 43. Cobertura del suelo del tipo suelo descubierto (Sd). Fuente: Propia.

- **Asociaciones:** El área del barrio Los Nogales posee unas características muy particulares de agrupaciones de estas unidades de usos del suelo, actualmente se definen las siguientes

combinaciones: Ar-Sd-Pn, Sd-Pn. Pn-Sd-Ar, Bu-Sd y Bu-Ar-Rb. Es claro que las combinaciones se encuentran compuestas por dos o más usos del suelo, donde la primera sigla hace referencia al de mayor porcentaje de área ocupada, pero con menos del 70% de la totalidad (Figura 44).

- **Consociaciones:** A diferencia de las asociaciones, esta combinación solo se presenta en una pequeña área de la totalidad del proyecto como la consociación Pn/Ar/Rb/Ct; esto se debe a las características del terreno, ya que algunas unidades se encuentran con presencia de dos o más clases y la categoría con mayor porcentaje de área ocupa más del 70% de la totalidad del espacio.



Figura 44. Uso de suelo mostrando en la parte izquierda la consociación Pn/Ar/Rb/Ct y en la parte derecha la asociación Ar-Sd-Pn y Pn-Sd-Ar. Fuente: Propia.

Las unidades se cartografiaron en campo y se corroboraron los límites con la imagen aérea tomada, obteniendo y delimitando el mapa de cobertura del suelo (Figura 45). Todas las clases definidas se pueden observar en el gráfico de los porcentajes de las unidades de cobertura del suelo (Figura 46).

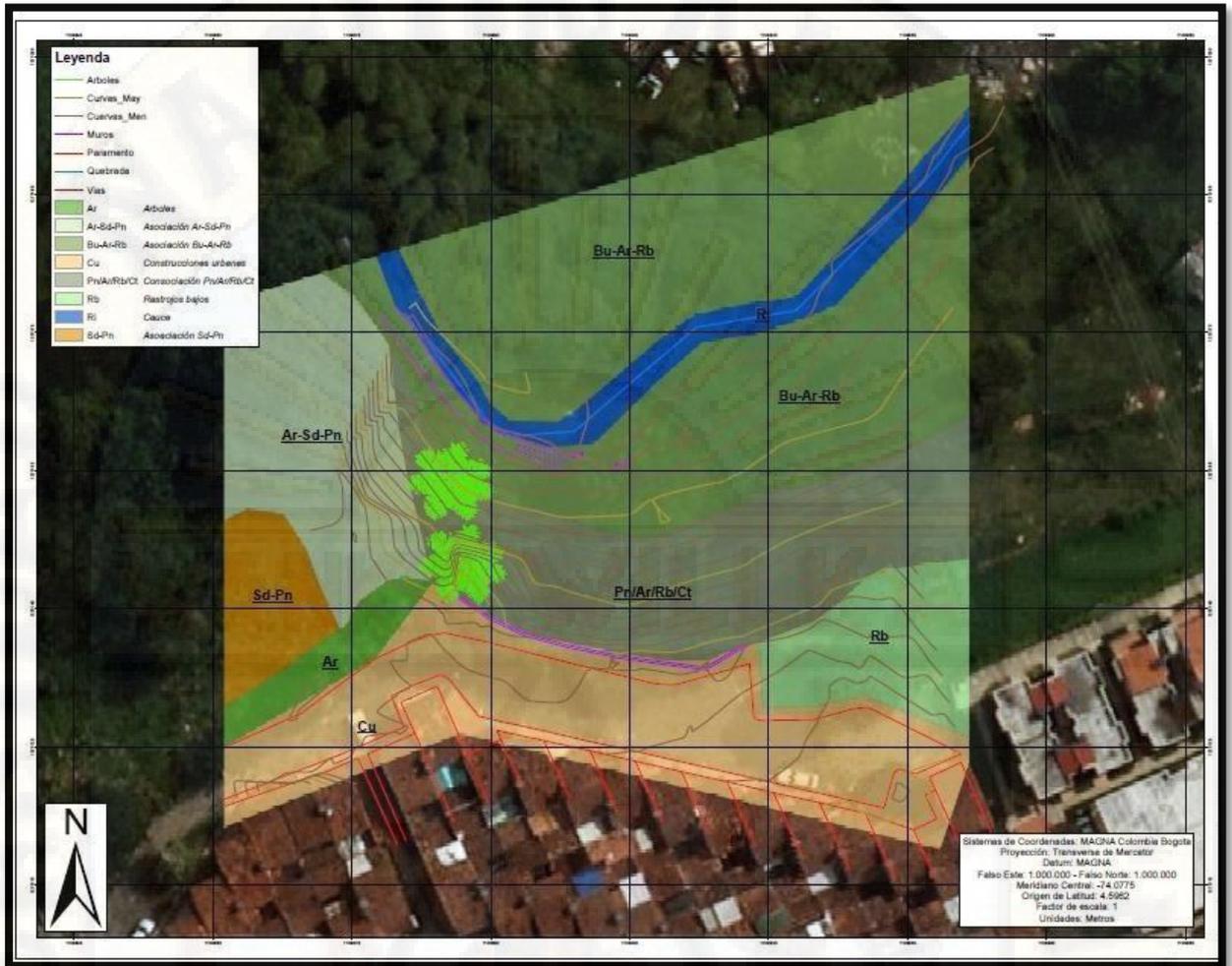


Figura 45. Mapa de Cobertura del Suelo del proyecto barrio Los Nogales. Fuente: Propia.

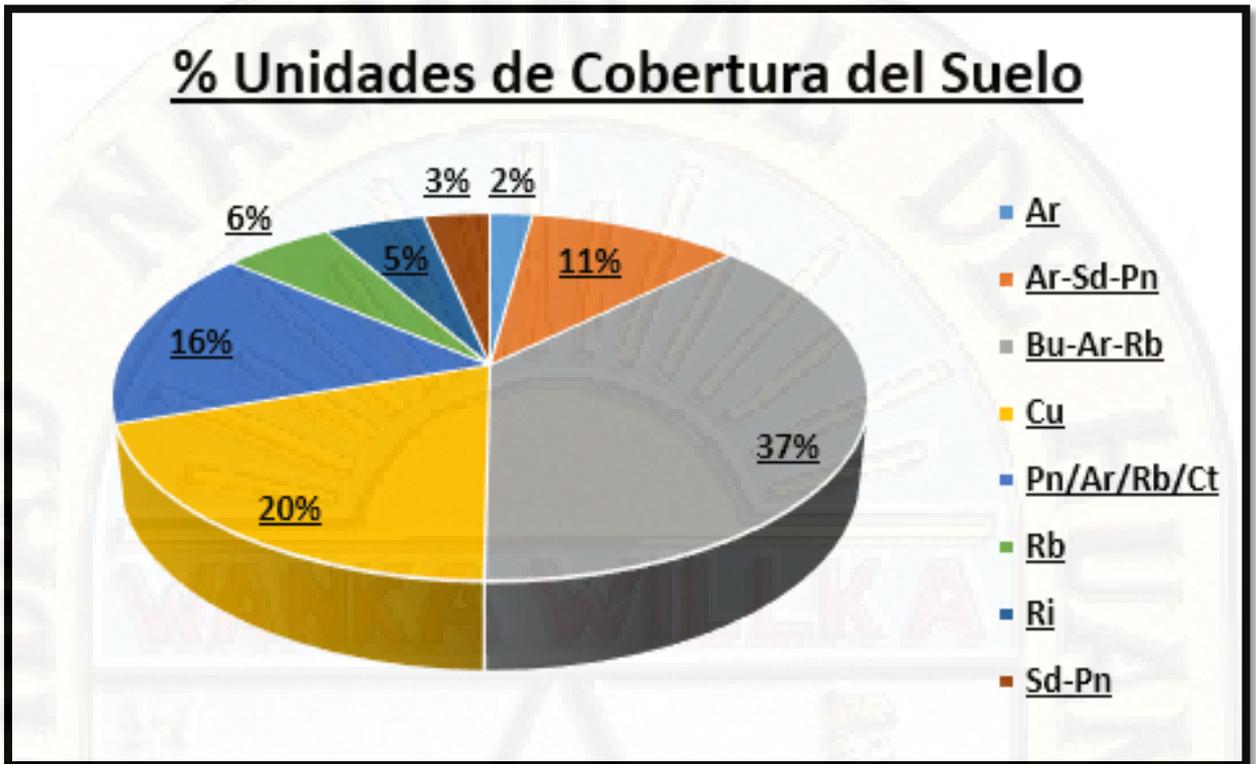


Figura 46. Porcentaje de las unidades de usos del suelo para el área de estudio en su totalidad. Fuente: Propia.

#### **4.4 Inventario de Fenómenos de Remoción en masa**

Para un buen desarrollo de la caracterización y levantamiento de los fenómenos de remoción en masa y zonas con presencia de erosión (activos/ no activos/ antiguos) se procedió en campo a la ejecución de la metodología planteada por INGEOMINAS (2009); teniendo en cuenta los aspectos puntuales como la localización geográfica territorial y local, estado actual, estilo, distribución, litología, tipo de material presente y clasificación del movimiento teniendo en cuenta los autores Varnes, 1978 (modificado en Suarez, 2001) y Cruden & Varnes (1996). Definiendo los parámetros representativos de la siguiente manera:

##### Actividad

Se describe como la agrupación de conceptos con base al estado, estilo y distribución del fenómeno de remoción en masa, el estado del movimiento es conocido como las condiciones de regularidad durante el tiempo de

generación/evolución del movimiento; mientras el estilo abarca la sectorización del material en el área involucrada; y la distribución se conoce como la contribución de los fenómenos de remoción en masa al desplazamiento general de todo el material.

Dentro de las categorías del estado del movimiento en masa se pueden destacar las siguientes:

- **Activo:** Durante la visita se evidencia la masa del material desplazado y procesos activos.
- **Reactivado:** El movimiento se encuentra activo después de haber permanecido estable o sin movimiento durante un periodo de tiempo.
- **Suspendido:** Se encontraba activo durante un tiempo en los últimos ciclos estacionales, pero no presenta procesos activos en la actualidad.
- **Latente:** Actualmente inactivo, pero las causas o factores contribuyentes aún permanecen en el sector.
- **Abandonado (inactivo):** El detonante del movimiento ha dejado de actuar.
- **Estabilizado (inactivo):** El movimiento se ha suspendido debido a la ejecución de obras de mitigación.
- **Relicto:** El movimiento ocurrió bajo condiciones geomorfológicas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente con edades de miles de años.

Para el estilo del fenómeno de remoción en masa, se definen las siguientes categorías:

- **Complejo:** Se identifican diferentes tipos de movimientos en masa que ocurren de manera secuencial en la misma área.
- **Compuesto:** Son diferentes tipos de movimiento en diferentes áreas de la masa desplazada.
- **Múltiple:** Se presentan movimientos repetidos del mismo tipo, generalmente ampliando la superficie de falla.

- **Sucesivo:** El movimiento generado actualmente, es del mismo tipo del ocurrido con anterioridad en la misma ladera pero no comparte ni el material desplazado ni la superficie de falla anterior.
- **Único:** Un solo movimiento del material desplazado y frecuentemente ocurre como un bloque entero.
- **Enjambre:** Numerosos movimientos ocurren al mismo tiempo en varias laderas de una misma zona, producto de un mismo evento detonante.

Como parte final de la actividad del movimiento, se enumeran y describen las categorías de la distribución del movimiento así:

- **Retrogresivo:** La superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado.
- **Progresivo:** La superficie de falla y la dirección del movimiento se extienden en la misma dirección.
- **Ensanchado:** La superficie de falla se extiende hacia uno o ambos márgenes laterales del movimiento en masa.
- **Confinado:** El movimiento presenta un escarpe visible pero no tiene una superficie de falla visible en el pie de la masa desplazada.
- **Creciente:** La superficie de falla se extiende cada vez más, dando lugar a un movimiento continuo del material desplazado.
- **Decreciente:** El volumen del material desplazado disminuye con el tiempo.
- **Móvil:** Los materiales desplazados continúan en movimiento, pero la superficie de falla no presenta cambios visibles.
- 

Litología y estratigrafía

Consiste en identificar y definir el nombre de la Unidad Geológica Superficial (UGS) que se encuentra presente en el área que conforma la ladera sobre la cual ocurre el fenómeno de remoción en masa y su respectiva nomenclatura, descrita en los capítulos anteriores.

### Clasificación del movimiento

Para la clasificación se utilizó la metodología mencionada al inicio del subcapítulo INGEOMINAS (2009), la cual se encuentra basada en la clasificación de los tipos de movimientos en masa realizado por Varnes (1978), luego modificado por Cruden y Varnes (1996) y Suárez (1998). Solo se especificarán los fenómenos de remoción en masa presentes en el área del proyecto:

- **Deslizamiento:** Es constituido por un movimiento ladera debajo de una masa de suelo o roca, cuyo desplazamiento ocurre a lo largo de una superficie de falla o una zona relativamente delgada con una gran deformación. Estos pueden ocurrir tanto por procesos naturales como por desestabilización de masas de tierra por efecto de corte, rellenos, deforestaciones, etc. Los deslizamientos pueden dividirse en dos grupos: deslizamientos rotacionales (Figura 47) y traslacionales (Figura 48). (La información es complementada a detalle con la información del capítulo II subíndice 2.2.2 Movimientos en masa).

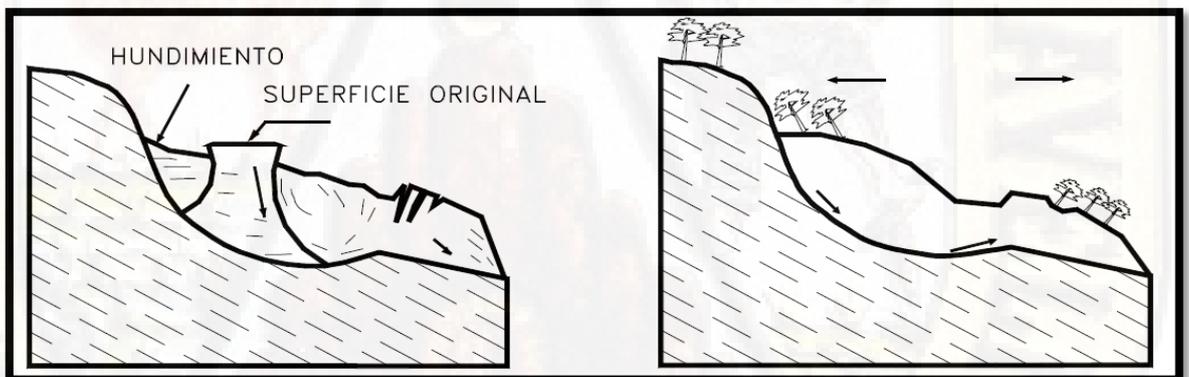


Figura 47. Deslizamiento rotacional tipo. Tomado de Suárez, 1998.

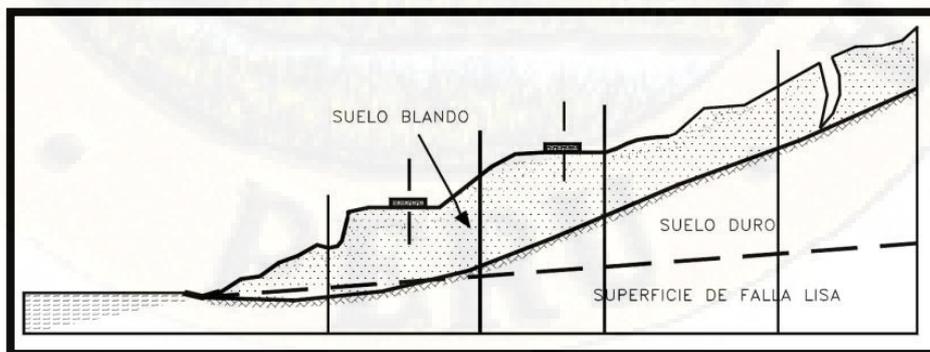


Figura 48. Deslizamiento traslacional tipo. Tomado de Suárez, 1998.

Dentro del área del proyecto se establece una zona altamente crítica muy cerca de las viviendas, se encuentra en desarrollo un posible deslizamiento a futuro. Se logra observar la corona del deslizamiento y hundimientos (Figura 49), pero aún no se presenta un desplazamiento del material ni de la obra de contención (muro). El área hacia los límites de la corona en contacto con el muro de presenta una afectación por fracturamiento del mismo, el cual se presenta en la calle 4ª entre carreras 13 y 14 del barrio Los Nogales (Figura 50).



Figura 49. Corona de posible movimiento en masa con presencia de hundimientos en el área del barrio Los Nogales. Fuente: Propia.



Figura 50. Área del límite oeste del muro de contención con la corona del movimiento en masa, con presencia de fracturamiento y hundimiento de la estructura. Fuente: Propia.

Por otro lado, un tipo de afectación para tener cuidado y que puede llegar a producir fenómenos de remoción en masa asociados a la erosión laminar con presencia de surcos, cárcavas, movimientos por caídas, por flujo o reptación; pero no es apreciable dentro del área del proyecto en tamaños considerables.

Finalmente, todos los deslizamientos cartografiados en campo se almacenan y recopilan en una base de datos con información general y su respectiva fotografía (Tabla 3), como también se analiza la información por medio del respectivo mapa de inventario de movimientos en masa (Figura 51).

Tabla 3. Información para el inventario de fenómenos de remoción en masa. Fuente: Propia.

ID	Localización Geográfica	Actividad			Litología		Clasificación del Movimiento	Observaciones
		Estado	Estilo	Distribución	UGS	Nomenclatura		
MM-1	Calle 4ª entre Cra 13 y 14.	Latente	Único	Retrogresivo	Suelo gravoso del Miembro gravoso	Sft2	Deslizamiento rotacional de detritos	El Deslizamiento se encuentra actualmente detenido por un muro de contención

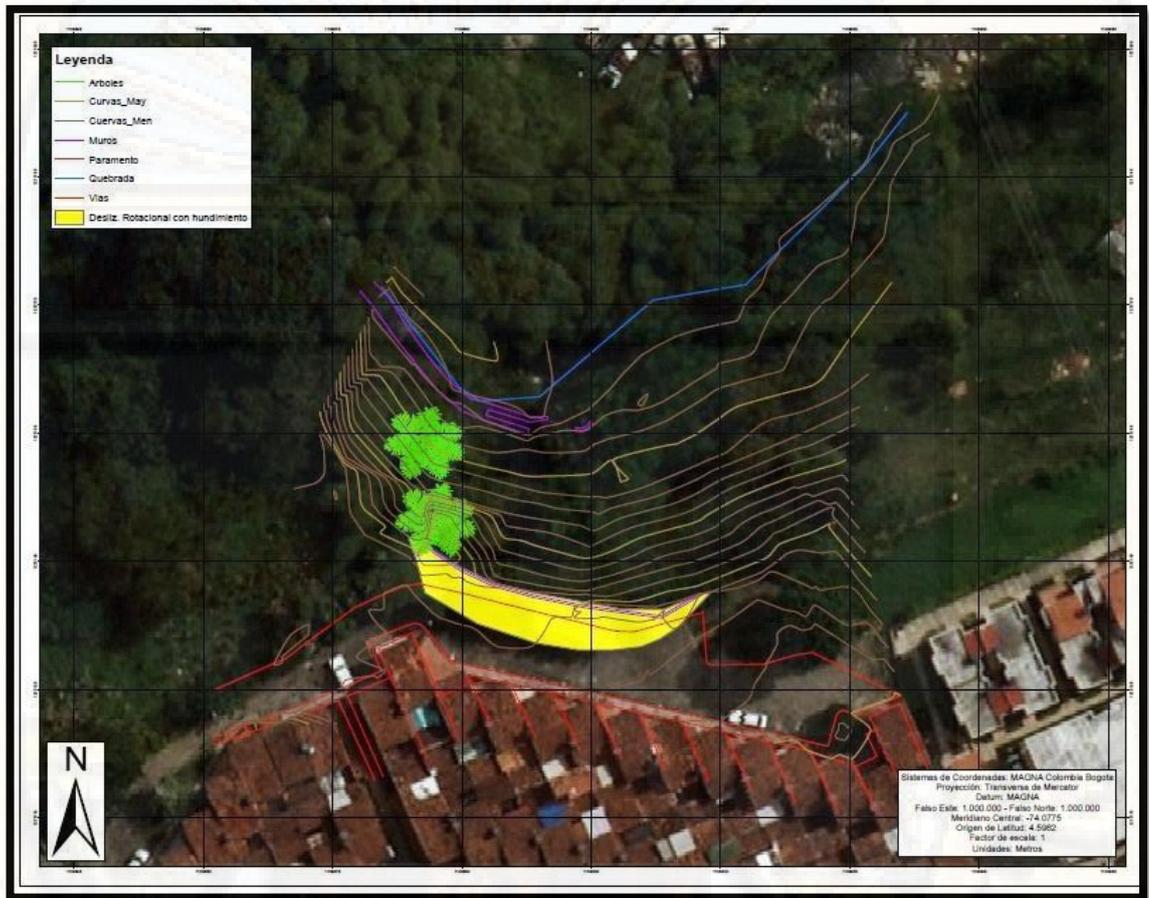


Figura 51. Mapa de inventario de movimientos en masa. Fuente: Propia.

#### 4.5 Inventario de obras

Las obras de mitigación son diseños ingenieriles de control que permiten estabilizar el terreno que se encuentre afectado por diferentes fenómenos de remoción en masa (deslizamientos, caídas de rocas, entre otros), factores antrópicos, por procesos de erosión, entre otros. Los procesos anteriores hacen necesario el mantenimiento y estabilización de algunos terrenos y obras civiles, debido a esto, se utilizan diferentes estrategias como la

estabilización de taludes de tierra y muros de contención.

El área conformada por el barrio Los Nogales, presenta una geomorfología variada como pudo definirse con anterioridad predominando escarpes y laderas inclinadas; sumado a la baja consistencia de algunos materiales que componen las diferentes unidades geomorfológicas superficiales, favorece procesos erosivos y de remoción en masa. Las obras civiles realizadas con mayor frecuencia para el control y la prevención de dichos procesos son:

#### Muros de contención

Los muros de contención son estructuras construidas para el sostenimiento de masa de suelo de forma permanente, por ejemplo, la estabilización de taludes. Así mismo, se utilizan cada vez que los requerimientos de espacio hacen posible establecer una pendiente al lado de una excavación, o para impedir el desprendimiento de la tierra suelta en laderas sobre vías y viviendas. También los muros de contención se utilizan para prevenir o minimizar la erosión del pie del talud por socavación de un río, aguas de escorrentías o para retardar el arrastre del material. Sin embargo, no pueden utilizarse para impedir que se produzcan deslizamientos de tierra de grandes magnitudes (USGS, 2008).

En los muros de contención es importante elaborar un adecuado drenaje a través de toda la estructura, dado que si la presión del agua subterránea es muy alta podría acumularse detrás de cualquier muro de contención, generando un fallamiento de la estructura. El drenaje se puede proporcionar con un simple relleno grueso y material de cimentación (USGS, 2008).

Existen diferentes tipos de muros de contención, diferenciados por el material que es utilizado para su construcción, entre ellos se pueden nombrar: Armazones de madera, muros de tierra reforzada, muro de cajón de acero y muros de gaviones (Figura 52).

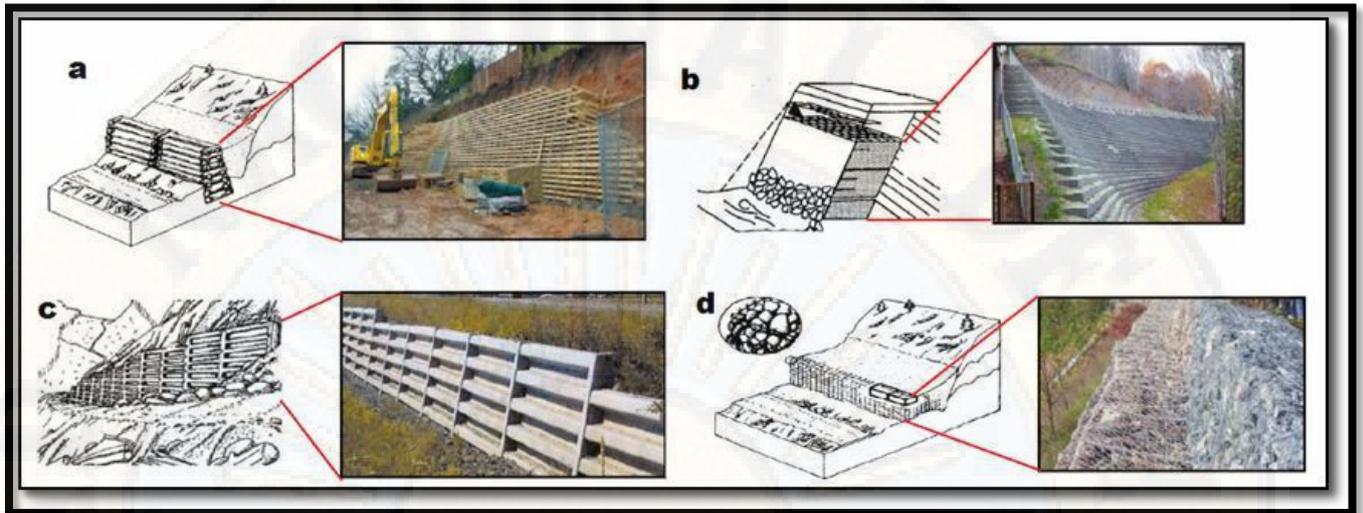


Figura 52. Tipos de muros de contención. A) Armazón de madera, B) Muros de tierra reforzada, C) Muros de cajón de acero y D) Muros de gaviones. Tomado de USGS, 2008.

Para el proyecto se logran identificar diferentes obras ingenieriles entre las que se pueden destacar:

- **Muros de gaviones:** Son contenedores similares a cajas de mallas de alambre, rellenos con rocas de 10-20 centímetros de diámetro (Figura 53). Los muros de gaviones funcionan debido a que la fricción entre las hileras de gaviones individuales es muy alta, al igual que la fricción entre la fila de la base y el suelo en que reposa la estructura. Cuando ocurre una falla, en su mayoría de veces se da en el suelo de la cimentación. Por lo general se pueden construir paredes de tres niveles de hasta 2,5 metros de altura sin recurrir a ningún análisis de ingeniería de detalle (USGS, 2008).



Figura 53. Muros de gaviones. Gaviones estables ubicados en la periferia de las zonas urbanas. Fuente: Propia.

- **Muros reforzados:** Estos muros ejercen un verdadero apoyo en cuanto a la disminución de la afectación por los procesos de remoción en masa y erosión en el área del barrio Los Nogales, al encontrarse allí construido un muro de contención de 20 años aproximadamente, el cual está evitando un posible deslizamiento. Es importante que, para este tipo de estructuras, la recomendación primordial es un constante monitoreo y mantenimiento (Figura 54).



Figura 54. Muros de contención en concreto en el barrio Los Nogales. A) Muro de concreto, B) Franja de coronación del deslizamiento contenido por el muro, C) Grieta de 3 a 4 cm de ancho en la parte derecha del muro y D) Meteorización del muro en el costado derecho (Visto hacia el norte) sobre la vía frente a las viviendas, observándose varillas de acero. Fuente: Propia.

- **Canalización de cauces de ríos:** Se entiende por canalización el acto o efecto de direccionar, por medio de obras artificiales el lecho natural de un curso de agua. La finalidad de una canalización puede ser variable: delimitar el lecho, proteger los márgenes contra

erosiones o inundaciones, recuperar terrenos, aumentar el nivel del agua, etc. En todos los casos, las obras de canalización, al intervenir en un organismo vivo y natural como lo es un río, debe presentar la mayor integración posible con el medio ambiente (Maccaferri, 2014). Para el área del proyecto se presenta una obra de este tipo a lo largo de varias secciones de la quebrada Clausen, la cual limita el movimiento lateral de este flujo y lo está direccionando de una manera correcta (Figura 55).



Figura 55. Canalización del cauce de la quebrada Clausen. Fuente: Propia.

Finalmente, todas las obras de mitigación se almacenan y recopilan en una base de datos con información general sobre su localización, estado, fotografía y recomendaciones (Tabla 4), de igual manera toda la información es organizada en el mapa de inventario de obras civiles (Figura 56).

Tabla 4. Tabla generalizada para el inventario de obras geotécnicas en el proyecto Los Nogales. Fuente: Propia.

ID	Tipo de Obra	Localización	Estado	Recomendaciones
----	--------------	--------------	--------	-----------------

OB1	Muro de Gavión	Ladera adyacente a la calle 4 <sup>a</sup> entre Cra 13 y 14	Obra inestable - deteriorada	Mantenimiento a la obra
OB2	Muro de Contención	Sobre el cauce de la quebrada Clausen	Obra inestable - deteriorada	Mantenimiento a la obra
OB3	Muro de Contención	Adjunto a la corona de deslizamiento sobre la calle 4 <sup>a</sup> entre Cra 13 y 14	Obra inestable - deteriorada	Mantenimiento a la obra

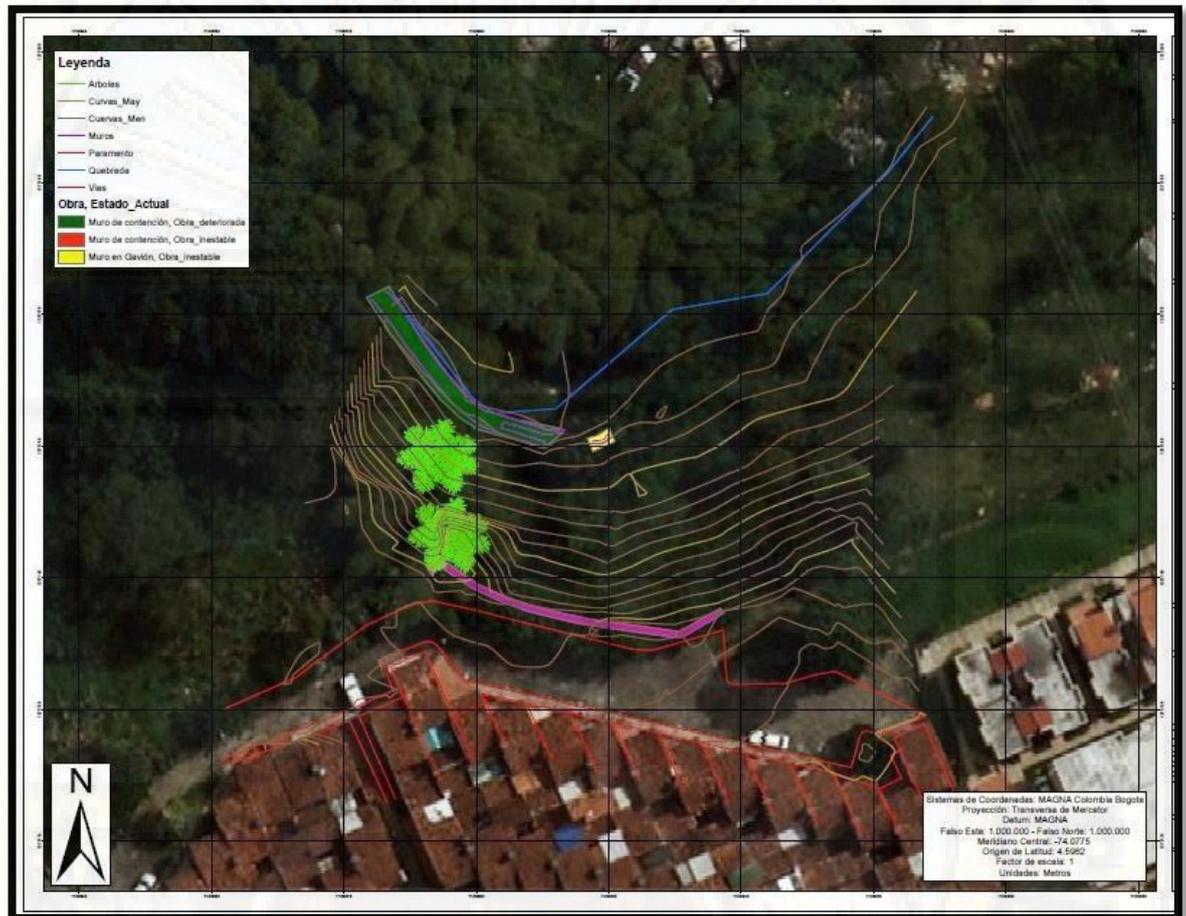


Figura 56. Mapa de inventario de obras geotécnicas. Fuente: Propia.

## 4.6 Evaluación Hidrológica del Sector Los Nogales

El sector de Los Nogales se encuentra bajo la influencia de la cuenca del río Frío, por tal razón en este capítulo se analizarán características propias de la cuenca en especial tomando como referencia el Estudio del río Frío realizado para la CDMB por el Consorcio río Frío en el año 2010; provenientes del estudio mencionado se utilizaron parámetros como el nivel máximo de inundación esperado para garantizar que el sector no presente amenaza por inundaciones, además se utilizan las gráficas de IDF

(Intensidad, Duración y Frecuencia) para determinar los caudales de diseño de las obras de drenaje entre otros parámetros.

El río Frío cuenta con un área de 118 km<sup>2</sup>, con cerca del 40% de su área en zona con topografía montañosa en altas pendientes y aproximadamente el 60% de su cobertura en zonas con topografía ondulada a suave. La longitud del cauce principal es de 34,5 km, con alturas cercanas a los 700 msnm en la parte baja y alcanzando los 2600 msnm en la franja más elevada. El río Frío como afluente desemboca en el río de Oro en inmediaciones del casco urbano del municipio de Girón, constituyéndose en su principal contribuyente. Los principales afluentes del río Frío son las quebradas Zapamanga, La Judía, La Cuellar y La Estancia; por constituirse en corrientes importantes en la zona de topografía ondulada a suave, puede observarse localizado en centros urbanos importantes como lo son los municipios de Floridablanca y Piedecuesta.

#### **4.6.1 Precipitación**

El régimen de lluvias en la parte alta de la cuenca del río Frío es de tipo bimodal, es decir, que se presentan dos temporadas de lluvia, la primera desde mediados de abril hasta mediados de junio, y la segunda desde la mitad de agosto hasta la mitad de noviembre. Durante el resto del año se presentan dos periodos secos, el primero de diciembre a inicios de marzo, y el segundo menos severo, en junio y julio. Mientras en la parte baja de la cuenca, el régimen de lluvias también es del tipo bimodal, con temporadas lluviosas desde mediados de marzo hasta mediados de mayo, y desde julio hasta mitad de noviembre. Durante el resto del año se definen dos periodos secos, de diciembre a febrero, y entre junio y julio.

Con base en lo anterior se concluye para el sector de Los Nogales un régimen de lluvias bimodal, con presencia de lluvias entre los meses de marzo a junio y de julio a noviembre, los demás meses son definidos como periodos secos.

#### 4.6.2 Estaciones representativas

El Estudio de Zonificación de Amenaza por inundación en la Cuenca Baja y Media del río Frío contratado por la CDMB, utiliza la información de eventos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones La Galvicia, El Picacho, La Floresta, Bucaramanga, Piedecuesta y Llano Grande; la información básica se resume en la Tabla 5 y la localización de las estaciones se presenta en la Figura 57.

Tabla 5. Datos de las estaciones empleadas para el análisis de la cuenca del río Frío.

Código	Estación	Corriente	Tipo	Periodo de trabajo	Coordenadas	
					X	Y
231903	El Picacho	Tona	PM	1997-	11231	1278565
231905	La Floresta	Q. La	PM	1997-	11046	1274837
231908	Bucaramanga	Sura	PM	1997-	11065	1278528
231907	Granja	Lato	PG	1997-	11102	1265631
231904	La Galvicia	Tona	PM	1997-	11157	1282235
231951	Llanogrande	De	CO	1997-	10971	1271139

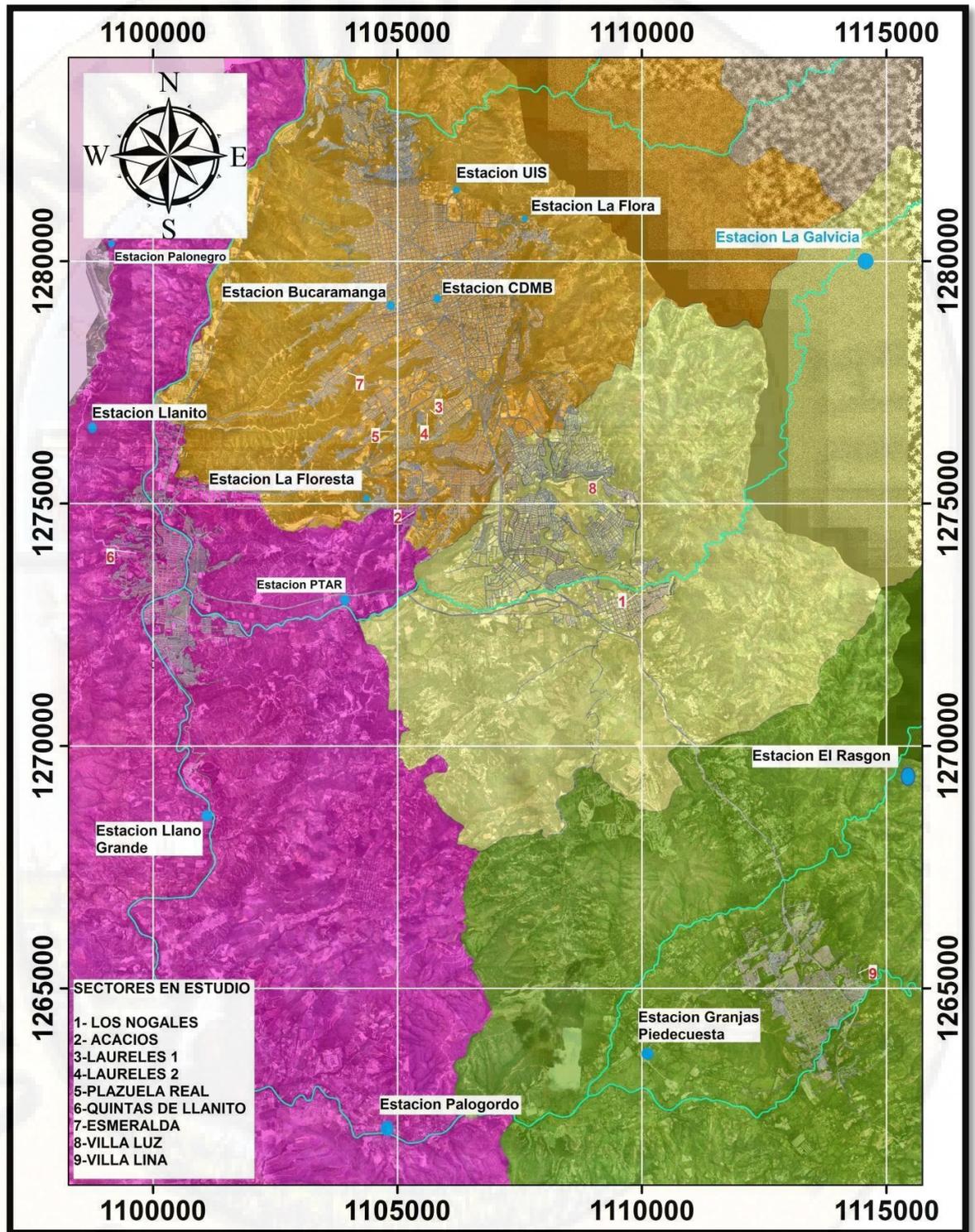


Figura 57. Localización de las estaciones. Fuente: Propia.

#### 4.6.3 Parámetros morfológicos de la Cuenca

Los parámetros morfológicos de la cuenca del río Frío en la parte alta son obtenidos del estudio realizado para la CDMB en el 2010, entre las

características analizadas se encuentran longitud principal, elevación media, área de aporte en km<sup>2</sup>, pendiente media del río y el perímetro (Tabla 6).

Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Frío. Tomado de Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Medio del río Frío, Consorcio Estudios río Frío 2010.

Nombre	Longitud Cauce Principal (km)	Elevación Media (m.s.n.m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Pendiente Media (m/m)	Perímetro (Km)
Frío Alta	16.74	2176	32.58	0.082	35.68
Judía	5.94	1701	7.91	0.211	16.64
Cuellar	4.25	897	2.80	0.045	12.34
Zapamanga	10.78	1013	18.64	0.074	30.15
Frío Medio	10.44	963	11.55	0.068	26.9
Frío Baja	7.29	726	11.90	0.012	27.51
Guayana	6.52	1292	5.50	0.142	16.09
Estancia	11.07	913	13.34	0.029	31.01
Mensulí	9.88	1278	13.59	0.119	26.10
<b>Total Cuenca río Frío</b>	<b>34.37</b>		<b>117.81</b>		

#### 4.6.4 Marco teórico hidrológico

Para la estimación de las precipitaciones en la cuenca del río Frío, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas, de estaciones operadas por el IDEAM, las cuales cuentan con registros continuos de más de 10 años.

Para la estimación de las precipitaciones asociadas a un determinado periodo de retorno, se construyen las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) sintéticas de acuerdo con la metodología propuesta por Vargas y Díaz-Granados (1998), la cual estima estas curvas a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas, la precipitación media multianual y el promedio de días con lluvia al año. Como parte de la metodología para estimar caudales a partir de precipitaciones, fue necesario emplear la información de suelos y usos potenciales, la cual fue tomada del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río de Oro.

Los análisis hidrológicos de la cuenca del río Frío buscan determinar los caudales de creciente a partir de eventos de lluvia empleando un modelo lluvia-escorrentía.

Análisis de los datos de precipitación

La escorrentía superficial es función de la profundidad total de precipitación y de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía (CN) que tiene en cuenta el proceso de infiltración y de retención inicial en un proceso de lluvia sobre la cuenca.

El análisis de los datos de precipitación pretende obtener los valores correspondientes de precipitación asociados a un periodo de retorno de un evento de lluvia.

Estos análisis se realizan en base a los datos medios diarios de precipitaciones ajustados con una distribución de probabilidad, o empleando curvas que relacionen la intensidad de lluvia, con la duración y la frecuencia de esta (curvas IDF), calculadas a partir de los registros pluviográficos de una estación o a partir de curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF).

Adicionalmente, para emplear un modelo lluvia-escorrentía se requiere conocer la distribución temporal de la tormenta cuyo volumen de precipitación corresponde al encontrado empleando valores obtenidos de las series de precipitación, o el dato asociado a un periodo de retorno. Para el proyecto del Barrio Los Nogales, la distribución temporal de las tormentas es empleada por medio de la propuesta de distribución de Arguello y Fuentes (2009).

Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia IDF sintéticas

Con base en los valores promedio de precipitación máxima en 24 horas y del promedio de días con lluvia al año en cada estación, se construyeron las curvas de Intensidad – Duración – Periodo de retorno o Frecuencia (IDF),

empleando la metodología propuesta por Vargas R. y Díaz-Granados M., en su trabajo titulado “Curvas sintéticas regionalizadas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia” (Universidad de los Andes, Santafé de Bogotá, 1998).

Vargas y Díaz-Granados recopilaron información de 250 curvas IDF de diferentes estaciones dentro del territorio colombiano y de esta manera establecieron los coeficientes para las ecuaciones propuestas por Kothyari y Garde para cada región; la ecuación es la siguiente:

$$I = a \cdot \frac{T^b}{e^{tc}} M^d N^e P T^f$$

Donde I es la intensidad de lluvia en mm/h, M el promedio de valores máximos anuales de precipitación en mm, N el promedio del número de días con lluvia al año, PT la precipitación media anual en mm; a, b, c, d, e y f son coeficientes cuyos valores fueron hallados mediante correlaciones, que para la región Andina se han establecido como se muestra en la Tabla 7. Los valores de T es tiempo de retorno en años y t es la duración en horas.

Tabla 7. Coeficientes de la curva IDF sintética. Tomado de Vargas y Díaz-Granados, 1998.

a	b	c	d	e	f
1.61	0.19	0.65	0.75	-0.1	0.08

#### 4.6.5 Análisis de Infiltración

Método del Soil Conservation Service (SCS) para el cálculo de las Abstracciones y la Precipitación Efectiva

El Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS por su sigla en inglés), desarrolló un método para el cálculo de las abstracciones iniciales de una tormenta, las cuales incluyen la intercepción, la detención superficial y la infiltración cuantificada a partir de un parámetro conocido como el número de curva de escorrentía (Figura 58).

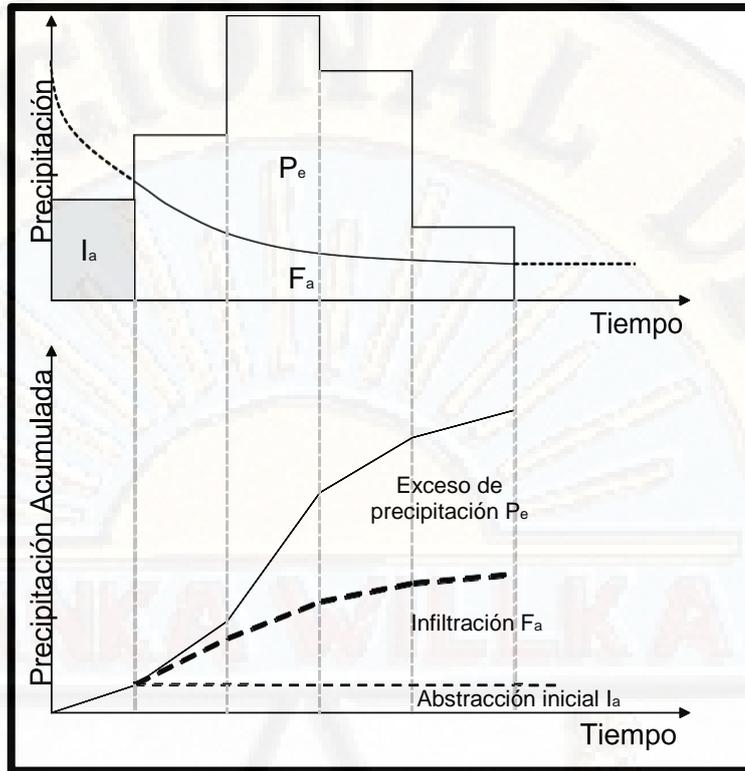


Figura 58. Método de Abstracciones del SCS. Ajustado de Mockus V., 1964.

Con el volumen total de lluvia precipitada en una tormenta ( $P$ ) y la distribución temporal de un aguacero (hietograma de lluvia, ver Figura 58), donde una parte del volumen en el inicio de la lluvia es retenido o interceptado por la vegetación o en depresiones topográficas, de esta manera existe una pérdida de volumen o abstracción inicial ( $I_a$ ) en un aguacero. De esta misma forma, una parte del volumen se infiltra en el suelo ( $F_a$ ), de manera que una parte de la lluvia total es la contribuyente de la escorrentía directa (precipitación efectiva,  $P_e$ ).

El método del SCS parte de la relación entre las siguientes cantidades:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Donde  $S$  es la retención potencial máxima, o el almacenamiento; por el principio de continuidad,

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las dos ecuaciones anteriores:

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S}$$

Siendo esta la ecuación con la que se calcula la precipitación de exceso, conocidas las abstracciones iniciales expresadas en términos del almacenamiento, por medio de la expresión  $I_a = C_a S$ , siendo  $C_a$  un coeficiente que varía entre 0,15 y 0,20 para cuencas de Colombia.

El almacenamiento en la cuenca se puede expresar en términos de un parámetro adimensional que tiene en cuenta las características geomorfológicas del suelo, el uso y cobertura vegetal, siendo el parámetro, de acuerdo con la metodología propuesta por el SCS, el número de curva (CN).

$$S = 25.4 \left[ \frac{1000-10}{CN} \right] \quad (mm)$$

Este número de curva depende de la clasificación hidrológica del suelo, realizada a partir de la geomorfología del área del proyecto, el uso del suelo, la condición del suelo, es decir, si es pobre, aceptable o buena; y la condición de humedad antecedente. El parámetro puede variar entre 0 y 100, siendo un suelo con capacidad de almacenamiento infinito aquel que presente un CN igual a 0, y un suelo sin ninguna retención o infiltración el cual presente un CN igual a 100.

#### Número de Curva de Escorrentía (CN)

El número de curva de escorrentía (CN) del SCS, fue desarrollado como un índice que representa la combinación de los grupos hidrológicos del suelo, el uso y la clase de tratamiento de la tierra. Los análisis empíricos conducen a la deducción que el CN es función de tres factores: Clase de suelo, la cobertura del suelo y las condiciones de humedad antecedente (5 días).

#### Clasificación Hidrológica de los Suelos

El SCS, clasificó hidrológicamente más de 4000 suelos basándose en su

potencial de escurrimiento para lo cual los agrupó en cuatro grandes grupos de suelos hidrológicos, los cuales se identifican con las letras A, B, C y D.

- **Suelo tipo A:** Potencialmente de escurrimiento bajo, su capacidad de infiltración es alta cuando se encuentra completamente húmedo, principalmente compuesto de arenas y gravas muy bien ordenadas. Suelos con alta transmisión de agua.
- **Suelo tipo B:** Suelos con capacidad de infiltración moderada cuando están completamente húmedos, suelos medianamente profundos y drenados, con textura de sus agregados variando de moderada a muy fina. Poseen velocidades medias de transmisión de agua.
- **Suelos tipo C:** Suelos con capacidad de infiltración baja cuando están completamente húmedos, principalmente estos suelos contienen una capa que impide el movimiento hacia abajo o suelos con textura fina o moderadamente fina. Estos suelos tienen baja transmisión de agua.
- **Suelos tipo D:** Suelos de capacidades de infiltración muy bajas cuando están completamente húmedos, su comportamiento expansivo es muy significativo al contacto con el agua, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos. Suelos con transmisión del agua muy baja.

#### Uso y Tratamiento del Suelo

La condición superficial en la cuenca hidrográfica se refleja en el uso del suelo y las clases de tratamiento. El uso del suelo está asociado a las coberturas forestales y vegetales de la cuenca como lo son el tipo de vegetación, los usos agrícolas, tierras en descanso, superficies impermeables y áreas urbanas. El tratamiento del suelo se aplica a las prácticas mecánicas como perfilado de curvas de nivel propias del uso agrícola, y prácticas de manejo como controles de pastoreo y rotación de cultivos.

En los suelos cultivados es posible la identificación de: tierras en descanso, praderas, cultivos de hilera, cultivos de granos, rotaciones (pobre, aceptable, buena), cultivos en hileras rectas, vegetales sembrados cercanamente, campos sembrados a lo largo de la curva de nivel y cultivos en terrazas.

#### Condición Hidrológica del Suelo

El tipo de vegetación y la densidad de la cobertura en la cuenca tienen una gran influencia en la capacidad de infiltración del suelo. Se definieron las siguientes categorías de cobertura para pasto natural. El porcentaje estimado cualitativamente en los planos es el siguiente:

- **Pobre:** Menos del 50% de área cubierta por pasto. Alta intensidad de pastoreo.
- **Aceptable:** Entre 50 al 75% del área se encuentra cubierta por pasto. Con intensidad media de pastoreo.
- **Buena:** 75% del área cubierta por pasto. Intensidad ligera de pastoreo.

La condición hidrológica para los bosques se determina de igual manera cualitativamente así:

- Pobre: Bosques regularmente quemados con pocos arbustos y poco humus vegetal.
- Aceptable: Con presencia de algunos arbustos, moderada cantidad de humus vegetal y pasto.
- Buena: Protegido con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y presencia de muchos arbustos cubriendo la superficie.

Como última parte, la humedad antecedente tiene en cuenta la precipitación de los cinco días previos a la tormenta. La condición de humedad antecedente seca (AMC-I) tiene el menor potencial de escorrentía con los suelos secos muy satisfactorio para cultivos. La condición de humedad antecedente promedio (AMC-II) tiene un potencial de escorrentía medio; y la condición de humedad antecedente húmeda (AMC-III) tiene el mayor potencial de escorrentía, donde se puede definir la cuenca como

prácticamente saturada por precipitaciones anteriores (Tabla 8).

Tabla 8. Precipitación acumulada para condiciones de humedad antecedente. Tomado de Chow V. T., 1994.

CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE (AMC)	PRECIPITACIÓN ACUMULADA DE LOS CINCO DÍAS PREVIOS AL EVENTO (cm)	
	TEMPORADA INACTIVA	TEMPORADA DE CRECIMIENT
I	Menor 0.5	Menor 1.4
II	0.5 -1.1	1.4 -2.1
III	Mayor 1.1	Mayor 2.1

Existen cuadros de número de curva de escorrentía (CN) para varias coberturas de suelo hidrológico con condición de humedad antecedente AMC-II. Se han encontrado las siguientes relaciones, las cuales son útiles para calcular los números de curva para condiciones de humedad antecedente AMC-I y AMC-III a partir de la condición promedio AMC-II.

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{II}}{S_{III}} = 2.3$$

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

#### Transformación Lluvia Escorrentía – Hidrograma Unitario del SCS

A partir de varias series de hidrogramas reales correspondiente a cuencas de diversos tamaños, ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos, el SCS desarrolló un Hidrograma unitario sintético adimensional (Figura 59).

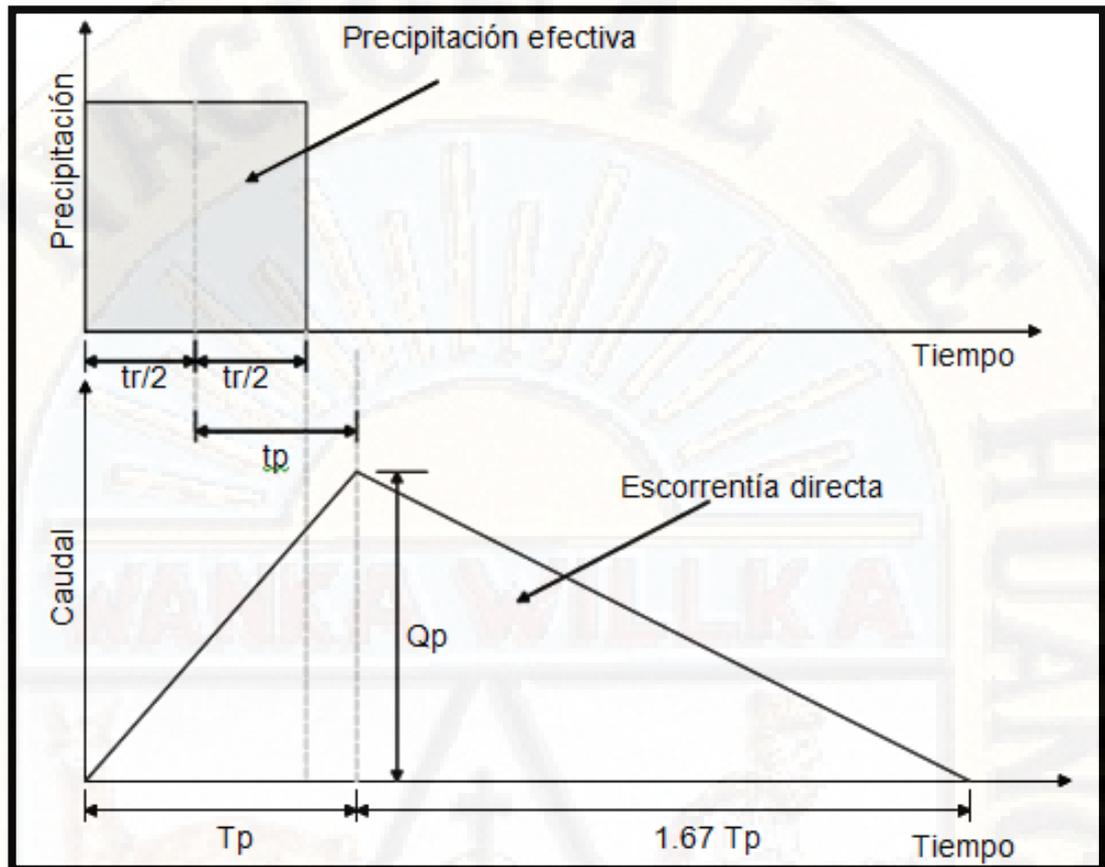


Figura 59. Hidrograma Unitario generado por la SCS.

En este hidrograma el caudal pico es expresado en términos del área de drenaje ( $A$ ) en kilómetros cuadrados, y el tiempo al pico ( $T_p$ ), a partir de la siguiente ecuación:

$$Q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

Dónde:

$$T_p = \frac{tr}{2} + t_p$$

Sabiendo que ( $tr$ ) es el tiempo de duración de la lluvia y ( $t_p$ ) el tiempo de rezago o de retardo de la cuenca que se define como el tiempo comprendido entre el centroide del hidrograma de precipitación de exceso y el poco del caudal en el hidrograma. Cuando se conoce el tiempo de concentración ( $T_c$ ), es posible determinar el tiempo de retardo asumiendo que  $tr = 0.60 T_c$ .

#### 4.6.6 Hidrograma de Caudal

### Consideraciones Generales

Los hidrogramas de caudal se estimaron empleando el modelo hidrológico HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) del Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineer de los Estados Unidos. El software realiza la simulación hidrológica de un evento lineal y semi-distribuido, permitiendo estimar los hidrogramas de caudal en la salida de una cuenca o varias subcuencas; a partir de las condiciones de lluvia en la cuenca. El HEC – HMS fue empleado debido a que es un programa aceptado y reconocido mundialmente por la comunidad científica, y a su vez ha sido empleado para tales fines en múltiples proyectos.

Para calcular los hidrogramas se empleó la metodología del hidrograma unitario (HU) del Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos, sin flujo base. Las pérdidas o abstracciones se estimaron utilizando la metodología del SCS, que involucra el número de curva (CN).

Las simulaciones hidrológicas en la cuenca se presentan para eventos de lluvia de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años; eventos obtenidos por medio de las curvas IDF sintéticas propuestas por Vargas y Díaz-Granados (1998).

### Características de la Microcuenca Mensulí

Durante la estimación de los hidrogramas de caudal se necesitó conocer una serie de parámetros fisiográficos de la microcuenca, algunos de ellos como el área, longitud del cauce y la pendiente.

La longitud del cauce principal del río Frío es de 34,5 km, presenta alturas entre 700 msnm en la parte baja y 2600 msnm en la parte más alta, la elevación media es de 1650, un área aferente de 118 km<sup>2</sup> y una pendiente de 0.0478 m/m.

### Tiempo de Retardo

Para la estimación del tiempo de retardo ( $t_R$ ), desarrollada utilizando la ecuación propuesta por el SCS:

$$t_R = \frac{100.L^{0.8}[(100/CN) - 9]^{0.7}}{1900.(S.100)^{0.5}}$$

Donde L es la longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria del flujo) en pies, CN el número de curva del SCS, y la S la pendiente promedio de la cuenca en porcentaje.

Para la Microcuenca Mensulí se estima un tiempo de retardo de 239.49 minutos.

#### Número de Curva (CN)

La información de cobertura y usos del suelo determinan y caracterizan los diferentes tipos de cobertura vegetal existentes en la Microcuenca, así como el uso actual y potencial, factores determinantes para la estimación de los caudales de creciente en la cuenca. Los diferentes tipos de cobertura y usos del suelo se identificaron a partir del POMCA del río de Oro (2004).

Teniendo en cuenta los usos del suelo se clasificaron los números de curva de las subcuencas, empleando los criterios propuestos por el Soil Conservation Service (SCS). Esta metodología asume que, en un complejo suelo, la vegetación es totalmente impermeable, la infiltración es nula, y la precipitación es igual a la escorrentía superficial; en contraste, un suelo totalmente permeable, en el complejo suelo con vegetación donde todo el volumen de lluvia se infiltra, y la escorrentía superficial es igual a cero.

Para la implementación y aplicación de la metodología del SCS, se clasifican los suelos de acuerdo con su grado de permeabilidad, designando los tipos de suelo con las letras A, B, C y D (descritos con anterioridad). Los suelos por lo general en el área de estudio son areniscas de baja profundidad, tomando para la cuenca un suelo hidrológico del tipo B.

Bajo estas condiciones, los números de curva asociados a cada una de las unidades de uso potencial según la Tabla 9 son los siguientes:

Tabla 9. Números de Curva para los usos potenciales del suelo. Fuente: Soil Conservation Service SCS.

USO POTENCIAL	C N
BOSQUES	66
EXPANSIÓN URBANA	90
ZONA DE PROTECCIÓN	65
ZONA URBANA	90
CULTIVOS	76

En función del área de cada subcuenca y del uso potencial en cada una de las unidades, se ponderó el número de curva (CN) para la cuenca del río Frío obteniendo un valor de Número de Curva (CN) de 62.

#### Estimación de las Curvas IDF

Para el área del proyecto, partiendo de los datos de lluvia de las estaciones, se establecieron los siguientes parámetros (Tabla 10) (Figura 60), necesarios para estimar las curvas IDF a partir de la metodología de Vargas y Díaz-Granados.

Tabla 10. Parámetros para la estimación de Curvas IDF. Vargas y Díaz-Granados.

PARÁMETROS	EL PICACHO	LA FLORESTA	BUCARAMANGA	PIEDECUESTA	LA GALVICI	LLANOGRANDE
Promedio Valores Max Anuales de Precipitación	41.7	78.0	73.3	85.2	68.4	82.9
Número de Días	174.1	173.0	172.8	173.9	173.4	175.5
Precipitación Media	1408.0	1056.0	1172.0	1130.0	1172.0	1039.0

A continuación, se presentan las curvas IDF para cada una de las

estaciones, calculadas por medio del Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca baja y Media del río Frío.

Tabla 11. Datos para Curvas IDF – Estación el Picacho

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	79.6	94.7	108.0	128.6	146.7	167.3	227.2
0.33	50.7	60.3	68.8	81.9	93.5	106.6	144.8
0.50	39.0	46.4	52.9	62.9	71.8	81.9	111.2
0.67	32.3	38.5	43.9	52.2	59.6	67.9	92.3
0.83	27.9	33.3	37.9	45.2	51.5	58.8	79.8
1.00	24.8	29.5	33.7	40.1	45.8	52.2	70.9
1.17	22.5	26.7	30.5	36.3	41.4	47.2	64.1
1.3	20.6	24.5	28.0	33.3	38.0	43.3	58.8
1.50	19.1	22.7	25.9	30.8	35.2	40.1	54.5
1.67	17.8	21.2	24.2	28.8	32.8	37.5	50.9
1.83	16.7	19.9	22.7	27.1	30.9	35.2	47.8
2.00	15.8	18.8	21.5	25.6	29.2	33.3	45.2
2.17	15.0	17.9	20.4	24.3	27.7	31.6	42.9
2.33	14.3	17.0	19.4	23.1	26.4	30.1	40.9
2.50	13.7	16.3	18.6	22.1	25.2	28.8	39.1
2.67	13.1	15.6	17.8	21.2	24.2	27.6	37.5
2.83	12.6	15.0	17.1	20.4	23.3	26.5	36.0

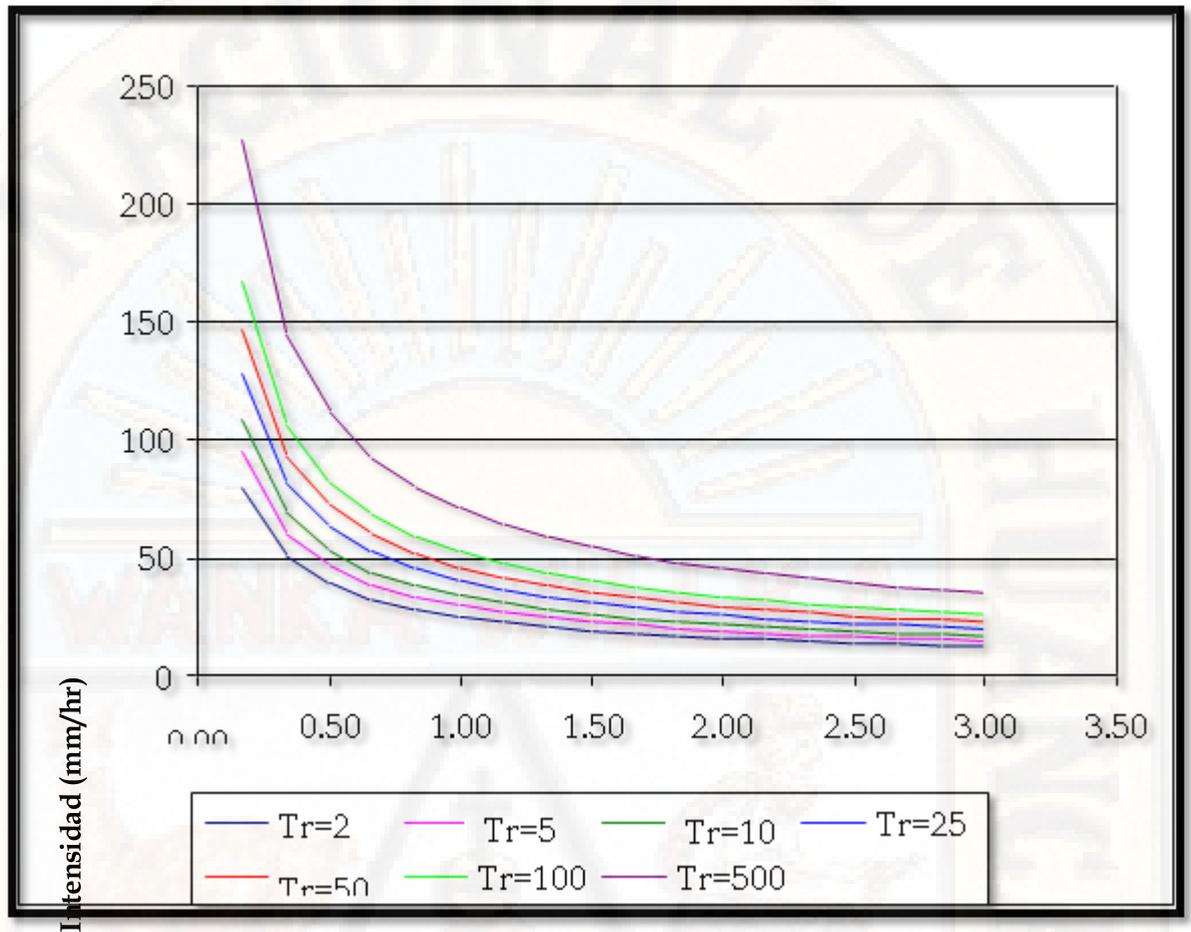


Figura 60. Curvas IDF – Estación El Picacho, generadas por medio de los datos registrados.

Tabla 12. Datos para Curvas IDF – Estación La Floresta.

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	124.5	148.1	169.0	201.1	229.4	261.7	355.4
0.33	79.3	94.4	107.7	128.2	146.2	166.8	226.5
0.50	60.9	72.5	82.7	98.5	112.3	128.2	174.0
0.67	50.6	60.2	68.6	81.7	93.2	106.3	144.3
0.83	43.7	52.0	59.4	70.7	80.6	91.9	124.8
1.00	38.8	46.2	52.7	62.8	71.6	81.7	110.9
1.17	35.1	41.8	47.7	56.8	64.8	73.9	100.3
1.33	32.2	38.3	43.7	52.1	59.4	67.7	92.0
1.50	29.8	35.5	40.5	48.2	55.0	62.8	85.2
1.67	27.9	33.2	37.8	45.0	51.4	58.6	79.6
1.83	26.2	31.2	35.6	42.3	48.3	55.1	74.8
2.00	24.8	29.5	33.6	40.0	45.6	52.0	70.7

2.17	23.5	28.0	31.9	38.0	43.3	49.4	67.1
2.33	22.4	26.7	30.4	36.2	41.3	47.1	63.9
2.50	21.4	25.5	29.1	34.6	39.5	45.0	61.1
2.67	20.5	24.4	27.9	33.2	37.8	43.2	58.6
2.83	19.7	23.5	26.8	31.9	36.4	41.5	56.3
3.00	19.0	22.6	25.8	30.7	35.1	40.0	54.3

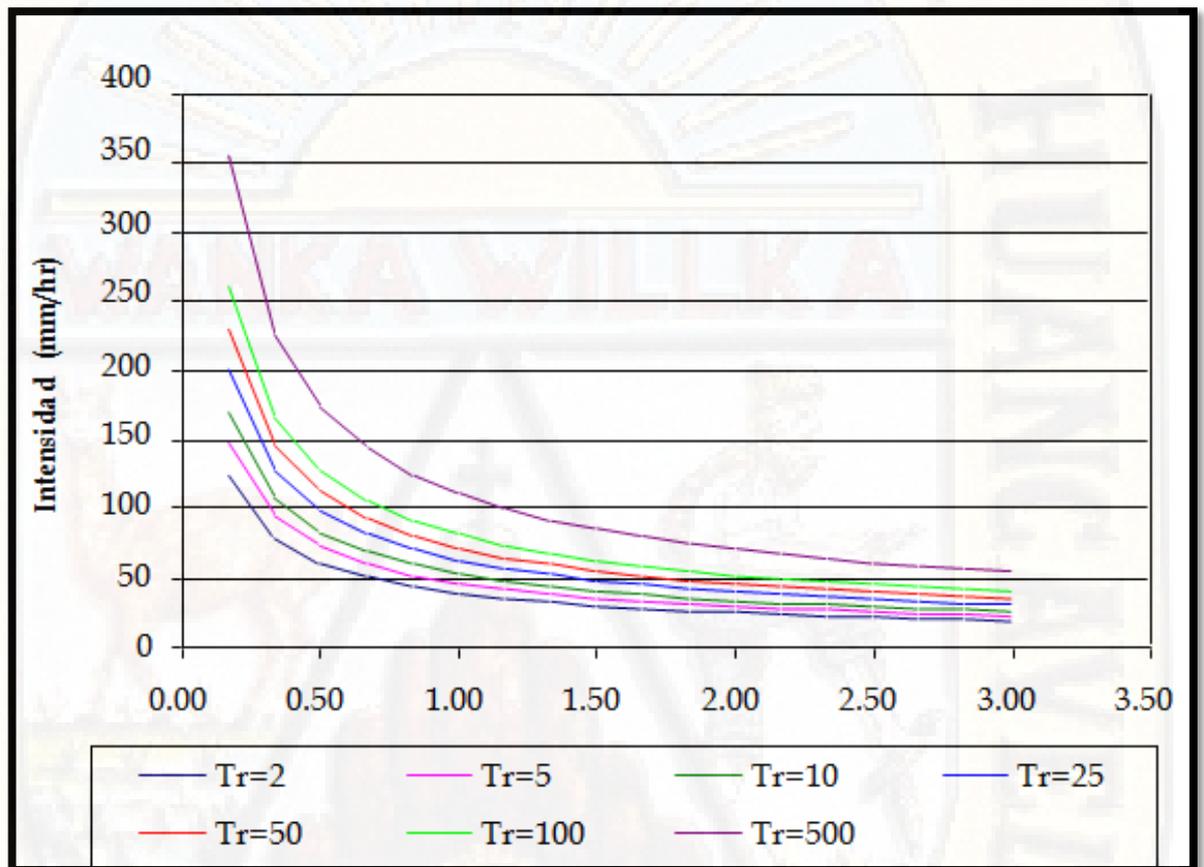


Figura 61. Curvas IDF – Estación La Floresta, generadas por medio de los datos registrados.

Tabla 13. Datos para Curvas IDF – Estación Bucaramanga.

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	119.8	142.6	162.7	193.6	220.9	252.0	342.1
0.33	76.4	90.9	103.7	123.4	140.8	160.6	218.0
0.50	58.7	69.8	79.7	94.8	108.1	123.4	167.5
0.67	48.7	57.9	66.1	78.6	89.7	102.3	138.9
0.83	42.1	50.1	57.1	68.0	77.6	88.5	120.2
1.00	37.4	44.5	50.8	60.4	68.9	78.6	106.7
1.17	33.8	40.3	45.9	54.7	62.3	71.1	96.6
1.33	31.0	36.9	42.1	50.1	57.2	65.2	88.5
1.50	28.7	34.2	39.0	46.4	53.0	60.4	82.0
1.67	26.8	31.9	36.4	43.3	49.4	56.4	76.6
1.83	25.2	30.0	34.2	40.7	46.5	53.0	72.0
2.00	23.8	28.4	32.3	38.5	43.9	50.1	68.0
2.17	22.6	26.9	30.7	36.5	41.7	47.6	64.6
2.33	21.6	25.7	29.3	34.8	39.7	45.3	61.5
2.50	20.6	24.5	28.0	33.3	38.0	43.3	58.8
2.67	19.8	23.5	26.8	31.9	36.4	41.6	56.4
2.83	19.0	22.6	25.8	30.7	35.0	40.0	54.2
3.00	18.3	21.8	24.9	29.6	33.7	38.5	52.3

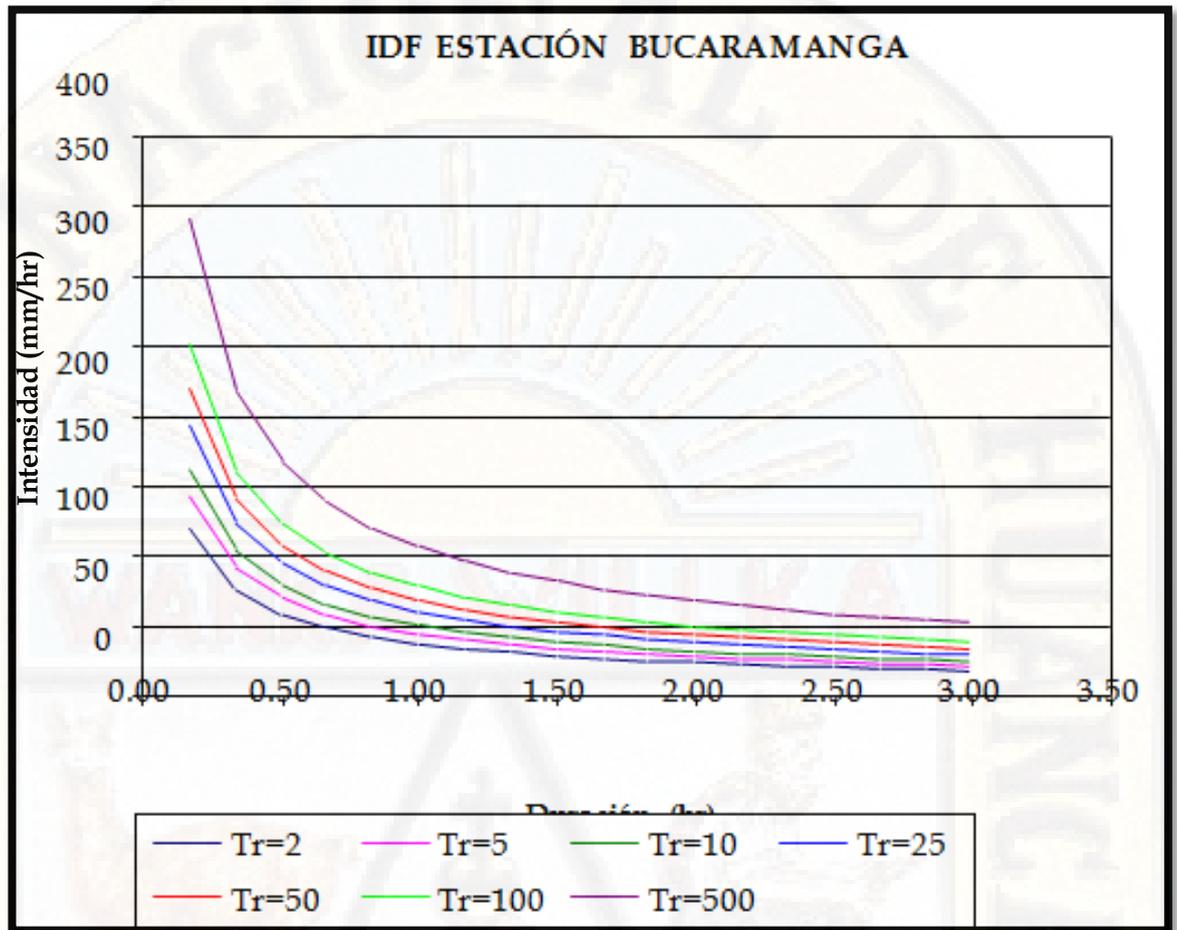


Figura 62. Curvas IDF – Estación Bucaramanga, generadas por medio de los datos registrados.

Tabla 14. Datos para Curvas IDF – Estación Granja Piedecuesta.

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	133.6	159.0	181.4	215.9	246.3	281.0	381.5
0.33	85.1	101.3	115.6	137.6	157.0	179.1	243.1
0.50	65.4	77.9	88.8	105.7	120.6	137.6	186.8
0.67	54.3	64.6	73.7	87.7	100.0	114.1	154.9
0.83	46.9	55.9	63.7	75.8	86.5	98.7	134.0
1.00	41.7	49.6	56.6	67.4	76.9	87.7	119.0
1.17	37.7	44.9	51.2	60.9	69.5	79.3	107.7
1.33	34.6	41.2	47.0	55.9	63.7	72.7	98.7
1.50	32.0	38.1	43.5	51.8	59.0	67.4	91.5
1.67	29.9	35.6	40.6	48.3	55.1	62.9	85.4
1.83	28.1	33.5	38.2	45.4	51.8	59.1	80.3

2.00	26.6	31.6	36.1	42.9	49.0	55.9	75.9
2.17	25.2	30.0	34.2	40.8	46.5	53.0	72.0
2.33	24.0	28.6	32.6	38.8	44.3	50.5	68.6
2.50	23.0	27.4	31.2	37.1	42.4	48.3	65.6
2.67	22.0	26.2	29.9	35.6	40.6	46.3	62.9
2.83	21.2	25.2	28.8	34.2	39.1	44.6	60.5
3.00	20.4	24.3	27.7	33.0	37.6	42.9	58.3

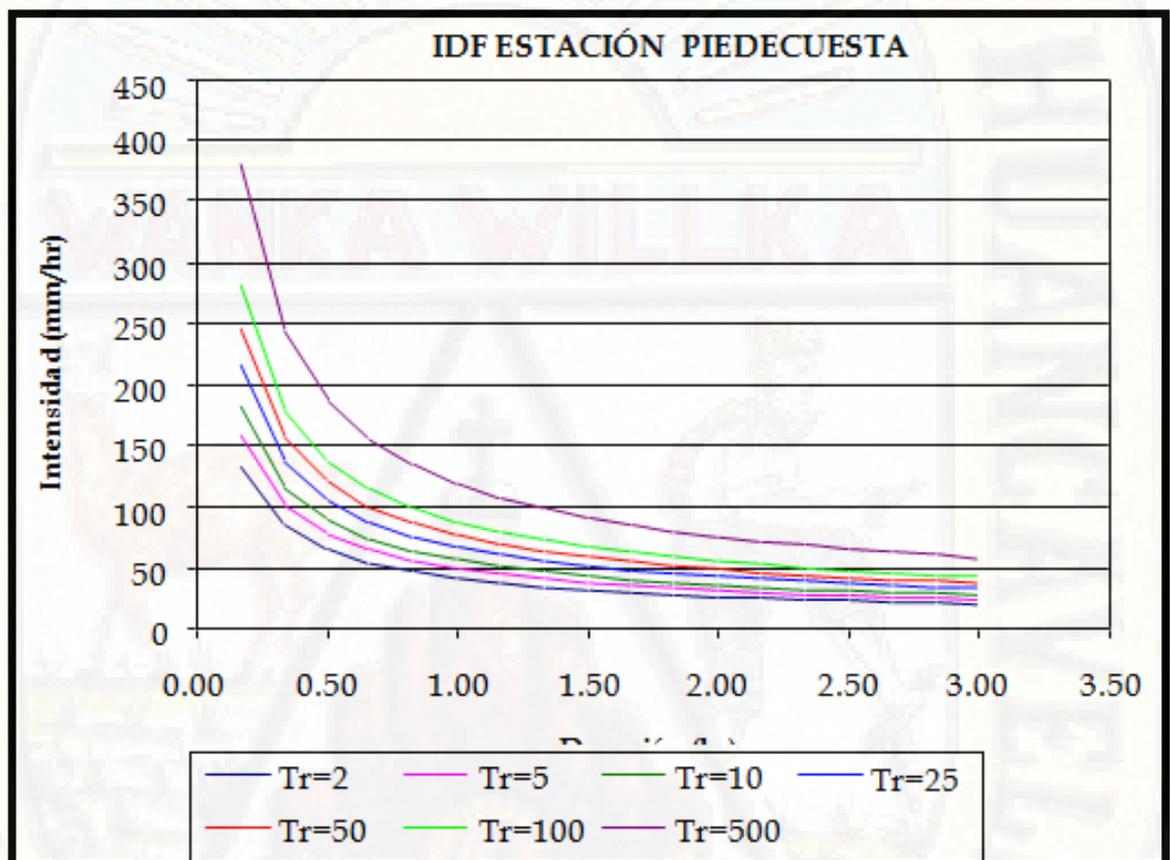


Figura 63. Curvas IDF – Estación La Granja Piedecuesta, generadas por medio de los datos registrados.

Tabla 15. Datos para Curvas IDF – Estación La Galvicia.

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	113.7	135.3	154.4	183.7	209.6	239.1	324.6
0.33	72.5	86.2	98.4	117.1	133.6	152.4	206.9
0.50	55.7	66.3	75.6	90.0	102.6	117.1	158.9

0.67	46.2	55.0	62.7	74.6	85.1	97.1	131.8
0.83	39.9	47.5	54.2	64.5	73.6	84.0	114.0
1.00	35.5	42.2	48.2	57.3	65.4	74.6	101.3
1.17	32.1	38.2	43.6	51.9	59.2	67.5	91.6
1.33	29.4	35.0	40.0	47.6	54.2	61.9	84.0
1.50	27.3	32.4	37.0	44.0	50.2	57.3	77.8
1.67	25.5	30.3	34.6	41.1	46.9	53.5	72.7
1.83	23.9	28.5	32.5	38.7	44.1	50.3	68.3
2.00	22.6	26.9	30.7	36.5	41.7	47.5	64.6
2.17	21.5	25.5	29.1	34.7	39.6	45.1	61.3
2.33	20.5	24.3	27.8	33.1	37.7	43.0	58.4
2.50	19.6	23.3	26.6	31.6	36.1	41.1	55.8
2.67	18.8	22.3	25.5	30.3	34.6	39.4	53.5
2.83	18.0	21.5	24.5	29.1	33.2	37.9	51.5
3.00	17.4	20.7	23.6	28.1	32.0	36.5	49.6

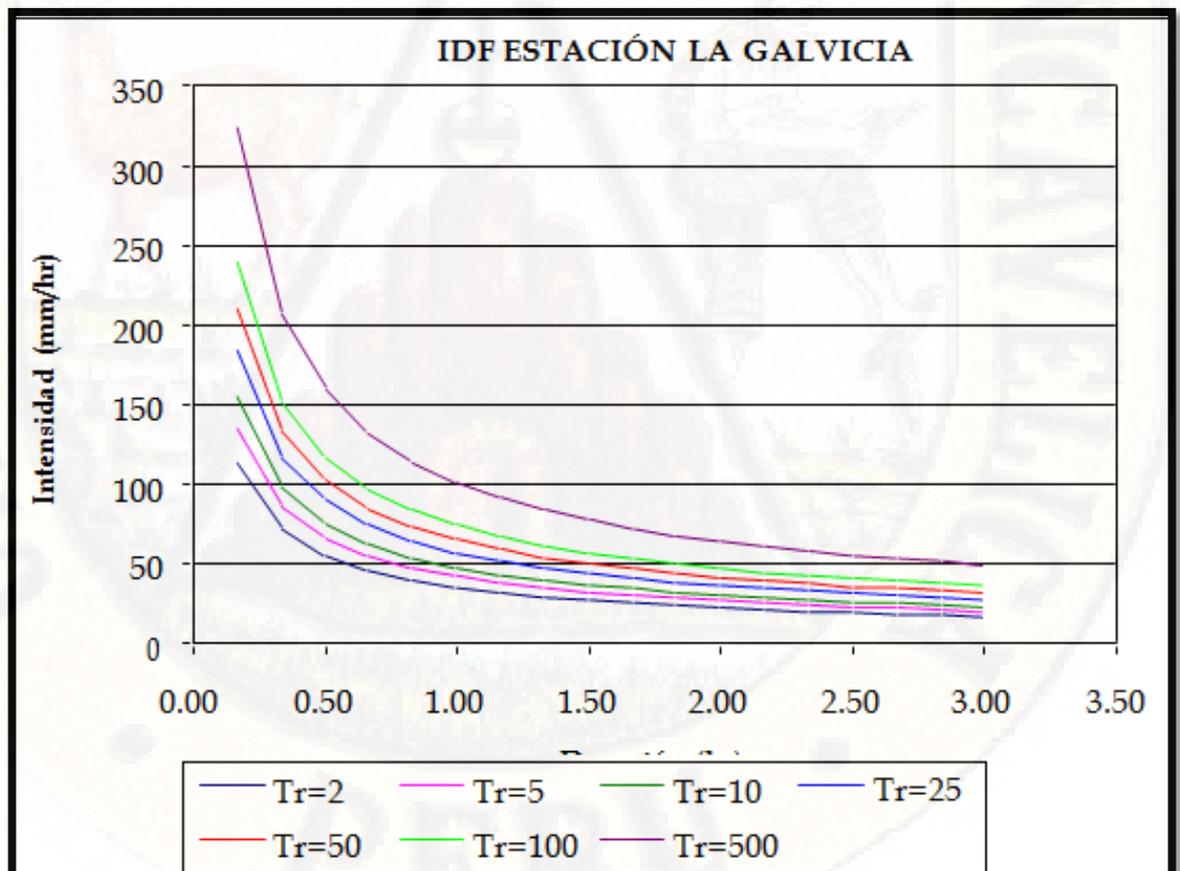


Figura 64. Curvas IDF – Estación La Galvicia, generadas por medio de los datos registrados.

Tabla 16. Datos para Curvas IDF – Estación Llano Grande.

Duración (hr)	Período de Retorno / Intensidades (mm/h)						
	2	5	10	25	50	100	500
0.17	129.8	154.5	176.3	209.8	239.3	273.0	370.7
0.33	82.7	98.5	112.3	133.7	152.5	174.0	236.2
0.50	63.6	75.7	86.3	102.7	117.2	133.7	181.5
0.67	52.7	62.8	71.6	85.2	97.2	110.9	150.6
0.83	45.6	54.3	61.9	73.7	84.1	95.9	130.2
1.00	40.5	48.2	55.0	65.5	74.7	85.2	115.7
1.17	36.7	43.6	49.8	59.2	67.6	77.1	104.6
1.33	33.6	40.0	45.6	54.3	61.9	70.7	95.9
1.50	31.1	37.0	42.3	50.3	57.4	65.5	88.9
1.67	29.1	34.6	39.5	47.0	53.6	61.1	83.0
1.83	27.3	32.5	37.1	44.2	50.4	57.5	78.0
2.00	25.8	30.7	35.1	41.7	47.6	54.3	73.7
2.17	24.5	29.2	33.3	39.6	45.2	51.5	70.0
2.33	23.4	27.8	31.7	37.7	43.1	49.1	66.7
2.50	22.3	26.6	30.3	36.1	41.2	47.0	63.8
2.67	21.4	25.5	29.1	34.6	39.5	45.0	61.1
2.83	20.6	24.5	28.0	33.3	38.0	43.3	58.8
3.00	19.8	23.6	26.9	32.1	36.6	41.7	56.6

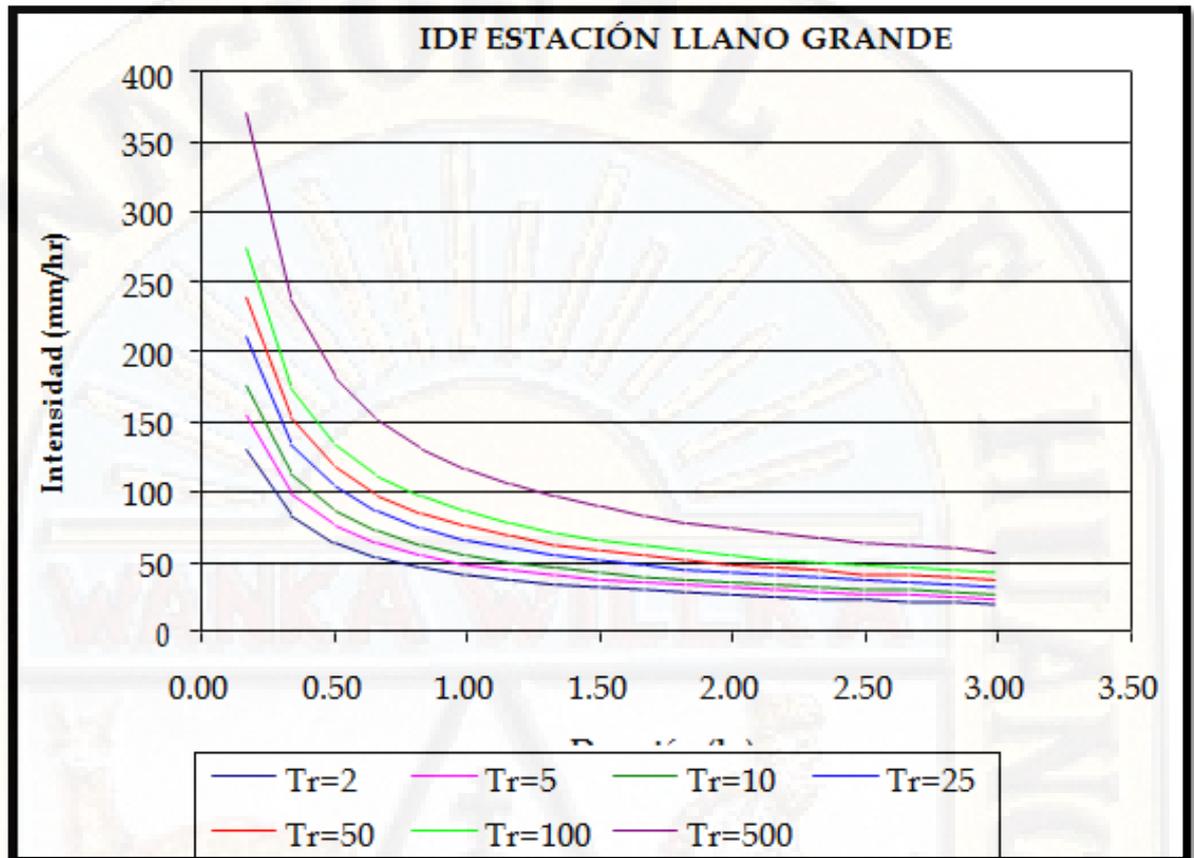


Figura 65. Curvas IDF – Estación Llano Grande, generadas por medio de los datos registrados.

### Tormenta de Diseño

Al generar una relación directa entre las Curvas IDF y tomando como duración total de tormenta (3) tres horas, de acuerdo con los resultados obtenidos por Arguello y Fuentes (2009) se obtuvieron los valores de precipitación en cada estación (Tabla 17).

Tabla 17. Precipitación Total para un Evento.

Estación	Precipitación total para un evento (mm)						
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
El Picacho	36.5	43.4	49.5	58.9	67.2	76.7	104.1
La Floresta	57.1	67.9	77.5	92.2	105.2	120.0	162.9
Bucaramanga	54.9	65.4	74.6	88.7	101.2	115.5	156.8
Piedecuesta	61.2	72.9	83.1	99.0	112.9	128.8	174.8
La Galvicia	52.1	62.0	70.8	84.2	96.1	109.6	148.8

Llano Grande	59.5	70.8	80.8	96.2	109.7	125.1	169.9
--------------	------	------	------	------	-------	-------	-------

Con estos valores de precipitación se realizaron interpolaciones para obtener los datos de precipitación en cada una de las subcuencas. Los datos de la precipitación total de la cuenca del río Frío son resumidos en la Tabla 18.

Tabla 18. Precipitación Total para un Evento – Cuenca río Frío.

Cuenca Rio Frio	Precipitación total para un evento (mm)						
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=500
	55.68	66.28	75.59	89.99	102.66	117.12	158.98

Luego, al utilizar la distribución de tormenta estimado por Arguello y Fuentes (2009) con una probabilidad del 90%, se calcularon los eventos de precipitación correspondientes a cada periodo de retorno (Figura 66).

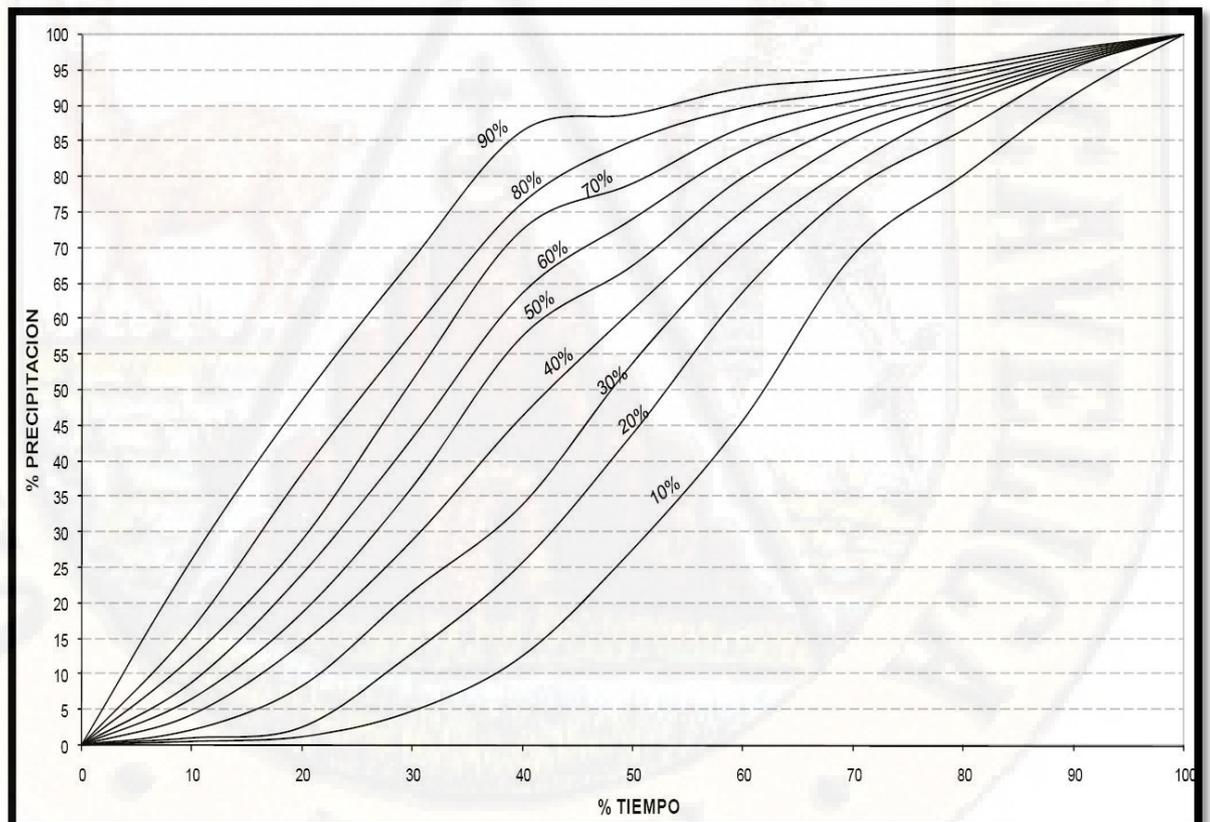


Figura 66. Distribución de Tormentas – Arguellos y Fuentes (2009).

#### 4.6.7 Simulación de Caudales con el modelo HEC – HMS

Los hidrogramas de caudal para una creciente en la Microcuenca se

determinaron con base en el modelo HEC – HMS del Hydrologic Engineering Center del U.S Army Corps Of Engineers de los Estados Unidos, el cual puede determinar dichos hidrogramas empleando diferentes metodologías de cálculo.

El modelo se diseña para simular la escorrentía superficial producto de una precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente modela un aspecto del proceso lluvia – escorrentía dentro de una subcuenca o subárea; dentro de los componentes se incluyen la escorrentía superficial de la subcuenca, los canales y los embalses.

- **Elemento subcuenca o subárea:** Para este elemento, se toman los datos meteorológicos (para el proyecto solamente se utilizó la lluvia), y se realiza el balance hídrico descontando las pérdidas de agua por infiltración, después se transforma el exceso de precipitación en escorrentía superficial con la posibilidad de trabajar con y sin flujo base.
- **Tramo del cauce o canal:** Esquematiza el comportamiento de un canal, con la posibilidad de recibir uno o varios flujos de entrada, dando lugar a un solo flujo de salida.
- **Nodos o Confluencias:** Reciben uno o varios flujos entrantes y dan lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, de esta manera se considera nula la variación del volumen almacenado en la misma; permitiendo representar la confluencia propiamente de ríos o canales, con posibilidad de obtener también flujos entrantes procedentes de subcuencas.

Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados del proceso

de modelación son los hidrogramas de escorrentía directa para varias subáreas y los hidrogramas de caudal en lugares predeterminados de la cuenca.

También es posible simular el comportamiento de salidas de flujo en el sistema de drenaje, como es el caso de los puntos donde se extrae caudal a partir de bombeo. Así mismo, el modelo es capaz de simular el comportamiento en tanques de almacenamiento.

#### **4.6.8 Caudales de Diseño**

En el Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del río Frío, se calculan los hidrogramas obtenidos para la totalidad de la Microcuenca Mensulí incluyendo los caudales correspondientes a cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años).

Como se puede observar en el hidrograma de la Figura 67, el río Frío en el área del proyecto puede llegar a descargar un caudal hasta de  $83.36 \text{ m}^3/\text{s}$  para un evento con un periodo de retorno de 500 años, así como un caudal de  $43.51 \text{ m}^3/\text{s}$  durante un evento creciente correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

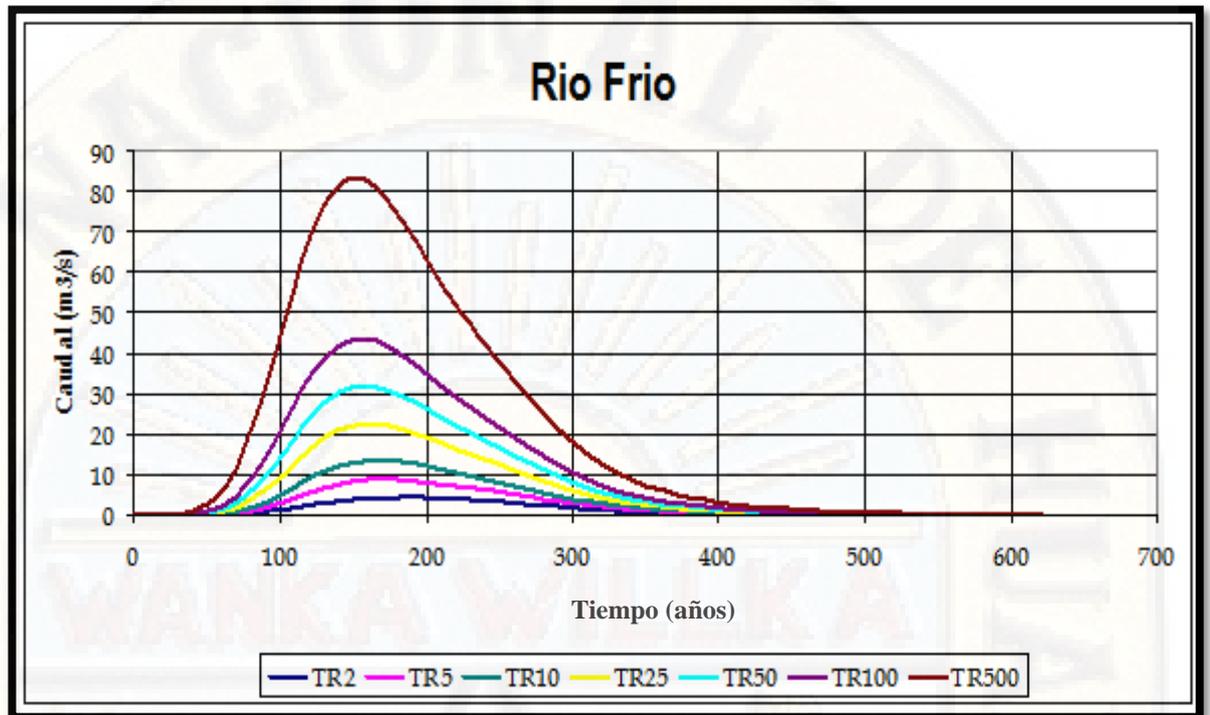


Figura 67. Hidrograma de Caudales, Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del río Frío.

De acuerdo al estudio de Zonificación realizado en el 2001 por la CDMB, con relación al plano (Figura 68), el lugar de estudio no presenta riesgo de amenaza por este tipo de fenómeno, la zona de aislamiento geotécnico por inundación que acorde a la Norma geotécnica de la CDMB de 2009, es igual a 30 m tomados a partir del límite de inundación para el periodo de retorno de 500 años, representado con una línea de color rojo, delimitando esta distancia el lugar donde se encuentra implantado el actual muro de contención; debido a esto no es necesario tomar medidas de mitigación por inundación para el sector del barrio Los Nogales del municipio de Floridablanca.

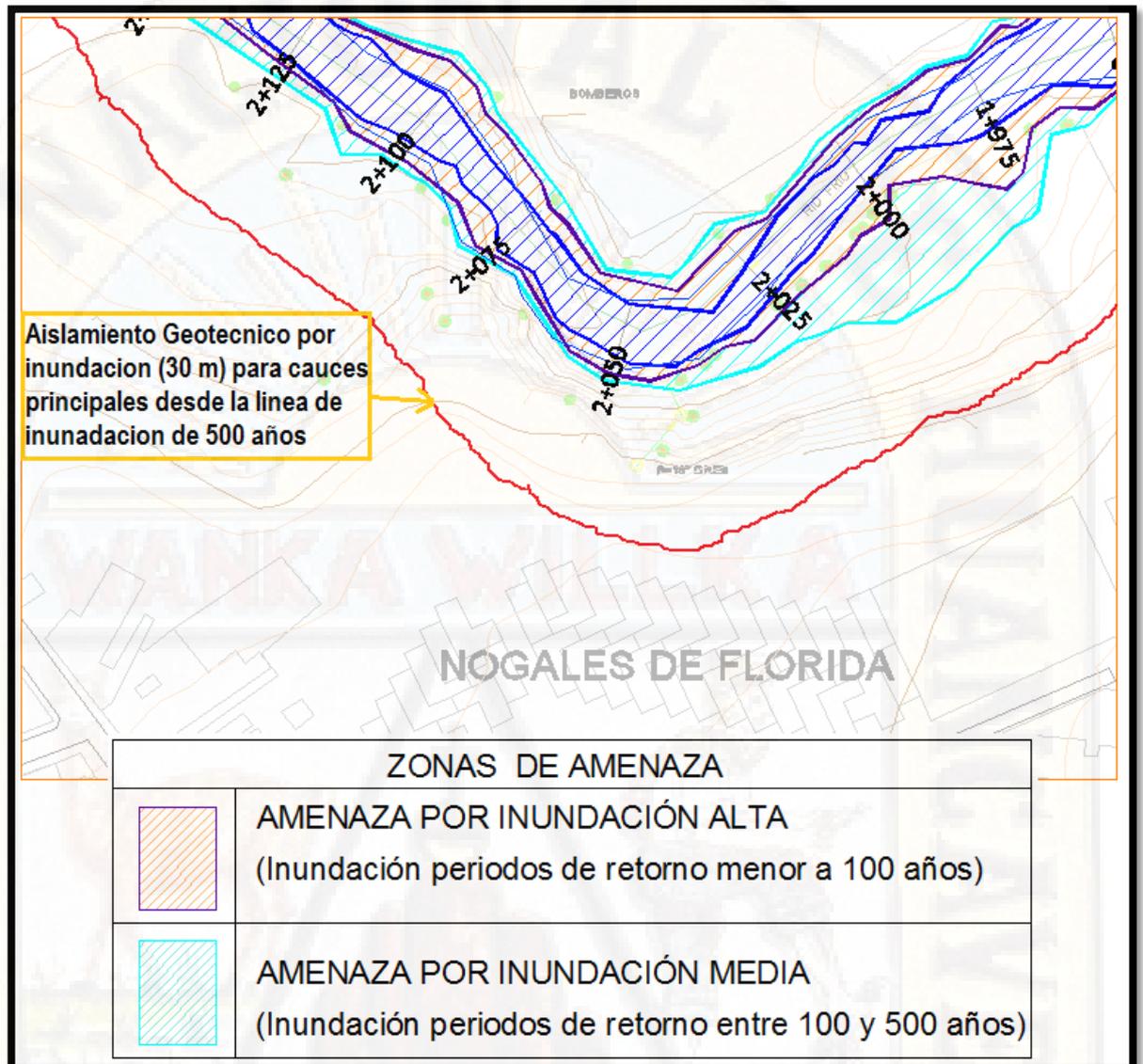


Figura 68. Resultado de la amenaza por inundación del río Frío. Fuente: Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del río Frío, 2011.

#### 4.6.9 Dimensionamiento del manejo de Aguas Superficiales

Para el cálculo del dimensionamiento se utiliza la siguiente ecuación conocida como el método racional:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

De esta forma se puede reemplazar las variables  $C= 0.7$ ,  $I= 80 \text{ mm/h}$  y  $A= 3402 \text{ m}^2$ . Generando el siguiente resultado (Figura 69 y 70):

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} = 52.9 \text{ litros/seg}$$

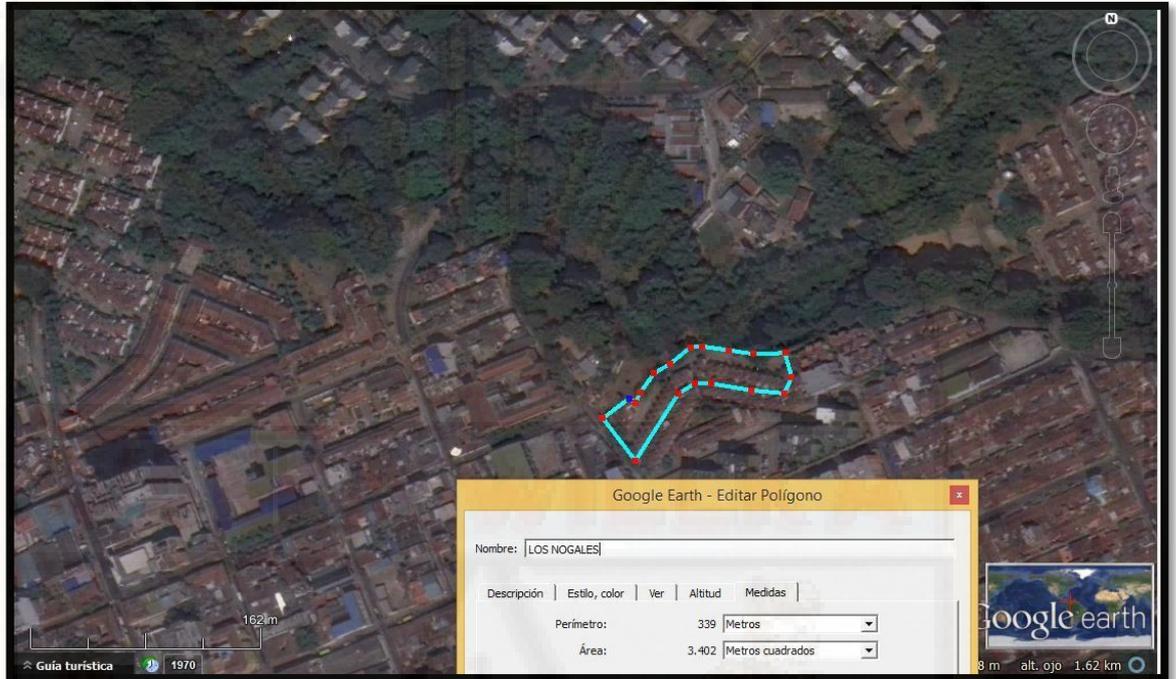


Figura 69. Área de aporte a las obras de manejo de agua superficial del sector

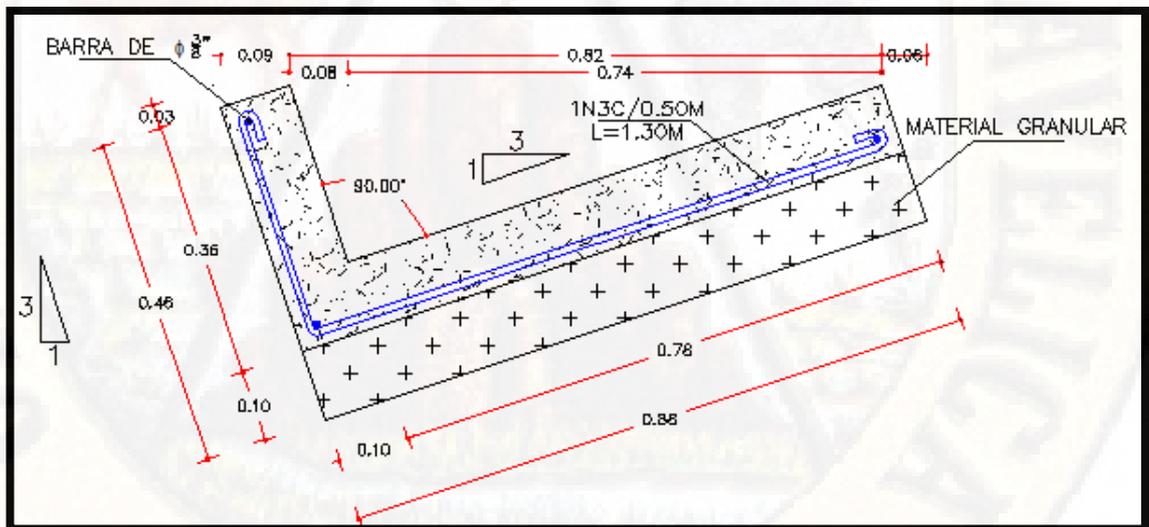


Figura 70. Sección, proyección de canaleta.

Variables para el dimensionamiento de cunetas:

- **Coefficiente de rugosidad:** Es un valor determinado referente al acabado de las paredes de los canales, canaletas, disipadores o

tuberías; por lo cual es dependiente del material utilizado en la construcción, Manning define este coeficiente por medio de la Tabla 19.

Tabla 19. Parámetros para el coeficiente de rugosidad. Tomado de S.M Woodward & C. J Posey en *Hydraulics of steady flow in open channels*, 1941.

<b>Coeficiente de Rugosidad "n" de Manning</b>	
<b>Corrientes Naturales</b>	<b>Número de Manning</b>
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,20001
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,2001
<b>Cunetas y canales revestidos</b>	<b>Numero de Manning</b>
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
<b>Cunetas y canales sin revestir</b>	<b>Numero de Manning</b>
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045

Para el caso del proyecto del barrio Los Nogales se utiliza como coeficiente  $n$  de Manning el valor de 0.015 que corresponde a cunetas revestidas de hormigón.

- **Talud (Z):** Para el proyecto se considera de 1 considerando que el ingreso de agua sea de  $45^\circ$  por los costados laterales.
- **Ancho de Solera (B):** En el ancho de la solera se tomará el valor de 0 cm de tal manera que se genere un canal triangular.
- **Pendiente:** Es acoplada con base al terreno, como es definida la cuneta de captación de zona específica, será construida acorde con el Manual de Drenaje para carreteras del INVIAS (Figura 71).

**Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular**

Lugar: **LOS NOGALES** Proyecto: **NUEVE SITIOS CRITICOS**  
Tramo: **OBRAS DE ESTABILIZACION** Revestimiento: **CONCRETO**

**Datos:**

Caudal (Q):	<b>0.052</b>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	<b>0</b>	m
Talud (Z):	<b>1</b>	
Rugosidad (n):	<b>0.015</b>	
Pendiente (S):	<b>0.01</b>	m/m

**Resultados:**

Tirante normal (y):	<b>0.2101</b>	m	Perímetro (p):	<b>0.5942</b>	m
Área hidráulica (A):	<b>0.0441</b>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<b>0.0743</b>	m
Espejo de agua (T):	<b>0.4202</b>	m	Velocidad (v):	<b>1.1780</b>	m/s
Número de Froude (F):	<b>1.1605</b>		Energía específica (E):	<b>0.2808</b>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<b>Supercrítico</b>				

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Ejecuta las operaciones 5:17 p. m. 26/09/2015

Figura 71. Capacidad hidráulica, canaleta proyectada.

Del modelamiento podemos concluir que la sección propuesta es adecuada con el caudal determinado para un periodo de retorno de 100 años, la lámina de agua llegó a 21 cm, el espejo de agua esperado es de 42 cm; estos parámetros son inferiores a los de la sección diseñada.

## 4.7 Caracterización Geotécnica

Como método guía para el manejo de la caracterización geotécnica se acoge para el proyecto una aproximación semi – empírica, la caracterización posee un componente altamente empírico y sujeto, dado por el juicio de los especialistas para establecer el tipo de parámetros a considerar en ella; los rangos de variación de estos y el método de combinación de estos. Los valores cuantitativos, sin embargo, serán obtenidos de los diferentes ensayos de exploración de campo, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos realizados durante el transcurso del proyecto, INGEOMINAS – DAGMA (2005).

El proceso metodológico general se puede ver ilustrado en la Figura 72, donde se compone de una sola actividad, la caracterización resultará de la investigación que sea ejecutada en el subsuelo con base a métodos directos e indirectos (geofísica).

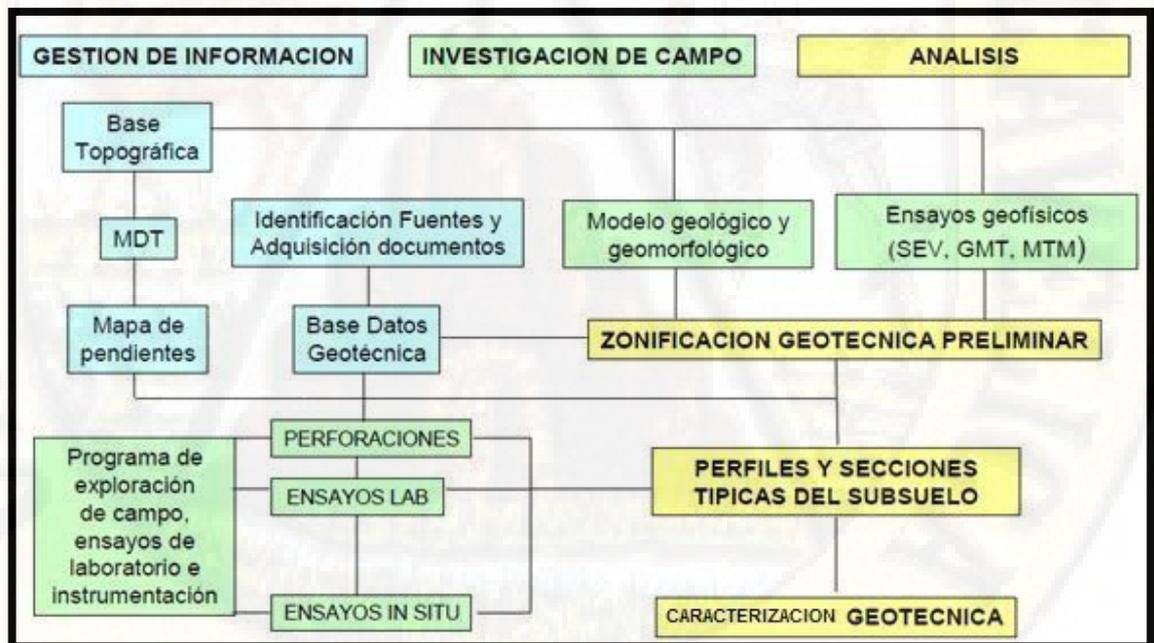


Figura 72. Esquema metodológico general para la caracterización geotécnica. INGEOMINAS – DAGMA, 2005.

### Exploración Geotécnica

Las exploraciones realizadas en el área del proyecto fueron ejecutadas por

JC Laboratorios y Geotecnia, para ello se planteó una investigación compuesta por cinco sondeos, realizados de la siguiente manera (Figura 73):

- Dos perforaciones ha roto-precisión de 10 m y 15 m de profundidad, localizados sobre la vía del barrio Los Nogales, el sondeo más largo se ubicó en la zona más cercana al muro de contención y el otro sondeo ubicado en la zona límite entre el suelo natural y la falla por asentamiento que se presenta en la actualidad.
- Dos perforaciones a SPT de 8 m cada uno, cerca de la zona al pie del muro actual, sobre la superficie correspondiente al talud.
- Una perforación en el pie del talud, localizada muy cerca de la orilla del río Frío, el cual tiene una profundidad de 5 m (Tabla 20).

Tabla 20. Coordenadas de los sondeos exploratorios. Fuente: Trabajo de campo.

<b>COORDENADAS</b>		
<b>SONDEOS</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
<b>1</b>	<b>1273111</b>	<b>1109892</b>
<b>2</b>	<b>1273111</b>	<b>1109910</b>
<b>3</b>	<b>1273115</b>	<b>1109890</b>
<b>4</b>	<b>1273118</b>	<b>1109885</b>
<b>5</b>	<b>1273124</b>	<b>1109898</b>
<b>Apique 1</b>	<b>1273112</b>	<b>1109900</b>

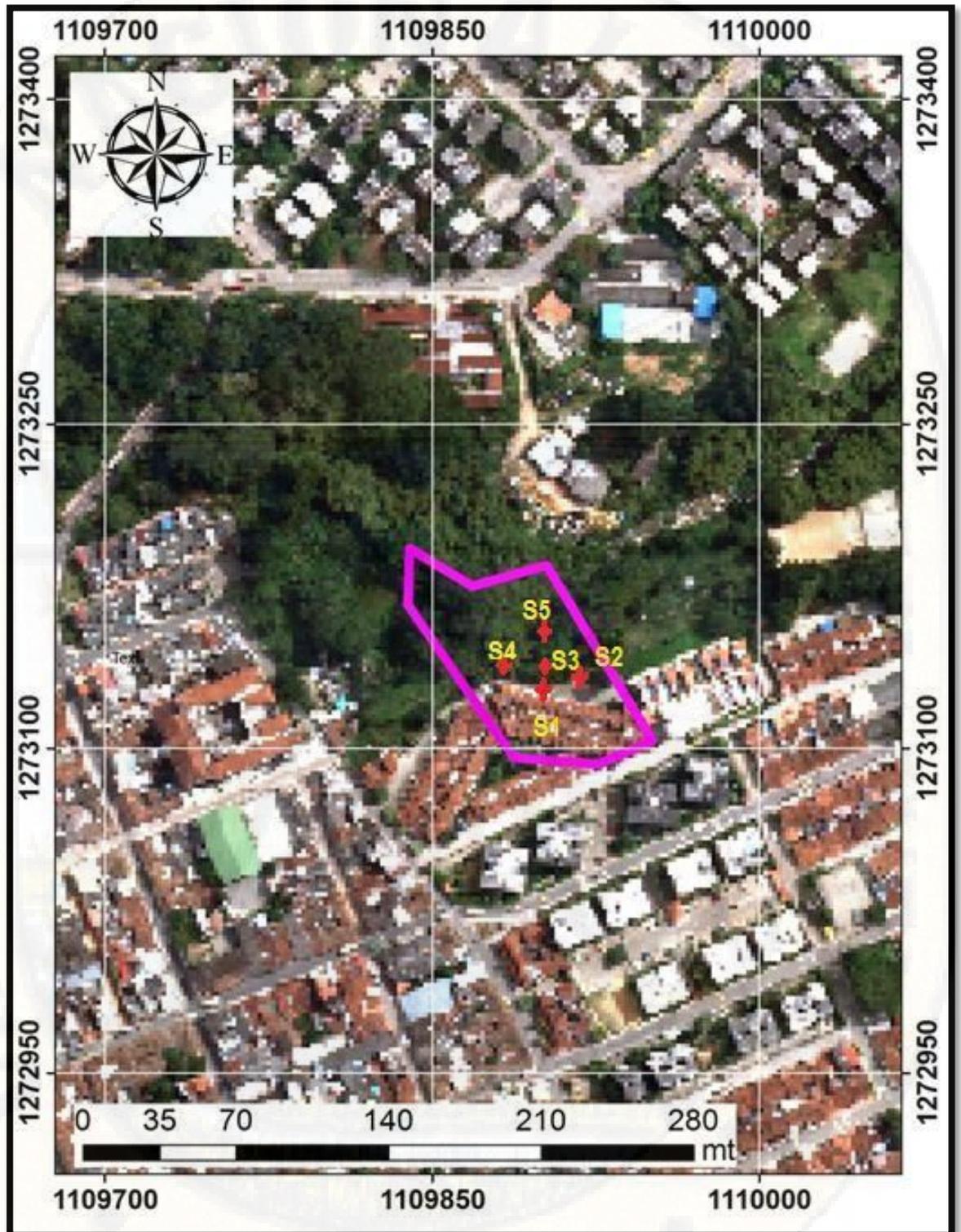


Figura 73. Localización de los sondeos exploratorios. Fuente: Propia.  
 Para determinar la localización de los sondeos mencionados anteriormente, se necesitó el análisis y observación de los siguientes factores:

- Fácil acceso al lugar de exploración.

- Cercanía de servicio de agua para la refrigeración durante la perforación.
- Cercanía a bordes de lomos y escarpes.
- Zonas ubicadas en el pie de taludes.
- Lugares de contacto de unidades geológicas superficiales.
- Áreas donde se pueda evidenciar afectación por procesos erosivos superficiales o posibles fenómenos de remoción en masa.

Para las perforaciones se utilizó por parte de la empresa prestadora de los servicios los siguientes equipos:

- Equipo de perforación marca PETTY, motor diesel Ruggerini 24 HP.
- Motobomba para el tratamiento de lodos.
- 30 metros de tubería BW-AW.
- Torre de perforación (trípode)
- Pesa de 140 libras y un contrapeso.
- Dos diferenciales para extraer los núcleos.
- 10 metros de tubería de perforación AW.
- 3 muestreadores de cuchara partida estándar (Split spoon) y lazo.
- Llaves de tubo de 24" y 36".
- Muestreador de pared delgada U-100.
- Barrena con broca en tricono diamantada.

Durante la exploración mecánica efectuada, se recolecta una serie de muestras para aplicar ensayos de laboratorio, para los sondeos de 10 y 15 metros respectivamente se extrajeron 3 muestras; para los sondeos 3 y 4 de 8 metros cada uno, se analizaron dos muestras y para el sondeo 5 de 5 metros de profundidad se realizó el levantamiento de una sola muestra.

En las fotografías registradas a continuación se puede observar los levantamientos realizados en cada perforación durante la fase de campo (Figura 74 a la 79).





Figura 75. Registro del sondeo 2 con una profundidad de 10 metros. Fuente: Propia.



Figura 76. Registro del sondeo 3 con una profundidad de 8 metros. Fuente: Propia.



Figura 77. Registro del sondeo 4 con una profundidad de 8 metros. Fuente: Propia.



Figura 78. Registro del sondeo 5 con una profundidad aproximada de 5 metros. Fuente: Propia.



Figura 79. Registro del apique 1 con una profundidad de 2 metros. Fuente: Propia.

La exploración de campo permitió la recolección de la información, donde se generaron los siguientes informes (Tablas 21 a la 25):

Tabla 21. Características del sondeo 1, litologías y comportamiento físico del suelo.

PROFUNDIDAD (m)		PERFIL DEL SUELO		No. GOLPES			N	CLASIFICACION Y HUMEDAD		DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES	
				6"	12"	18"		USCS	% w		
				MECANICO							
0.0	0.5			7.0	5.0	3.0	8.0	CL	7.7	Limo arenoso arcilloso color marrón claro.	
0.5	1.0			3.0	4.0	4.0	8.0				
1.0	1.5			5.0	3.0	5.0	8.0				
1.5	2.0			8.0	10.0	10.0	20.0				
2.0	2.5			10.0	7.0	7.0	14.0				
2.5	3.0			11.0	11.0	8.0	19.0				
3.0	3.5			6.0	5.0	3.0	8.0				
3.5	4.0			4.0	3.0	3.0	6.0				
4.0	4.5			5.0	5.0	7.0	12.0				
4.5	5.0			8.0	8.0	8.0	16.0				
5.0	5.5			5.0	5.0	7.0	12.0				
5.5	6.0			6.0	5.0	5.0	10.0				
6.0	6.5			8	10	TRICONO	10	SC	15.1	Tricono: Material lavado arenoso.	
6.5	7.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
7.0	7.5			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
7.5	8.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
8.0	8.5			7	8	8	16				
8.5	9.0			9	10	19	29				
9.0	9.5			20	19	19	38				
9.5	10.0			19	19	32	51				
10.0	10.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
10.5	11.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
11.0	11.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
11.5	12.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
12.0	12.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
12.5	13.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
13.0	13.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
13.5	14.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
14.0	14.0			16	19	22	41				
14.5	15.0			36	38	41	79				
								SM	13.2	Tricono: Material lavado arenoso.	
											Arena, grava gruesa y gravas de color blanco.
										Fin del Sondeo	TR: TRICONO

Tabla 22. Características del sondeo 2, componentes físicos y comportamiento mecánico del suelo.

PROFUNDIDAD (m)		PERFIL DEL SUELO		No. GOLPES			N	CLASIFICACION Y HUMEDAD		DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES	
				6"	12"	18"		USCS	% w		
				MECÁNICO			KPa		(*)		
0.0	0.5			6	3	4	7.0	SM	4.6	Material orgánico.	
0.5	1.0			5	5	3	8.0			Limo arcilloso arenoso color marrón oscuro.	
1.0	1.5			3	3	1	4.0			Arena gruesa color marrón claro.	
1.5	2.0			1	1	3	4.0			Limo rojizo.	
2.0	2.5			34	23	23	46.0		SC	3.6	Fragmento de roca blanca caliza, material limo marrón claro.
2.5	3.0			16	15	19	34.0				Limo arenoso arcilloso color amarillo
3.0	3.5			29	20	19	39.0				
3.5	4.0			20	22	20	42.0				
4.0	4.5			25	13	33	46.0				
4.5	5.0			24	25	17	42.0				
5.0	5.5			15	16	15	31.0	SM-SC	4.8	Tricono: Material lavado arenoso.	
5.5	6.0			15	16	20	36.0				
6.0	6.5			15	16	19	35.0				
6.5	7.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
7.0	7.5			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
7.5	8.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
8.0	8.5			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
8.5	9.0			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
9.0	9.5			TRICONO	TRICONO	TRICONO	TRICONO				
9.5	10.			15	11	45	56.0			Arenisca color blanco.	
										Fin del Sondeo	TR: TRICONO

Tabla 23. Características del sondeo 3, componentes físicos y comportamiento mecánico del suelo.

PROFUNDIDAD (m)		PERFIL DEL SUELO		No. GOLPES			N	CLASIFICACION Y HUMEDAD		DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES	
				6"	12"	18"		USCS	% w		
				MECÁNICO			KPa		(*)		
0.0	0.5			3	2	2	4.0	CL	7.4	Capa de suelo y pasto.	
0.5	1.0			2	3	1	4.0				
1.0	1.5			4	1	3	4.0				
1.5	2.0			5	4	4	8.0				
2.0	2.5			4	3	3	6.0		SM	10.3	Material de suelosuelto y desechos de construcción.
2.5	3.0			3	3	2	5.0				Limo y arena fina amarillo rojizo.
3.0	3.5			3	5	4	9.0				
3.5	4.0			7	4	8	12.0				
4.0	4.5			12	8	8	16.0				
4.5	5.0			14	8	8	16.0				
5.0	5.5			13	15	16	31.0				
5.5	6.0			15	19	20	39.0				
6.0	6.5			19	23	24	47.0				
6.5	7.0			21	19	22	41.0				
7.0	7.5			17	25	21	46.0				
7.5	8.0			23	24	22	46.0				
										Fin del Sondeo	TR: TRICONO

Tabla 24. Características del sondeo 4, componentes litológicos y comportamiento mecánico del suelo.

PROFUNDIDAD (m)		PERFIL DEL SUELO		No. GOLPES			N	CLASIFICACION Y HUMEDAD USC % w	DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES
				6"	12"	18"			
				MECANICO			KPa	(*)	
0.0	0.5			2	1	4	5.0	SC 8.7	Capa de pasto y suelo suelto.
0.5	1.0			1	3	3	6.0		
1.0	1.5			4	4	2	6.0		
1.5	2.0			3	2	3	5.0		
2.0	2.5			2	2	4	6.0		Desechos de construcción.
2.5	3.0			4	3	3	6.0		
3.0	3.5			4	4	4	8.0		
3.5	4.0			3	5	3	8.0		
4.0	4.5			5	3	5	8.0	SC 5.9	Arena y limo amarillo, naranja y rojizo.
4.5	5.0			4	5	4	9.0		
5.0	5.5			14	16	17	33.0		Arena, limo y arcilla amarilla con franjas rojizas, naranjas y fragmentos de roca y grava amarilla.
5.5	6.0			17	13	19	32.0		
6.0	6.5			19	17	21	38.0		
6.5	7.0			23	21	20	41.0		
7.0	7.5			24	25	22	47.0		
7.5	8.0			22	24	23	47.0		
								Fin del Sondeo	TR: TRICONO

Tabla 25. Características del sondeo 5, componentes físicos y comportamiento mecánico del suelo.

PROFUNDIDAD (m)		PERFIL DEL SUELO		No. GOLPES			N	CLASIFICACION Y HUMEDAD USC % w	DESCRIPCION DE LOS SUELOS Y OBSERVACIONES
				6"	12"	18"			
				MECANICO			KPa	(*)	
0.0	0.5			2	3	2	5.0	SM 7.0	Depósito de escombros con residuos de construcción y arena suelta.
0.5	1.0			3	3	2	5.0		
1.0	1.5			4	4	3	7.0		
1.5	2.0			3	2	2	4.0		
2.0	2.5			3	2	4	6.0		
2.5	3.0			6	11	15	26.0		
3.0	3.5			15	15	13	28.0		Arena limosa amarilla clara y arena fina con niveles de oxidación con fluctuación.
3.5	4.0			20	26	33	59.0		
4.0	4.5			R			R		
								Fin del Sondeo	R: Rechazo

### Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas durante los diferentes métodos de recolección son inventariadas y catalogadas; luego se seleccionan las muestras representativas para ser enviadas al laboratorio, donde se solicita realizar

ensayos de granulometría, límites de consistencia y humedad natural (Tabla 26).

Tabla 26. Listado de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas en campo.

ENSAYO	NORMA	No DE ENSAYOS
Granulometría.	NTC 77; ASTM D421 -58	11
Contenido de Humedad.	NTC 1495; ASTM D 2216	11
Límite Plástico e Índice de Plasticidad.	NTC 1493; ASTM D 4318	11
Límite Líquido.	NTC 1494; ASTM D 4318	11
Clasificación.	NTC 1504; ASTM D 2487	11
Peso unitario.	INV-E 217-12	11
Gravedad específica.	NTC 237	11
Compresión Inconfinada.	ASTM 2166 - 66	3
Corte Directo.	INV-154; ASTM D3080	4

A continuación, se enseñarán los resúmenes de todos los resultados verificados mediante los ensayos de laboratorio (Tabla 27 a la 31). El procedimiento y la descripción detallada de cada uno de los ensayos se encuentran dentro de la carpeta de Anexos (Anexo A).

Tabla 27. Ensayo de laboratorio en las muestras del sondeo 1.

SON DEO	PROFUNDIDAD		% Wn	% w	% w	%L C	%l P	%l L	% G	% S	% F	U S	PU (g/c m <sup>3</sup> )	G s	q u (kcal/c)	E (Kg/c m <sup>2</sup> )	Φ (°)	C (Kg/c m <sup>2</sup> )	Y (g/c m <sup>3</sup> )
	AD (m)																		
	0	0.																	
	0	1.																	
	1	1.																	
	1	2.																	
	2	2.																	
	2	3.																	
	3	3.																	
	3	4.																	
	4	4.															2	0.	1
	4	5.																	
	5	5.																	
	5	6.																	
	6	6.	7.	3	1	5.	1	-	1.	4	5	C	1	2	2	42			
	6	7.																	

1	7	7.																		
	7	8.																		
	8	8.																		
	9	9.																		
	9	1	15	3	1	6.	1	-	0.	5	4	S	1	2						
	1	1																		
	1	1																		
	1	1																		
	1	1																		
	1	1																		
	1	1																		
	1	1																		
	1	1	13	3	2	10	6.	-	1.	7	2	S								

Tabla 28. Ensayo de laboratorio en las muestras del sondeo 2.

SOND EO	PROFUNDIDA D (m)		% Wn	%w LL	%w LP	%L C	%l P	%l L	%G	%S	%F	US CS	PU (g/c m <sup>3</sup> )	Gs	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/c m <sup>3</sup> )	Φ (°)	C (Kg/c m <sup>3</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )	
2	0	0																		
	0	1																		
	1	1																		
	1	2																		
	2	2																		
	2	3																		
	3	3																		
	3	4	4	3	2	1	6	-	0	6	3	S	1	2						
	4	4																		
	4	5																		
	5	5																		
	5	6																		
	6	6	3	3	2	8	9	-	1	4	3	S	1		2	2	2	0	1	
	6	7																		
	7	7																		
	7	8																		
	8	8																		
8	9																			
9	9																			
9	9																			
9	1	4	2	2	8	6	-	0	7	2	S		2							

Tabla 29. Ensayo de laboratorio en las muestras del sondeo 3.

SOND EO	PROFUNDIDA D (m)		% Wn	%w LL	%w LP	%L C	%l P	%l L	%G	%S	%F	US CS	PU (g/c m <sup>3</sup> )	Gs	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/c m <sup>3</sup> )	Φ (°)	C (Kg/c m <sup>3</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )	
3	0	0																		
	0	1																		
	1	1																		
	1	2																		
	2	2															1	0.2	1	
	2	3																		
	3	3																		
	3	4	7	3	1	5	1	-	2	4	5	C								
	4	4																		
	4	5																		
	5	5																		
	5	6																		
	6	6																		
6	7																			
7	7																			
7	8	1	3	2	1	5.	-	2	5	4	S									

Tabla 30. Ensayo de laboratorio en las muestras del sondeo 4.

SOND EO	PROFUNDIDA D (m)		% Wn	%w LL	%w LP	%L C	%l P	%l L	%G	%S	%F	US CS	PU (g/c m <sup>3</sup> )	Gs	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/c m <sup>3</sup> )	Φ (°)	C (Kg/c m <sup>3</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )
	0.0	0.5																	
	0.5	1.0																	
	1	1.5																	
	1.5	2.0																	
	2	2.5																	
	2.5	3.0																	

4	3	3.5																	
	3.5	4.0	8.	34	18	6.	15	-	0.	62	36	S	1.8	2.					
	4	4.5																	
	4.5	5.0																	
	5	5.5																	
	5.5	6.0																	
	6	6.5																	
	6.5	7.0																	
	7	7.5																	
	7.5	8.0	5.	27	18	7.	8.	-	0.	62	36	S							

Tabla 31. Ensayo de laboratorio en las muestras del sondeo 5.

SONDEO	PROFUNDIDAD D (m)		% Wn	%w LL	%w LP	%L C	%I P	%I L	%G	%S	%F	US CS	PU (g/c m <sup>3</sup> )	Gs	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/c m <sup>2</sup> )	Φ (°)	C (Kg/c m <sup>2</sup> )	Y (g/cm <sup>3</sup> )
	5	0.0	0.5																
0.5		1.0															28.1	0.2	1.9
1		1.5																	
1.5		2.0																	
2		2.5																	
2.5		3.0																	
3		3.5																	
3.5		4.0																	
4		4.5	7	31	24	10	7.	-	0.	65	33	S	1.9	2.	2.9	56.5			

#### Análisis de ensayos de laboratorio

Los suelos presentes dentro del proyecto del barrio Los Nogales, presentan una composición granulométrica con mayor contenido de material granular del tipo arena, caracterizado por su bajo contenido de material gravoso (Figura 80), aunque en algunos estratos superficiales se pueden ver asociados a material de relleno, su diferencia con la base de material fino es insignificante, es decir, los porcentajes entre materiales finos y arenas son muy similares, no es posible observar una gran diferencia.

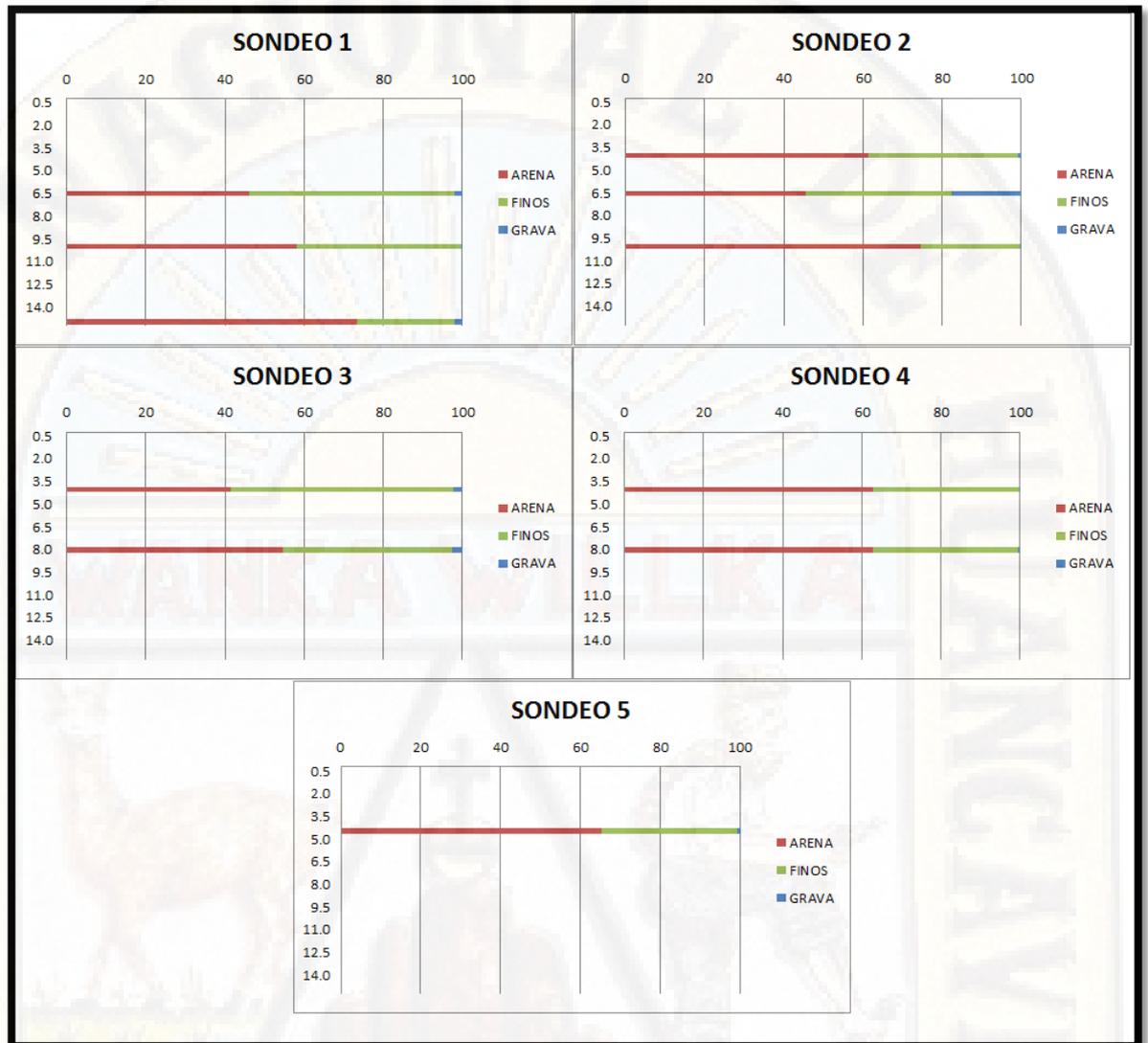


Figura 80. Resultados de los análisis granulométricos de los sondeos 1-5.

Por otro lado, los suelos en el área del proyecto se encuentran en un estado sólido para las muestras correspondientes al material aluvial propia de la zona, mientras el suelo delimitado como relleno presenta un estado semisólido, acompañado por el bajo valor registrado en el número de golpes como evidencia de la afirmación; de esta manera se puede identificar la poca consolidación presente dentro de este material.

Para la fracción fina analizada dentro del ensayo del límite líquido e índice de plasticidad de las muestras recolectadas en los diferentes sondeos, se puede definir las propiedades arcillosas y limosas del material (Figura 81), el

suelo correspondiente bajo la superficie del proyecto pertenece a arenas con predominio limoso y arcilloso de baja plasticidad, con un índice plástico inferior a 20% y un límite líquido menor a 40%; para el material de relleno se encuentra clasificado como suelos arcillosos, variando desde suelo arenarcilloso o areno-limoso; mientras que los suelos propios de la zona poseen una predominancia del tipo suelo arenoso con porcentajes considerables arcillosos o limosos (Figura 82).

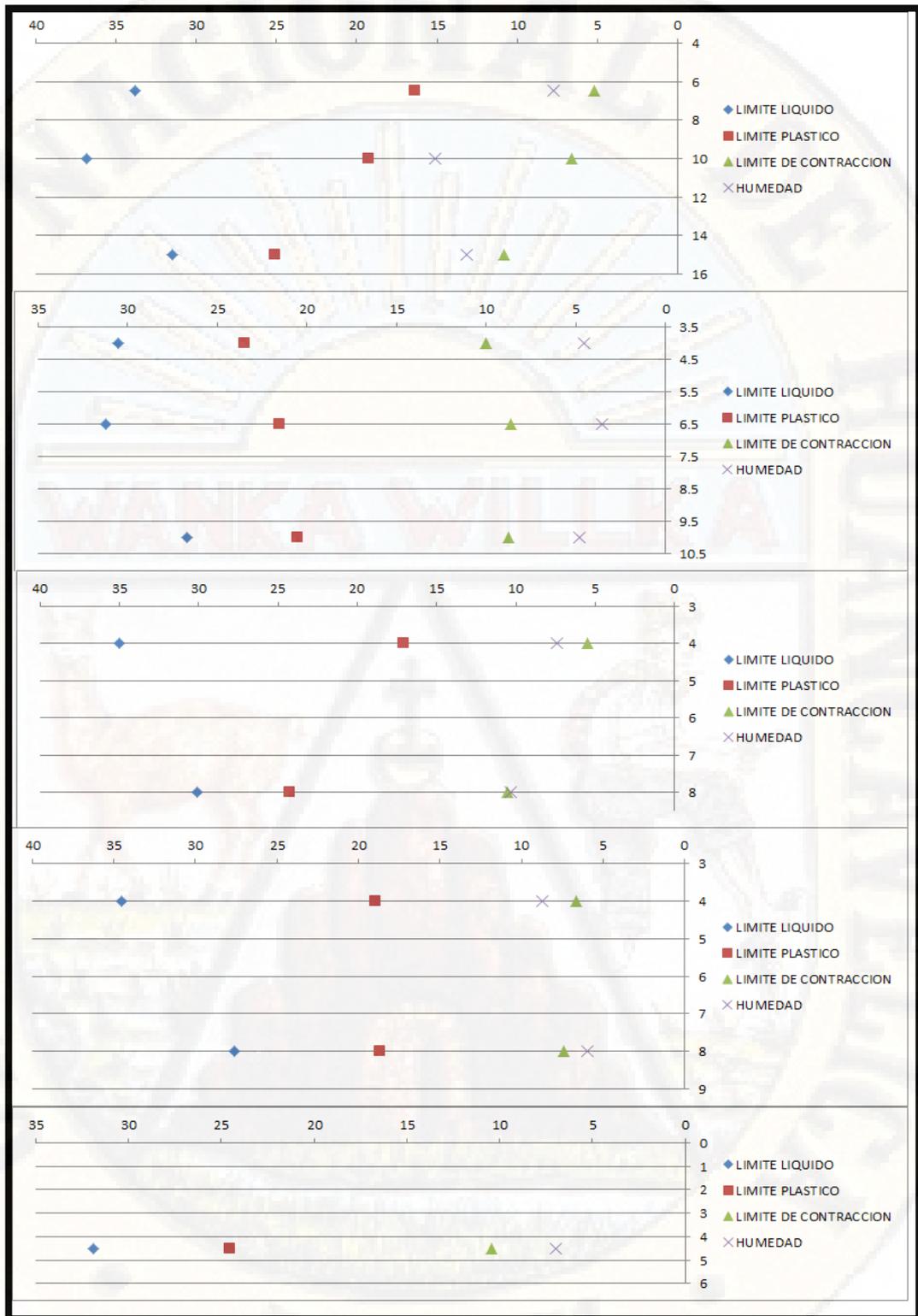


Figura 81. Estado del suelo (límites de consistencia de los suelos de los sondeos 1- 5).

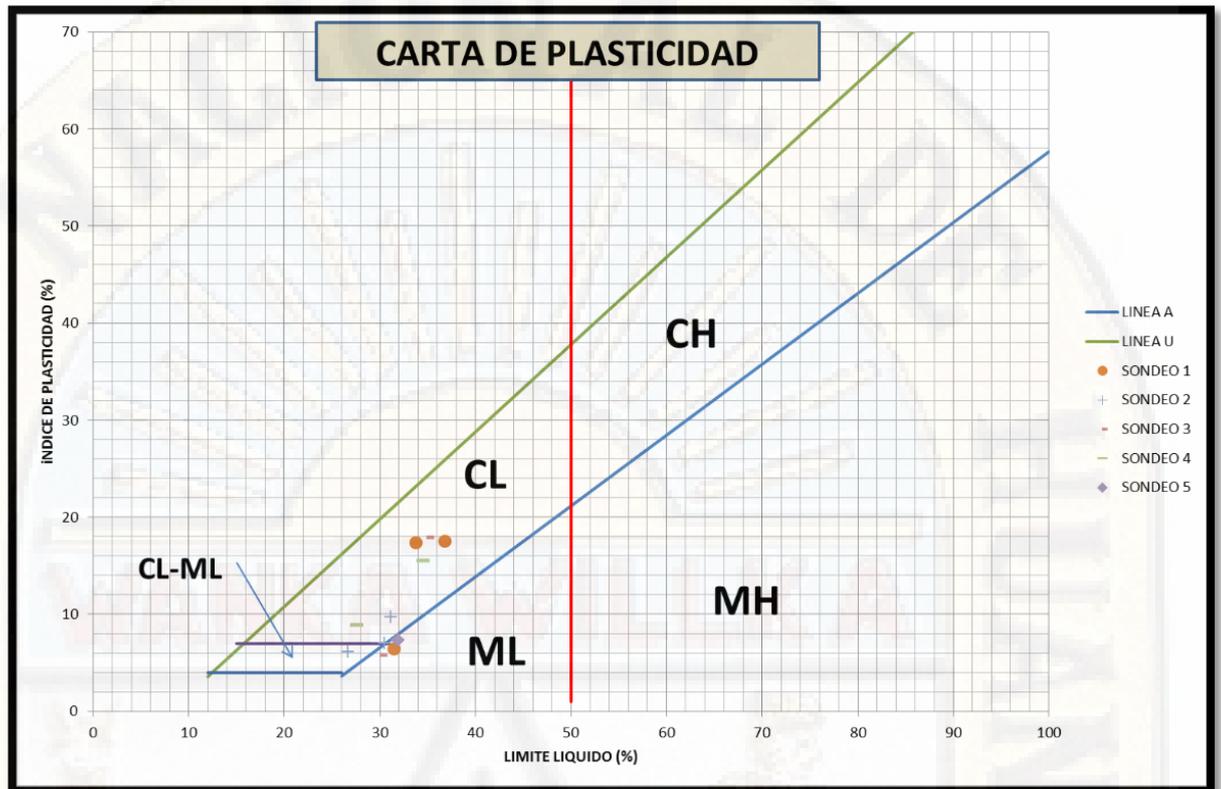


Figura 82. Carta de plasticidad, marcando las propiedades físicas de cada muestra de los sondeos 1-5.

Para el ensayo de corte directo, dependiendo de la profundidad se puede observar un aumento en el ángulo de fricción del suelo mientras los valores de cohesión aumentan hacia la superficie del terreno. Así mismo, los ángulos de fricción se sitúan entre  $10^\circ$  a  $30^\circ$  en el área de los rellenos, con una cohesión que se encuentra entre  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  a  $0,25 \text{ kg/cm}^2$ ; mientras para el suelo propio del sitio del barrio Los Nogales se identifica un ángulo de fricción de  $25^\circ$  y la cohesión de  $0,18 \text{ kg/cm}^2$  (Figura 83).

#### 4.8 Sismología

En el desarrollo del proyecto, se analizaron condiciones especiales del subsuelo, entre los que se pueden enumerar parámetros base para el análisis de estabilidad pseudo – estático que será explicado más adelante. Para el análisis es fundamental el conocimiento de la norma aplicada para los cálculos de las variables, el conocimiento de las condiciones actuales del

terreno y los antecedentes del área en que se encuentra el proyecto del barrio Los Nogales.

#### Amenaza sísmica según la Norma Sismo Resistente (NSR-10)

Según las Normas Colombianas de Diseño y Construcciones Sismo Resistente (NSR-10) el municipio de Bucaramanga se encuentra ubicado en la región 5. Definiendo para esta región valores de  $A_a$  por medio del mapa brindado por la norma (Figura 83), el mapa de valores de  $A_v$  (Figura 84) y la Tabla 32 con los niveles de amenaza sísmica según los valores de  $A_a$  y de  $A_v$ . Por medio de la Tabla 32 se pueden ubicar las zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NSR-10 en función de  $A_a$  y  $A_v$  (Figura 85), catalogando a Bucaramanga en amenaza sísmica alta. Los valores de  $A_a$  es equivalente al coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño y  $A_v$  es igual al coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño. Por otro lado, los parámetros de  $A_e$  como el coeficiente que representa la aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada y  $A_d$  como el coeficiente de umbral de daño.

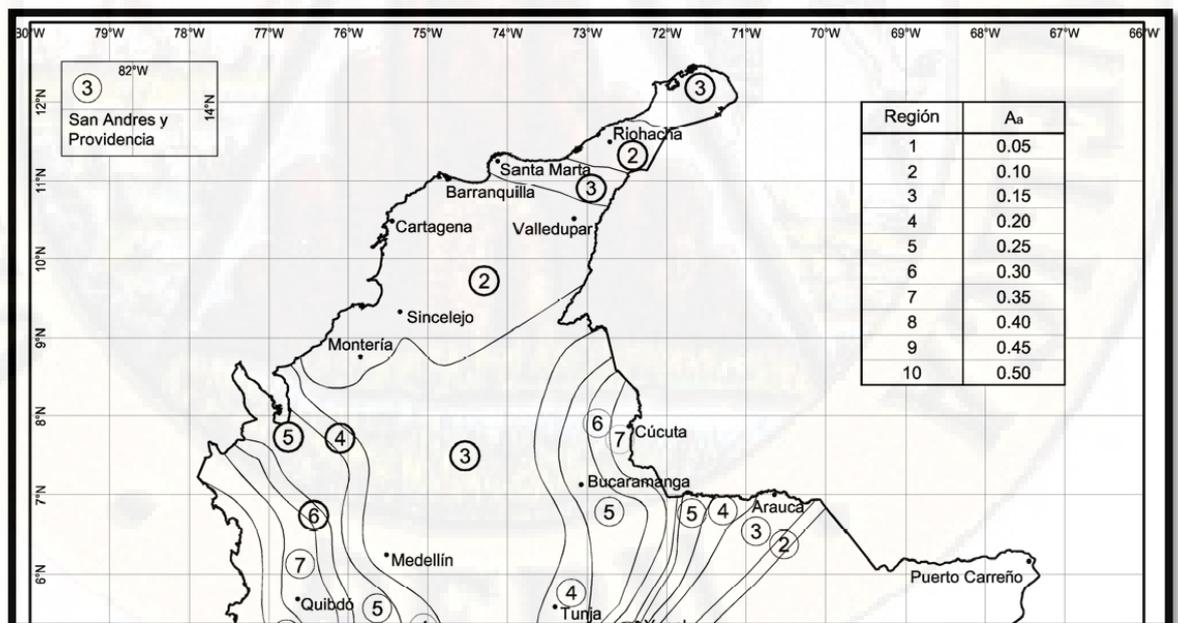


Figura 83. Mapa de los valores de la aceleración horizontal ( $A_a$ ), coincidiendo con el área del proyecto con la región 5. Tomado de la NSR, 2010.

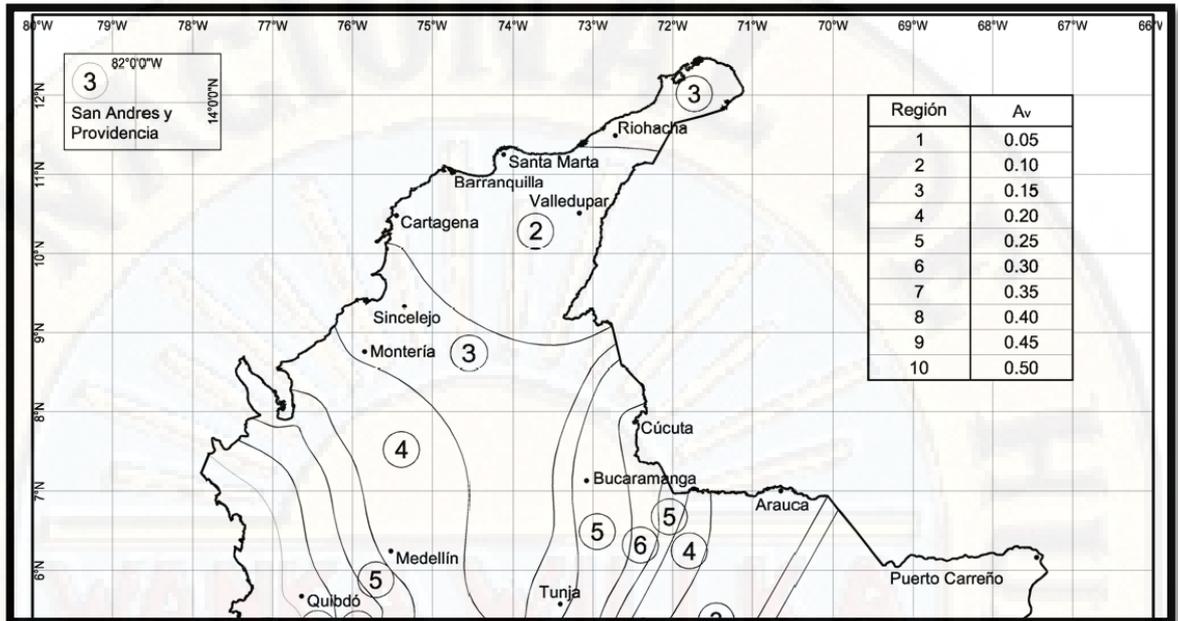


Figura 84. Mapa de los valores de la velocidad horizontal ( $A_v$ ), marcando la zona de estudio dentro de la región 5. Tomado de la NSR, 2010.

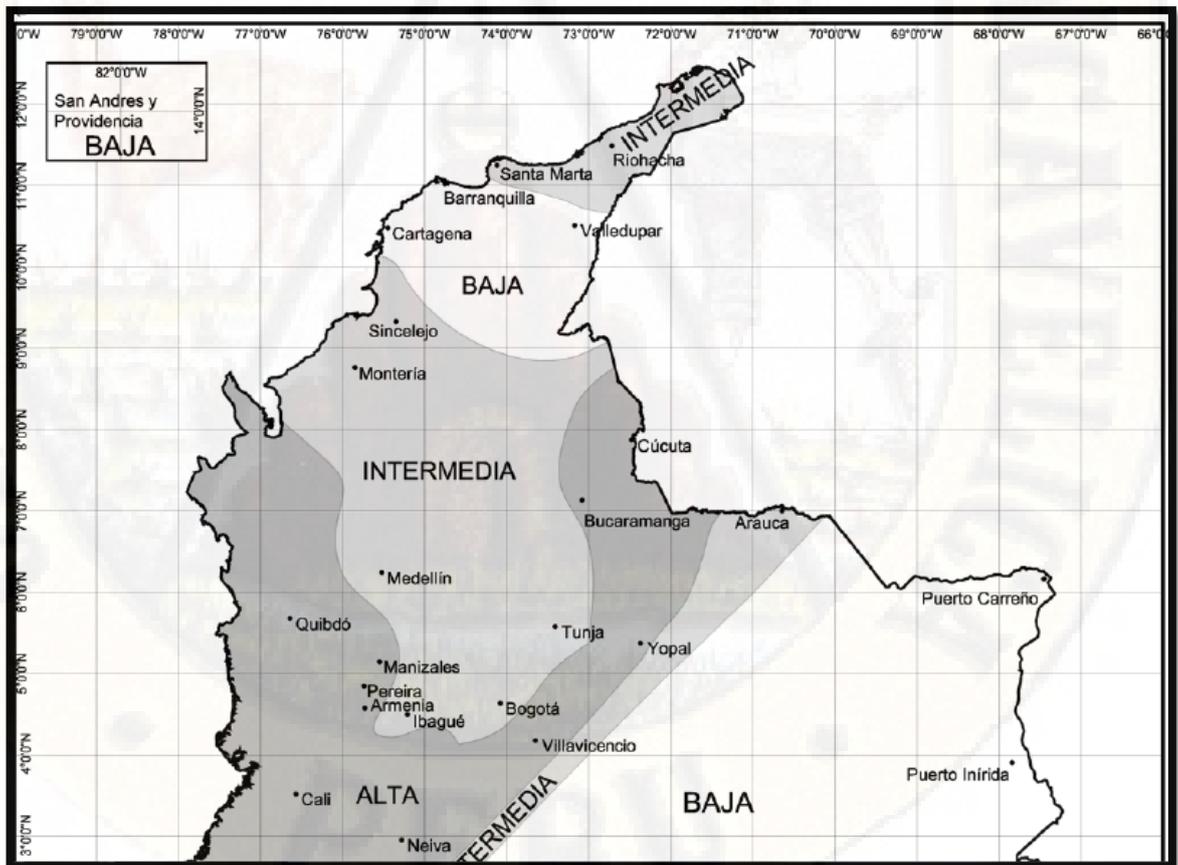


Figura 85. Mapa de zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones. Tomado de la NSR, 2010.

Tabla 32. Niveles de amenaza sísmica según los valores de Aa y Av. Modificado de la NSR, 2010.

Mayor valor entre Aa y Av	Asociado a la región de los mapas en las figuras 83 y 84	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

#### Movimiento sísmico de diseño

Los movimientos sísmicos de diseño se definen con base de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro Aa, y del coeficiente de la velocidad pico efectiva, representada por el parámetro Av; para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años. Los valores de los coeficientes para el municipio de Floridablanca son: Aa= 0,25; Av= 0,25; Ae=0,13 y Ad=0,08 (definidos dentro del Apéndice A-4 de la NSR, 2010).

#### Tipo de perfil del suelo

Para la caracterización del tipo de perfil del suelo, se determinan dos factores de amplificación del espectro por efectos de sitio, Fa y Fv; Fa es el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional. El coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio, adimensional nombrado con el parámetro Fv.

Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben ser

evaluadas con base en los perfiles de suelo obtenidos por medio de los ensayos previos, independientemente del tipo de cimentación empleado. Los valores para los coeficientes  $F_a$  y  $F_v$  son definidos por medio de los valores encontrados en la NSR-10 (Tabla 33 y 34), para el valor intermedio de  $A_a = 0,25$  se permite interpolar linealmente entre los valores del tipo de perfil observados en las tablas mencionadas anteriormente para encontrar los valores de los coeficientes  $F_a$  y  $F_v$ .

El tipo de suelo de acuerdo con la Tabla 35 tomada de la NSR-10 correlacionado de acuerdo con la resistencia por golpes encontrada en los respectivos sondeos o a sus velocidades de cortante; junto a los valores proporcionados por las tablas 33 y 34.

Tabla 33. Valores del coeficiente  $F_a$ , para la zona de periodos cortos del espectro. Tomado de la NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
<b>D</b>	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
<b>E</b>	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Tabla 34. Valores del coeficiente  $F_v$ , para la zona de periodos intermedios del espectro. Tomado de la NSR-10.

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
<b>A</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>B</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>C</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>D</b>	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
<b>E</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>F</b>	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Tabla 35. Tipo de suelo de acuerdo con el título A de la NSR-10, mostrando los tipos de suelo presente en el área del proyecto del barrio Los Nogales.

PROFUNDIDAD D (m)	TIPO DE SUELO DE ACUERDO CON EL TITULO A DE LA NSR- 10	Fa	Fv
1,00 - 6,50	TIPO D	1,3	1,9
6,50 - 20,00	TIPO C	1,15	1,55

- Coeficiente de Importancia

Se define el grupo para los tipos de uso de la edificación en cuatro grandes grupos, donde cada uno posee un coeficiente de importancia, I, con el valor mayor se encuentra el grupo de uso IV con un coeficiente  $I = 1,50$  (Visto en la Tabla 36).

Tabla 36. Valores de coeficientes de importancia I. Tomado de la NSR-10.

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

- Espectro Elástico de diseño

La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que debe ser utilizado para el diseño (Figura 86).

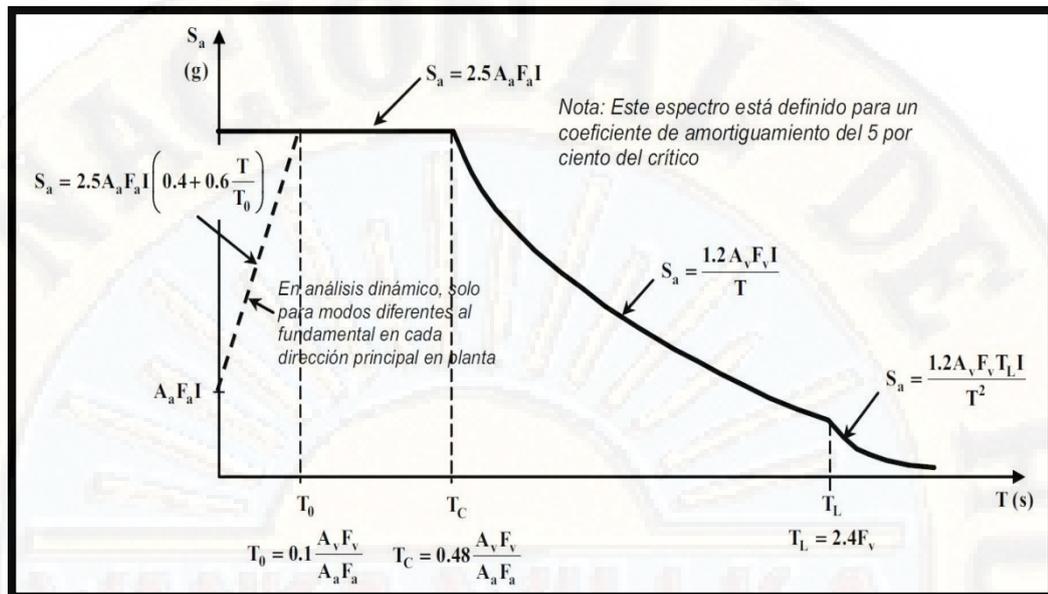


Figura 86. Esquema del espectro elástico de diseño.

Amenaza sísmica según la Microzonificación sísmica del área metropolitana de Bucaramanga de 2001.

Teniendo como referencia al Estudio de Microzonificación sísmica del área metropolitana de Bucaramanga de 2001, se puede sectorizar los valores sísmicos en tres zonas fundamentales debido a la cercanía de la Falla Bucaramanga – Santa Marta. A partir de los datos generados en el estudio, se definen valores para el barrio Los Nogales de Am igual a 0,40 g mayor al registrado anteriormente en la norma NSR-10, por lo cual se utiliza este valor para el diseño y caracterización sísmica en la zona del proyecto (Figura 87).

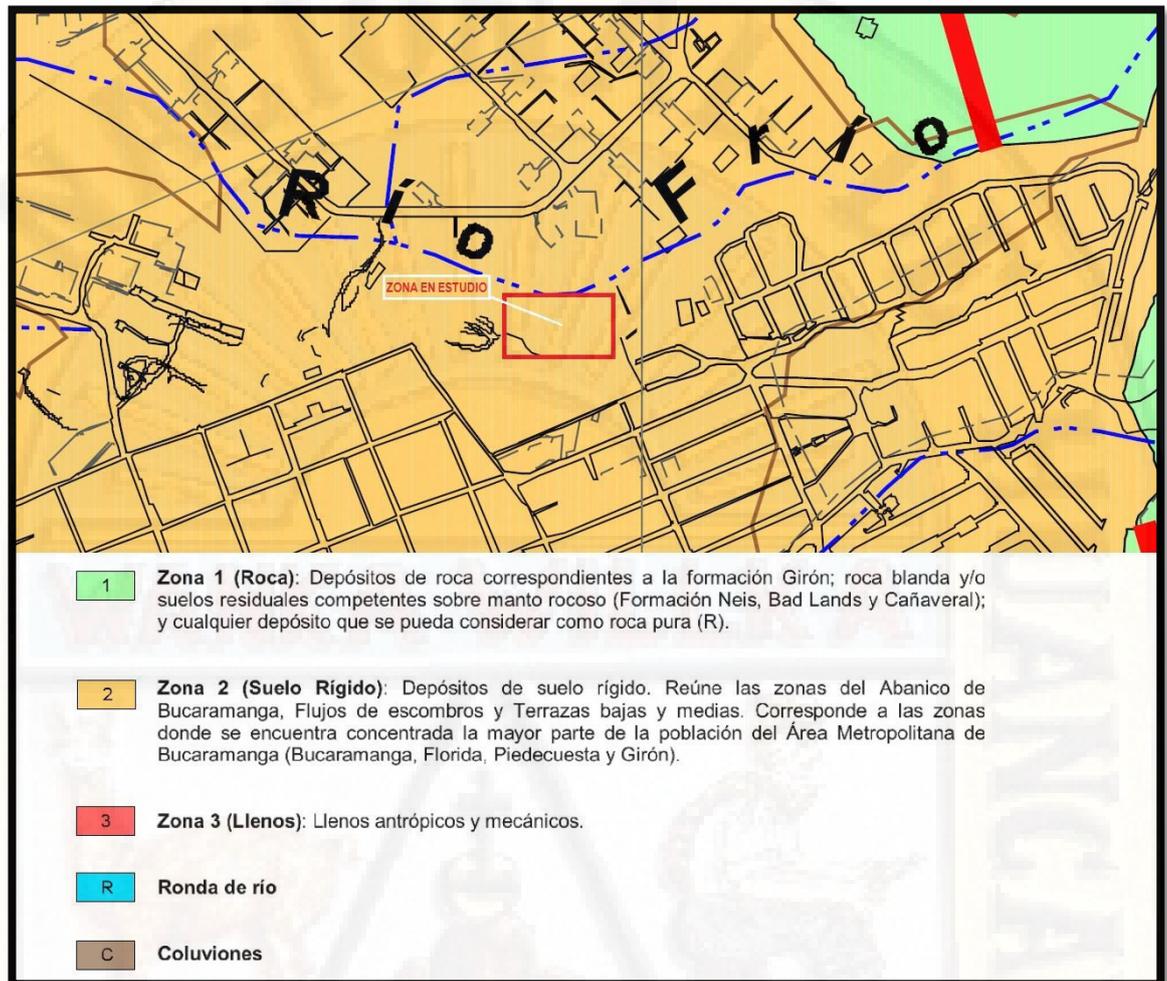


Figura 87. Mapa de Microzonificación sísmica para el proyecto del barrio Los Nogales. Tomado de Estudio de Microzonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana, 2001.

Continuando con el análisis de los datos sísmicos verificados, se puede generar un espectro de diseño y un espectro de aceleraciones (Figura 88) con los datos recopilados por medio de las pautas brindadas por la NSR-10 y los datos obtenidos del Estudio de Microzonificación de la siguiente manera:

#### Espectro de Diseño

Aa= Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva.

Av= Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva.

Fa= Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio.

$F_v$ = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.

**Nota:** Los valores de  $F_a$  y  $F_v$  dependen del tipo de perfil del suelo, fijado por el profesional a cargo por medio del análisis de los ensayos realizados.

$I$  = Coeficiente de importancia de la estructura.

$T_c$ = Periodo de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos, y la parte descendiente del mismo.

$T_L$ = Periodo de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño, para periodos largos.

$T$  = Periodo de vibración del sistema elástico, en segundos.

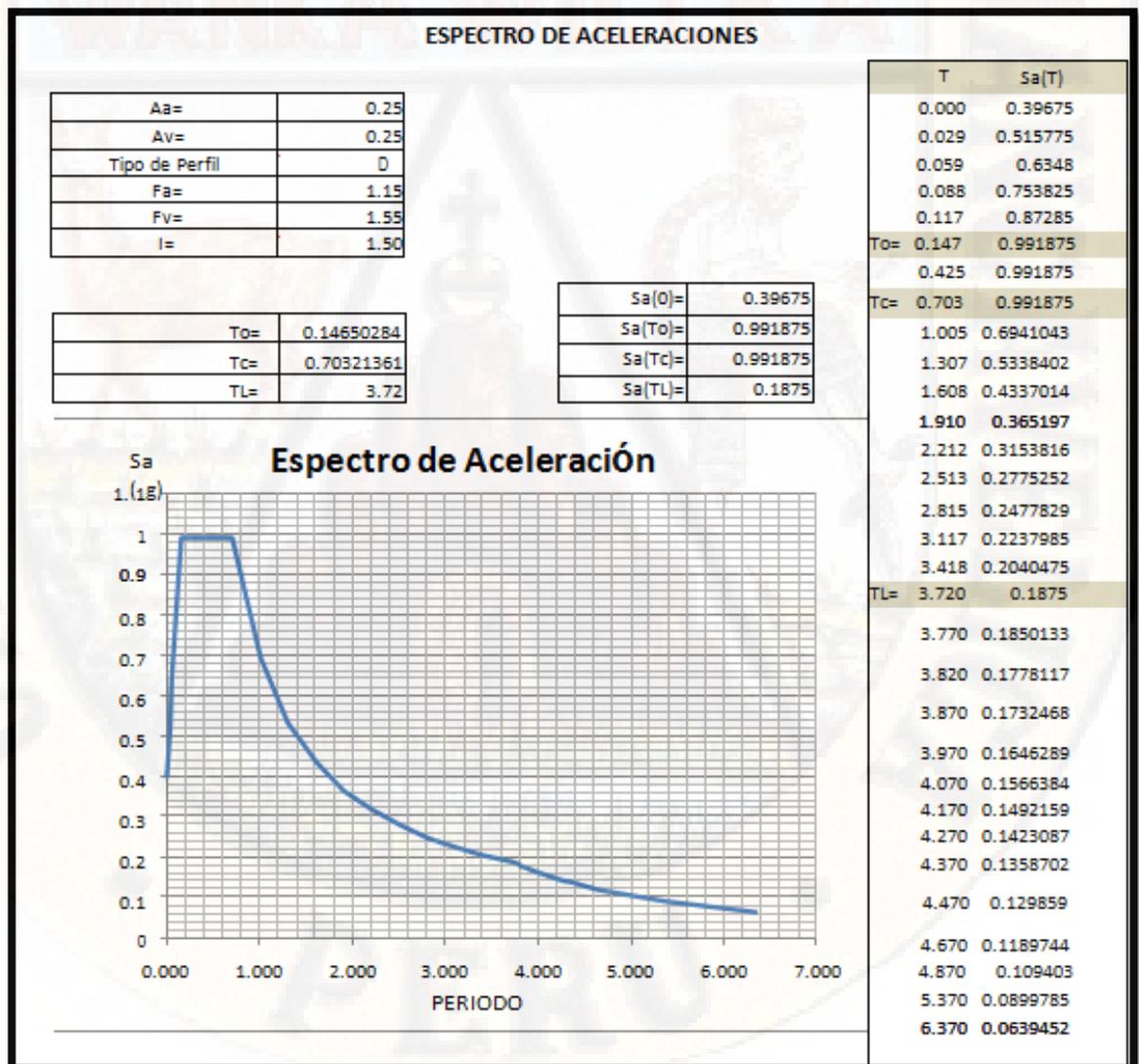


Figura 88. Diseño del espectro de aceleraciones. Recopilado por medio de los datos y con ayuda del programa Microsoft Excel 2010.

Resultado de los datos sismológicos con base en la NSR-10 y la Microzonificación sísmica de Bucaramanga de 2001.

De la zonificación sísmica se tienen en cuenta los siguientes valores:

$$A_a = 0,25 \text{ g}$$

$$A_v = 0,25 \text{ g}$$

$$F_a = 1.15 \text{ (para suelo tipo C)}$$

$$\text{Grupo} = \text{IV}$$

$$I = 1.50$$

Zonificación sísmica: Alta según el mapa de la NSR-10 (Figura 85).

$$A_m = 0.40 \text{ g}$$

Análisis y sismo de diseño para el modelo geológico – geotécnico (Título H, NSR-10)

Para el sismo de diseño durante el análisis pseudo-estático en taludes, se conoce a partir del estudio de Microzonificación sísmica del Área Metropolitana (2001), la aceleración máxima del terreno como 0,40 g; apoyado en la Tabla 37 tenemos:

Tabla 37. Valores de  $K_{st} / a_{max}$  mínimos para el análisis pseudo-estático en taludes. Tomado del título H de la NSR-10.

Material	$K_{ST}/a_{max}$ Mínimo	Análisis de Amplificación Mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

Por lo tanto, el sismo de diseño para el análisis es igual a  $K_{st}/a_{max} = 0,80$

$$K_{st} = 0,80 * 0,40g = 0,32 \text{ g}$$

#### 4.9 Hidrogeología

Las características hidrogeológicas del barrio Los Nogales se encuentran

definidas en varios estudios recopilados para el análisis del proyecto actual, dentro de los estudios de referencia podemos nombrar la Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander (2007), realizado en convenio entre INGEOMINAS- UIS; este estudio es realizado en un área de 134 km<sup>2</sup>, con el fin de estudiar el comportamiento del Macizo de Santander como una zona de recarga para abastecer a la población con agua potable debido a las limitaciones del área, evaluando un balance hídrico a largo plazo. Planteando al final un modelo conceptual de recarga y circulación de agua subterránea a través de la zona del Macizo de Santander, teniendo en cuenta la complejidad estructural de toda la zona, la distribución litológica y la presencia de importantes espesores de roca meteorizada. Estos tres aspectos se constituyen como protagonistas del proceso de infiltración y flujo del agua en el Macizo de Santander. Se tendrá en consideración el modelo de recarga y circulación del flujo para comparar con lo encontrado en cada sector del proyecto en el barrio Los Nogales (Figura 89).

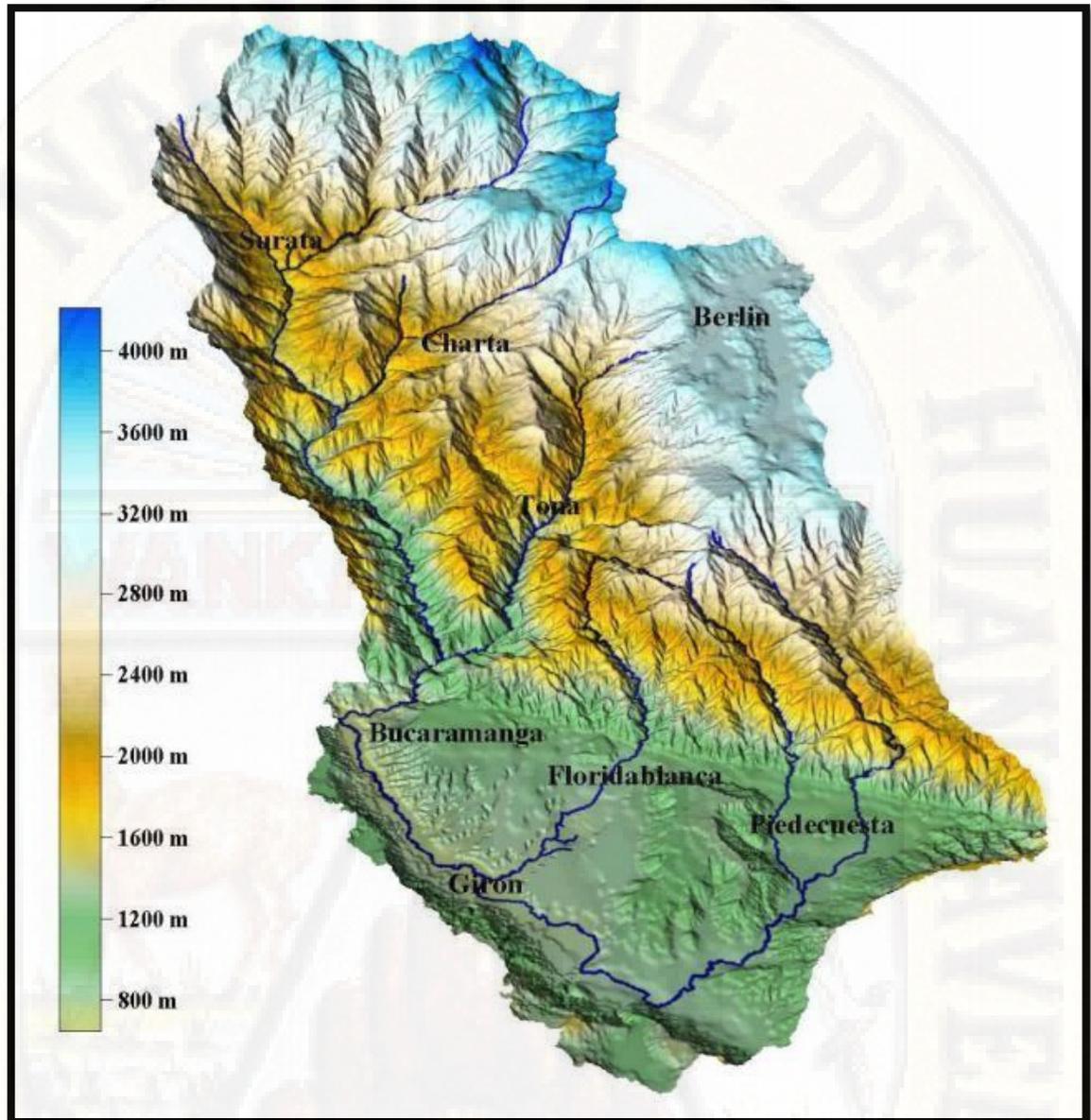


Figura 89. Localización de la cuenca en la Memoria Explicativa de la Investigación Geológica e Hidrogeológica en el Macizo de Santander. INGEOMINAS, 2007.

Otro de los estudios utilizado es el nombrado como Modelo Geológico – Geofísico para el área metropolitana de Bucaramanga (INEGOMINAS, 2004). Para este estudio se recopilieron sondeos eléctricos verticales (SEV) realizados por el mismo autor durante los periodos entre el 2001 y 2002, donde es posible observar un modelo geo-eléctrico preliminar, volviéndose esencial para diferenciar el comportamiento en la zona del proyecto.

Como siguiente referencia, el estudio de Evaluación de Agua Subterránea en el área metropolitana de Bucaramanga, Santander escala 1:25.000 (INGEOMINAS): Por medio del análisis de los puntos inventariados de recolección de aguas en diferentes zonas del área metropolitana, se pueden caracterizar diferentes tipos de acuíferos:

- Acuífero Órganos: Este acuífero fue captado por 13 pozos de los cuales 6 de ellos tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Los niveles se encuentran entre 3,2 a 37,5 m; encontrándose los niveles más profundos hacia el costado occidental del acuífero, es decir, hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga. También fue captado por 6 aljibes de los cuales 5 de ellos poseen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea; los niveles se encuentran ubicados a profundidades que varían entre 0,1 a 19 m y al igual que en los niveles estáticos medios de los pozos, los niveles más profundos se observan hacia la parte occidental del acuífero.
- Acuífero Gravoso: Se localiza en 12 pozos de los cuales para 7 de ellos se tienen lecturas de niveles estáticos del agua subterránea. Las profundidades se marcan desde 2,65 a 22,2 m; al igual que para el acuífero órganos los niveles más profundos están acumulados hacia la parte occidental del acuífero, es decir, hacia la escapa occidental de la ciudad de Bucaramanga.
- Acuífero Terrazas y depósitos aluviales: Captado por 19 aljibes en los cuales 17 de ellos poseen una medición de nivel estático. Los niveles fluctúan entre 0 y 9,2 m; predominando los niveles someros.
- Acuífero depósitos coluviales: Los niveles estáticos oscilan entre 1,4 y 13,7. Al medir los niveles estáticos en cuatro aljibes del sector, se puede identificar un rango entre 0,9 y 2,2 m.
- Acuífero Macizo de Santander: Se encuentra entre las alturas de 1400 a 3370 m, ubicando el intervalo de 1600-2000 m como las alturas más predominantes.

- Acuífero Girón: Captado por 11 pozos de los cuales a 6 de ellos fue posible medirles el nivel estático, oscilando entre 0,4 y 9,5 m.

Tomando como última referencia el estudio denominado Relaciones entre Niveles Freáticos, Precipitaciones y su influencia en la Estabilidad de Taludes (CDMB, 1989); donde se recopila información meteorológica, piezométrica e información de deslizamientos del área metropolitana de Bucaramanga; con el único fin de observar el comportamiento de los niveles con base en las precipitaciones y su influencia en el escarpe occidental en cuanto a la ocurrencia de deslizamientos. Por esto, el uso de la información será de suma importancia para el proyecto actual, debido a que evalúan hidrogeológicamente la Terraza de Bucaramanga abarcando el sector del barrio Los Nogales (Figura 90).

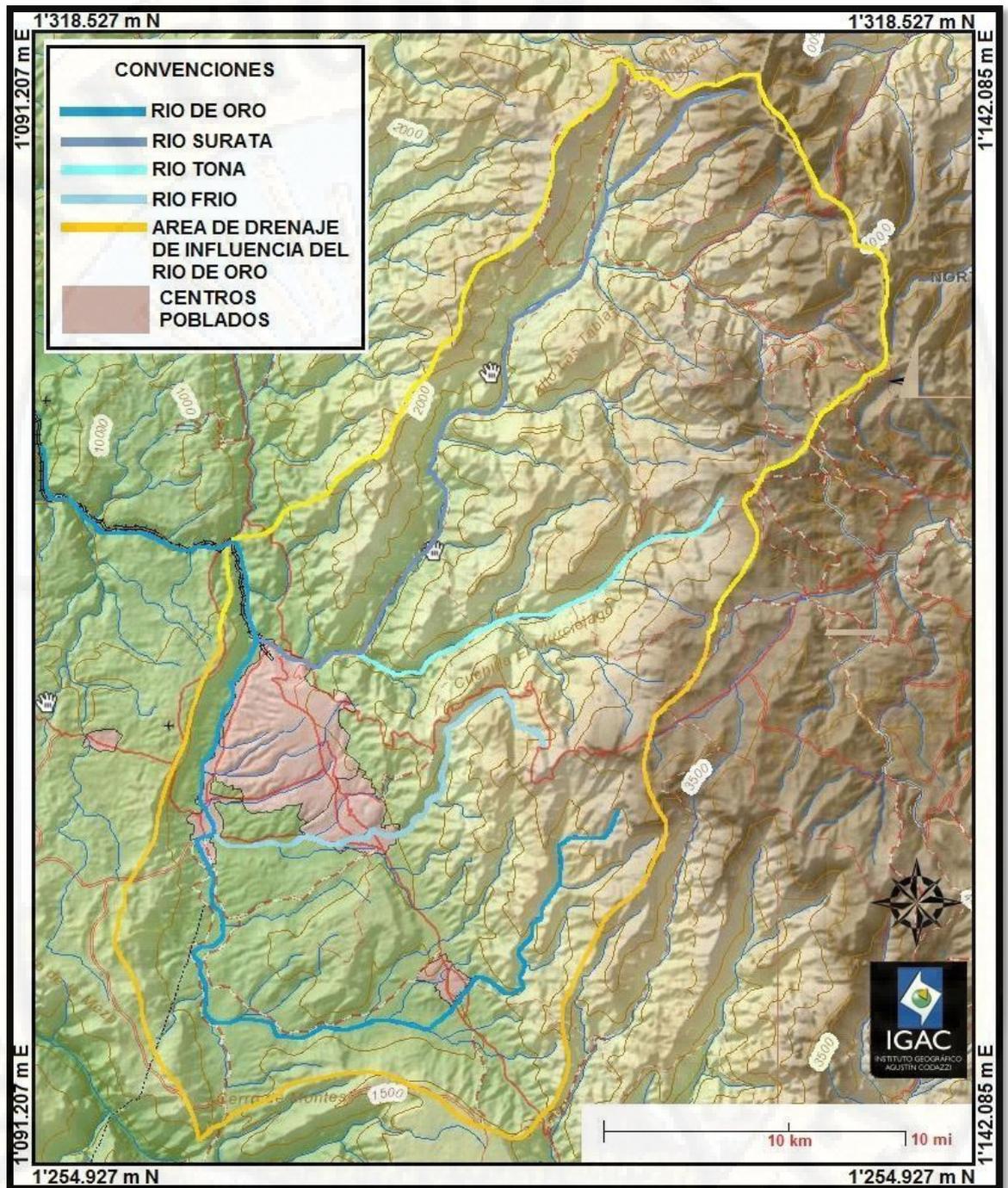


Figura 90. Mapa de la localización de los principales afluentes de drenaje del área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia (Cuenca superior río Lebrija. Fuente: IGAC modificado por autor)

## Hidrografía

Los principales ríos del área metropolitana de Bucaramanga son el río de

Oro, Suratá, Tona, río Frío y las quebradas de la Flora, Honda, Chiquita, Suratoque, La Iglesia, quebrada Seca, Cacique, EL Horno, San Isidro, Las Navas, La Rosita, Zapamanga y Bucaramanga.

El río de Oro como uno de los más importantes que atraviesan el área metropolitana según el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) de Bucaramanga, ubicado en la escarpa occidental, nace en el Macizo de Santander (Cordillera localizada al oriente de la Falla de Bucaramanga, cerca al páramo de Santurbán), desemboca en los drenajes de Piedecuesta, la quebrada Grande, Suratoque y el río Loto, en la zona de Girón recibe las aguas del río Frío, de la quebrada La Iglesia, la quebrada Chimitá, La Rosita que tiene como afluente a la quebrada del Loro y la quebrada Seca con la quebrada La Joya como afluente al mismo tiempo; estas últimas son los principales drenajes de la meseta de la ciudad de Bucaramanga, en el norte de la ciudad, el río de Oro recibe al río Suratá en el sector conocido como Café Madrid, el cual tiene como afluente al río Tona y a la quebrada Honda, desde este sector más o menos a 8 km aguas abajo el río de Oro se une con el río Negro formando el río Lebrija en el corregimiento bocas del municipio de Girón, este último desemboca en el río Magdalena.

El lugar del proyecto conocido como barrio Los Nogales, ubicado en la margen izquierda del río Frío, desembocando al río de Oro a 11,5 km del sector del proyecto, en la zona junto a la margen de dicha afluente se encuentra una franja (zona arbórea en la Figura 91), la cual corresponde a áreas de protección de cauce, así mismo y de acuerdo al estudio de Zonificación de Amenaza por Fenómenos de Inundación en la Cuenca Media y Baja del río Frío (2010); también corresponde al límite de inundación que puede presentarse para un periodo de retorno de 500 años, en los cuales la lámina de agua alcanzará una altura de 924 msnm, por encima de este nivel se encuentran las viviendas del barrio Los Nogales.



Figura 91. Localización del drenaje local del área del Proyecto.  
Recarga del acuífero

La recarga es producto de las precipitaciones pluviales sobre el Macizo de Santander, aunque no existe porosidad primaria en muchos de los caso, por la predominancia de rocas cristalinas de origen ígneo – metamórfico (Neis de Bucaramanga, Ortoneis de Berlín, Formación Silgará, Cuarzo monzonita de la Corcova, Cuarzo monzonita de Santa Bárbara, Formación Girón, Los

Santos, Paja y Tablazo) donde la porosidad y permeabilidad se limita a lo que puede ofrecer la meteorización y/o sistemas de fracturas generadas por la tectónica de la zona (porosidad secundaria) (INGEOMINAS-UIS, 2007).

Dentro del área del proyecto, se ubica sobre depósitos del cuaternario como la Unidad A (explicada en el subcapítulo geología), presentan porosidad primaria con infiltraciones altas en los estratos; los cuales pueden conducir en un momento dado a almacenar agua en pequeños espesores para toda la zona urbana de Floridablanca. La recarga se genera de dos maneras, la primera de forma lateral, la cual capta todo el fluido proveniente del Macizo de Santander en el contacto con la Falla de Bucaramanga y la segunda hace referencia a una recarga distribuida provocada en las zonas libres de construcciones o zonas verdes en la meseta de la población.

La meseta formada en el lugar donde se encuentran emplazadas las viviendas y toda el área del proyecto en el barrio Los Nogales, el cual es de origen aluvial, se encuentra plenamente urbanizado en un 20%, un 5% es zona del río, el 75% restante se haya variado entre bosques primarios, pastos o arbustos; existiendo así un grado de infiltración variable aunque se minimiza por la presencia de vegetación, en el sector duro, el agua es captada por el alcantarillado y a su vez es infiltrada al suelo de la vía, esto se debe al pavimento articulado en el sector, luego el área del proyecto está constituido por el ingreso de frentes fríos de espesores variables, los cuales pueden recargar el acuífero, cerca al nivel del cauce actual, ubicado 15 m por debajo, tomando como referencia el nivel del parqueadero del barrio Los Nogales.

#### Análisis hidrológico

Dentro del proyecto del barrio Los Nogales, teniendo como base el análisis de precipitaciones para Bucaramanga, es considerada como precipitación promedio 1568 según Informe ambiental del municipio de Floridablanca

(2011) “Sobre el Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente” Contraloría Municipal de Floridablanca. Así mismo, recordando el comportamiento bimodal del área de influencia del proyecto, se puede observar el modelo hidrológico; en el modelo se generaliza el flujo de agua que se obtiene durante los procesos de infiltración primaria y secundaria que empieza en el Macizo de Santander, ingresando desde el costado lateral al depósito aluvial donde se encuentra el barrio Los Nogales y llega a la parte baja en la zona de Girón (río de Oro), por medio del transporte a través del río Frío.

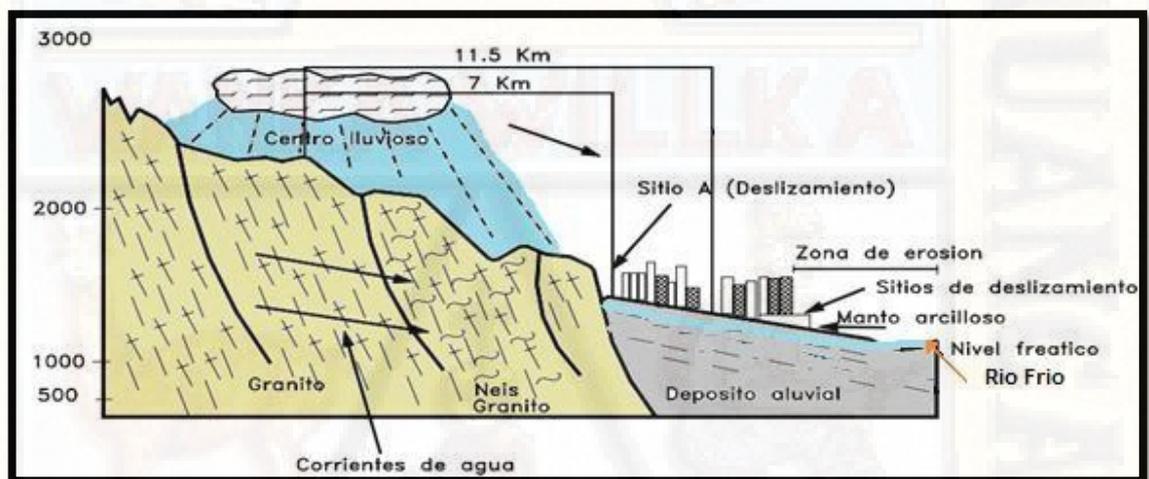


Figura 92. Esquema del modelo hidrológico, Tomado de Suárez “Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales”, 1998.

### Condiciones Topográficas

La división del área se divide en dos zonas topográficas, empezando por una zona con superficies planas o llanas de pendientes que varían de 0 a 20%, localizadas en el cauce del río y en las zonas de meseta donde se encuentra emplazada la urbanización correspondiendo a zonas relativamente planas; mientras la segunda se considera una zona intermedia, la cual tiene pendientes que oscilan de 20 a 90%, siendo pendientes moderadas a muy altas. Con base a lo mencionado es posible verificar como la zona de infiltración principal el área localizada en la parte de meseta y la segunda zona corresponde más a un flujo de escorrentía.

### Uso actual del Suelo

El uso actual del suelo es de carácter netamente urbano y como una zona de protección, dividiéndose de esta manera en un 22% del área a viviendas, el 6% en suelo descubierto y el 72% restante como áreas arbustivas y arbóreas. Al mismo tiempo, se puede observar que superficialmente el suelo existente en el sector corresponde a estratos cohesivos, con porcentaje de finos superior al 30%, con predominancia de arenas arcillosas de baja plasticidad, lo que concede propiedades medias a altas de infiltración.

### Nivel Freático, humedad y características hidráulicas

Basándose en los análisis de las perforaciones de campo realizadas en el sector del barrio Los Nogales, con profundidades que van desde aproximadamente 5,0 a 15,0 metros; no fue posible encontrar el nivel freático para la zona de estudio, también se calcularon valores de humedad natural o in situ donde los rangos varían entre 3,56% a 15,09%.

A partir de estos valores y utilizando las relaciones peso-volumen para los suelos, se determinan ciertas propiedades características que se basan en los valores de humedad, de esta manera hallamos el grado de saturación inferior al 45,43%; pero no disminuye de 11,35%, una relación de vacíos con intervalos entre 0,52 – 0,67 y el peso específico saturado inferior a 2,21 g/cm<sup>3</sup> (Figura 93).

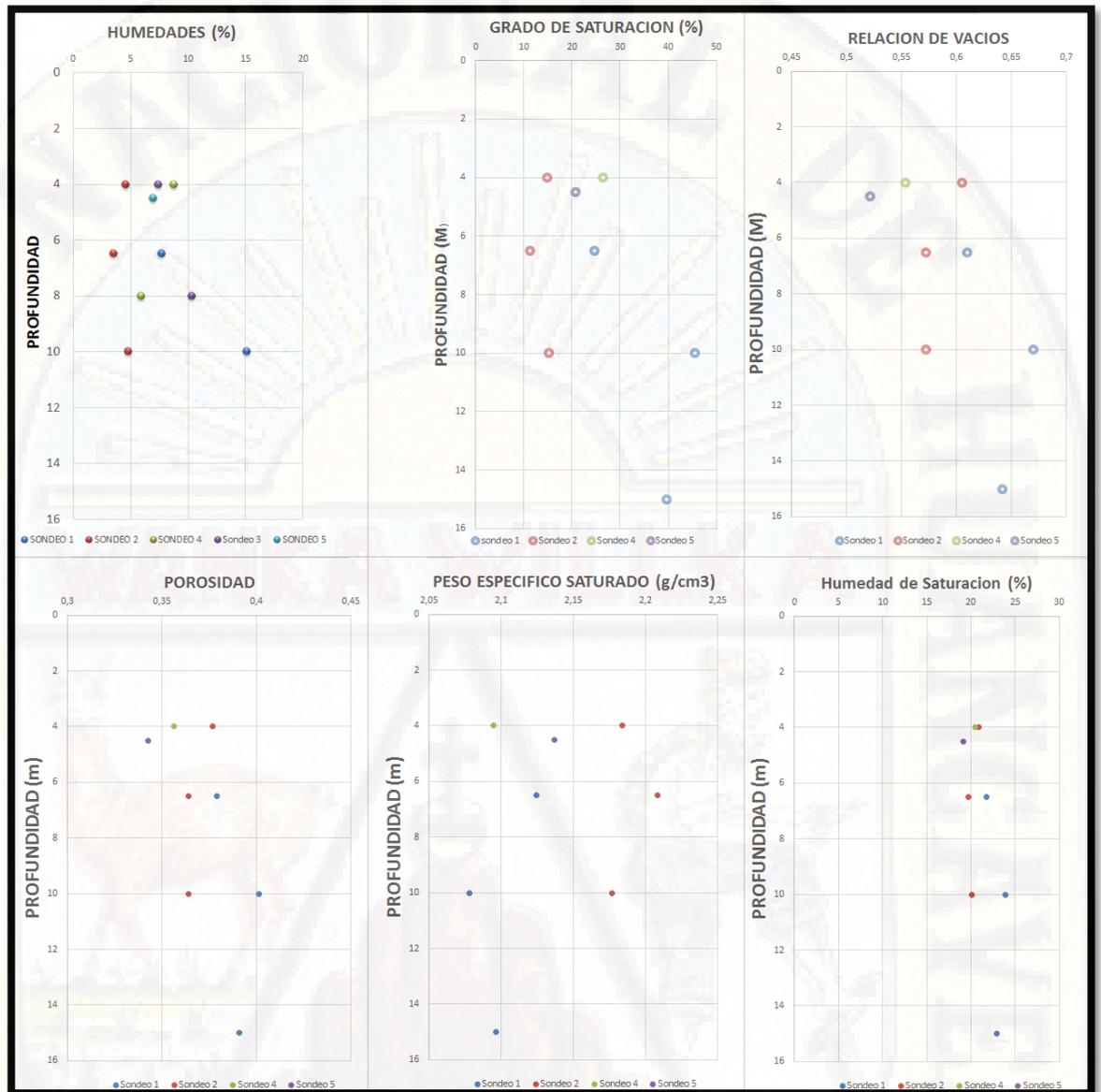


Figura 93. Valores de las propiedades de peso-volumen de las muestras de los sondeos en el sector Los Nogales.

Otro de los ensayos realizados con las muestras obtenidas es el de percolación, donde se puede observar que la velocidad inicial es superior debido a que inicia el proceso de saturación del suelo y empieza a disminuir a medida que aumenta el tiempo del procedimiento, la tasa promedio de infiltración es de 0,24 cm/s, considerado para este caso como una infiltración alta (Figura 94).

A partir de los ensayos registrados en el área metropolitana de Bucaramanga y a la Formación aluvial descrita en el barrio Los Nogales, se

logran obtener medidas de permeabilidad más bajas 0,00002 m/s, siendo el más típico 0,00010 m/s a grandes profundidades (CDMB Relaciones entre Niveles Freáticos, precipitaciones y su influencia en la estabilidad de taludes – Gómez Sully, 1989), además de dar a conocer un coeficiente de almacenamiento de 0,00611 y una transmisibilidad de 0,0003 m<sup>2</sup>/s; determinándose una porosidad de 30% aproximadamente, estos valores mencionado son obtenidos de una prueba de bombeo realizada y tomada del estudio referenciado con anterioridad.

Al comparar el ensayo de percolación realizado en la actualidad en el proyecto con los valores típicos de los estudios de referencia, es posible deducir en superficie el alto contenido de infiltración, el cual disminuye a medida que se aumenta en profundidad; ocurriendo un comportamiento similar en la propiedad de porosidad, donde se registran valores altos de porosidad en superficie y disminuyendo hasta 40% después de 10 metros de profundidad.

En condiciones generales, cuando existe un evento de lluvia de manera normal o crítica, en el suelo se genera un frente húmedo, el cual dependerá del grado de saturación, permeabilidad y porosidad; conociendo estas propiedades, se puede determinar su velocidad de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{k}{(1 - S) * n}$$

Dónde:

$k$  = permeabilidad

$S$  = Grado inicial de saturación

$n$  = Porosidad.

Para el proyecto la velocidad del frente húmedo se puede observar en la Tabla 38 así:

Tabla 38. Velocidad de Frente Húmedo para el barrio Los Nogales.

Profundidad (m)	velocidad (cm/s)
0-5	0,43
5-10	0,40
10-15	0,38

Según Lumb (1975), el frente húmedo avanza saturando todos los estratos, de esta manera determinó que los frentes contribuirán al aumento de los niveles freáticos, generando así una ecuación en la cual se pueden establecer los espesores basándose en la duración del evento de precipitación, la porosidad, la permeabilidad y el grado de saturación:

$$h = \frac{k * t}{n * (S_f - S_o)}$$

Dónde:

$h$  = Espesor del frente húmedo.

$k$  = Coeficiente de permeabilidad.

$n$  = Porosidad.

$S_f$  = Grado final de saturación.

$S_o$  = Grado inicial de saturación.

$t$  = Duración de lluvia.

A continuación, se determinan los espesores del frente húmedo asumiendo la saturación total de los estratos, obteniendo los siguientes parámetros (Tabla 39):

Tabla 39. Espesores del frente húmedo.

Profundidad (m)	Espesores del frente húmedo
0-5	2,46
5-10	2,38
10-15	2,28

Con relación al análisis anterior, en superficie, sobre la corona del talud, el frente húmedo se infiltra hasta obtener un espesor aproximado de 2,50 metros; este espesor de frente húmedo baja por acción de la gravedad en un tiempo determinado hasta la zona de recarga del acuífero, el cual se encuentra a menos de 20 metros de profundidad y es conocido como el nivel actual del espejo de agua del río Frío.

#### Relación entre lluvias y niveles freáticos

A partir del estudio “Relaciones entre Niveles Freáticos, Precipitaciones y su influencia en la Estabilidad de Taludes”, durante el análisis realizado mediante la medición de precipitaciones y el nivel freático en diferentes sectores del área metropolitana de Bucaramanga; se puede observar el incremento de los niveles piezométricos relacionado con eventos de lluvia, este incremento en el nivel freático sucede dos meses después de ocurrida la precipitación para la zona occidental de la meseta y de manera inmediata para la zona oriental, atribuido al espesor de la capa y a la cercanía de la Falla de Bucaramanga ( asociado al fracturamiento producido en las formaciones).

Como se ha dejado claro, no se detectó nivel freático a 15 metros de profundidad por los sondeos de perforación, ubicando el lecho del río Frío al norte del área del proyecto y la presencia de una capa de agua; calculando así la existencia del nivel freático inferior a 20 metros de profundidad, las fluctuaciones del nivel freático se pueden ver afectadas por las precipitaciones, donde se puede generar frentes húmedos sin superar espesores de 2,50 m con velocidades de 0,43 cm/s. Esta información es corroborada con el estudio de la CDMB – Gómez Sully, 1989), por ende, no se considera que aflore o sature el talud dentro del barrio Los Nogales.

#### Análisis de deslizamientos

Con respecto a los modelos hidrogeológicos, el agua infiltrada corre de

oriente a occidente con un gradiente hidráulico bajo y paralelo al terreno, cuando se acerca a la zona de escarpa, el gradiente aumenta y se presentan afloramientos. Estos afloramientos son de dos tipos, el primero ocurre por encima de la corona o en el pie del talud, por esto allí se presentan las mayores velocidades de flujo y fuerza de infiltración, creando una zona crítica por la cual se debilita la superficie de contacto donde se producen caídas de suelo; el segundo hace relación con la obstrucción de la salida del afloramiento por depósitos recientes (coluviones). El agua se encuentra fluyendo de tal manera que satura las masas de los depósitos, produciendo así un movimiento paulatino, esto genera una pérdida de soporte del talud que soporta el coluvión y genera una superficie de corte o falla de corte, haciendo converger en un fracturamiento del terreno que favorece en la mayoría de los casos el proceso de infiltración, lo que conlleva a una aceleración del movimiento en masa (Figura 94).

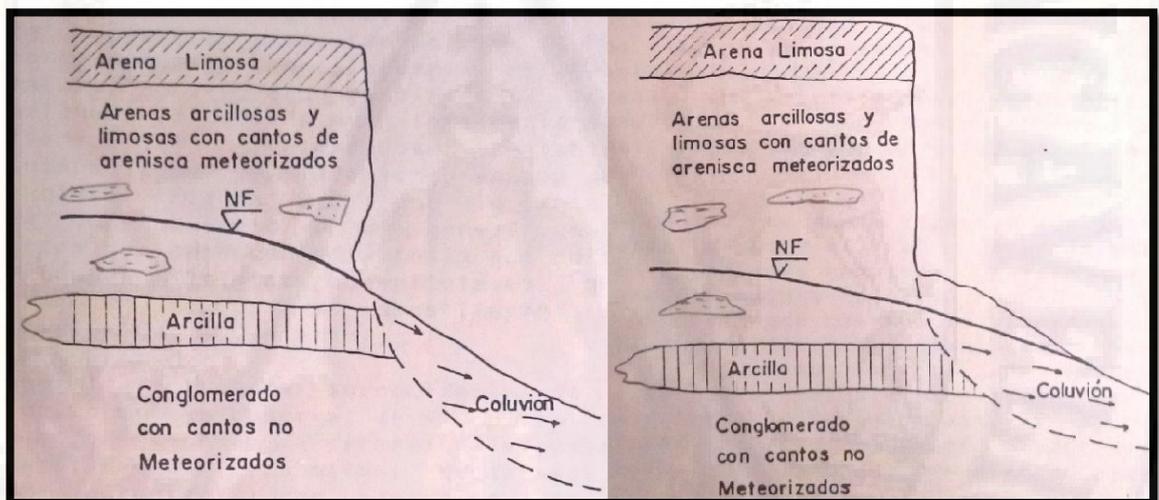


Figura 94. Mecanismos de falla en superficies de laderas o taludes. Tomado de Gómez Sully, 1989.

Al observar las características del área del proyecto, no se tiene evidencia alguna de grandes masas del tipo coluvión, ni tampoco la presencia de afloramientos de depósitos, por lo que es poco probable la ocurrencia de fallas causadas por el acuífero existente o por saturación total del suelo; pero la falla tipo que puede generarse si es una falla de corte que provoque caídas de suelo, es viable la creación de grietas de tensión debido a los

esfuerzos de cimentación, por esto se volvió necesario la construcción del relleno y el muro de contención, aunque en la actualidad se estén presentando fallas en el sector.

Según Rankine, la profundidad de la grieta a tensión se puede estimar mediante la siguiente fórmula:

$$Z_c = \frac{2C}{\gamma} \tan^2(45 + \phi/2)$$

Dónde:

$Z_c$  = Profundidad de la grieta de tensión.

$C$  = Cohesión.

$\gamma$  = Peso unitario del suelo.

$\phi$  = Ángulo de fricción.

Por medio de la ecuación y las propiedades geotécnicas ( $\phi = 24.85^\circ$ ,  $\gamma = 1.87 \text{ g/cm}^3$  y  $C = 0.20 \text{ kg/cm}^2$ ; estas propiedades son el promedio de los tres estratos predominantes en el modelo geológico – geotécnico tomadas de los ensayos de corte directo). Así mismo al calcular el valor de  $Z_c = 5,24 \text{ m}$ , es decir, después de esta profundidad pueden ocurrir grietas de tensión en las partes altas de la escarpa, con posibilidad de desencadenar problemas de inestabilidad y generando mayor infiltración pudiendo ocasionar caídas de suelo.

Relación de Lluvias – Deslizamientos:

La relación de las precipitaciones con los movimientos en masa, de acuerdo al estudio de Gómez Sully (1989) para la CDMB, se logra evidenciar en el análisis de frecuencia de las lluvias en el área metropolitana de Bucaramanga y la frecuencia de los deslizamientos, concluyendo que el deslizamiento ocurre en épocas de verano y no en las épocas de lluvia, presentándose cuando han transcurrido 2 o 3 meses de la lluvia más representativa del periodo de precipitación, asociados en su mayoría a

lluvias en periodos secos.

Para el área de Bucaramanga (franja de meseta) y donde existen depósitos aluviales (Girón, Floridablanca y Piedecuesta) los deslizamientos se presentan en periodos entre abril a junio o de agosto a noviembre, son producto del aumento del acuífero que en algunas ocasiones provoca un debilitamiento de la superficie generando fallas de tensión; en muchas ocasiones al someterse a una precipitación no considerada, formando el deslizamiento al ocurrir mayor infiltración y saturación de las grietas, lo que incurre en desprendimiento de suelos.

Afectación del área por problemas de agua

Durante los recorridos por los taludes de la zona del proyecto, no se logró evidenciar ningún problema severo de inestabilidad por afloramiento o nacimientos de agua.

Parámetros hidrogeológicos

Las perforaciones de campo son esenciales para identificar las principales propiedades de los materiales captadores de agua (capas de roca y suelo), ya que en los sondeos no fue posible determinar el nivel freático, como tampoco se pudo determinar la red del flujo debido a la poca información que se tiene del sitio; pero por otra parte, se evidencia que los cambios de humedad del suelo son significativos variando de 3,56% a 15,09%; por consiguiente se debe realizar un análisis para determinar el Factor  $R_u$ , conocido como el cociente entre la presión de poros y el esfuerzo vertical total, descrito en el Título H de la NSR-10.

$$R_u = \frac{\mu}{\sigma_v} = \frac{H^* \gamma_w}{H^* \gamma_T}$$

Los valores de  $R_u$  para las muestras representativas de los sondeos de campo se presentan a continuación (Tablas 40 a 43):

Tabla 40. Valores de Ru para las muestras del sondeo 1.

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)		%w <sub>n</sub>	PU (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	Y <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	e	n	Y <sub>sat</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	%w <sub>sat</sub>	σ (g/cm <sup>2</sup> )	μ (g/cm <sup>2</sup> )	Ru
1	0,0	0,5												
	0,5	1,0												
	1	1,5												
	1,5	2,0												
	2	2,5												
	2,5	3,0												
	3	3,5												
	3,5	4,0												
	4	4,5												
	4,5	5,0												
	5	5,5												
	5,5	6,0												
	6	6,5	7,7	1,8	2,8	1,75	24,6	0,61	0,38	2,12	21,71	1380,7	637,65	0,46
	6,5	7,0												
	7	7,5												
	7,5	8,0												
	8	8,5												
	8,5	9,0												
	9	9,5												
	9,5	10,0	15,	1,9	2,8	1,68	45,4	0,67	0,40	2,08	23,92	2078,0	981,00	0,47
10	10,5													
10,5	11,0													
11	11,5													
11,5	12,0													
12	12,5													
12,5	13,0													
13	13,5													
13,5	14,0													
14	14,5													
14,5	15,0	13,	1,9	2,8	1,71	39,6	0,64	0,39	2,10	22,92	3144,6	1471,50	0,47	

Tabla 41. Valores de Ru para las muestras del sondeo 2.

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)		%w <sub>n</sub>	US CS	PU (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	Y <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	e	n	Y <sub>sat</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	%w <sub>sat</sub>	σ (g/cm <sup>2</sup> )	μ (g/cm <sup>2</sup> )	Ru
2	0,0	0,5													
	0,5	1,0													
	1	1,5													
	1,5	2,0													
	2	2,5													
	2,5	3,0													
	3	3,5													
	3,5	4,0	4,5	S	1,8	2,9	1,81	14,9	0,60	0,38	2,18	20,8	873,	392,	0,45
	4	4,5													
	4,5	5,0													
	5	5,5													
	5,5	6,0													
	6	6,5	3,5	SC	1,9	2,9	1,84	11,3	0,57	0,36	2,21	19,7	1435	637,	0,44
	6,5	7,0													
	7	7,5													
	7,5	8,0													
	8	8,5													
	8,5	9,0													
	9	9,5													
	9,5	10,0	4,7	SC	1,9	2,8	1,81	15,1	0,57	0,36	2,18	20,0	2176	981,	0,45

Tabla 42. Valores de Ru para las muestras del sondeo 4.

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)		%w <sub>n</sub>	PU (g/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	Y <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	e	n	Y <sub>sat</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	%w <sub>sat</sub>	σ (g/cm <sup>2</sup> )	μ (g/cm <sup>2</sup> )	Ru
	0,0	0,5												

4	0,5	1,0												
	1	1,5												
	1,5	2,0												
	2	2,5												
	2,5	3,0												
	3	3,5												
	3,5	4,0	8,7	1,8	2,7	1,74	26,5	0,55	0,36	2,09	20,5	837,	392,40	0,47
	4	4,5												
	4,5	5,0												
	5	5,5												
	5,5	6,0												
	6	6,5												
	6,5	7,0												
	7	7,5												
7,5	8,0	5,9												

Tabla 43. Valores de  $R_u$  para las muestras del sondeo 5.

SOND EO	PROFUNDIDA D (m)		%w n	PU (g/c m <sup>3</sup> )	Gs	Yd (g/cm <sup>3</sup> )	S (%)	e	n	Ysa t (g/cm)	%wsa t	$\sigma$ (g/cm <sup>2</sup> )	$\mu$ (g/cm <sup>2</sup> )	$R_u$
5	0,0	0,5												
	0,5	1,0												
	1	1,5												
	1,5	2,0												
	2	2,5												
	2,5	3,0												
	3	3,5												
	3,5	4,0												
	4	4,5	7	1,9	2,7	1,79	20,7	0,52	0,34	2,14	19,1	961,	441,45	0,46

Debido a las bajas variaciones de los valores del  $R_u$  determinados para las muestras de los sondeos de campo, se realiza un promedio dando un valor  $R_u = 0,459$ .

#### Resultados del Análisis hidrogeológico

Conforme a toda la información recopilada durante la visita de campo y en estudios previos se reconoce que el área metropolitana de Bucaramanga es de interés hidrogeológico, reconociendo zonas potenciales de recarga por precipitación y procesos de infiltración primaria y secundaria. La infiltración primaria se relaciona con los depósitos aluviales que se encuentran en la zona de meseta reconocida por el Servicio Geológico Colombiano como la Formación Bucaramanga (Qb) y los flujos de escombros (Qfe); la infiltración secundaria se relaciona al Macizo de Santander y la influencia de la Falla de Bucaramanga sobre esta unidad geológica, donde las fracturas de las rocas y el grado de meteorización asociado a la tectónica regional contrarrestan la baja porosidad primaria de las formaciones del sitio.

Se define en el modelo hidrogeológico la dirección del flujo de agua desde el oriente al occidente, siendo parte fundamental del flujo base del río de Oro, así mismo se reconoce que los procesos de infiltración generados durante los periodos de lluvia causan variaciones en los niveles freáticos asociados al acuífero con una reacción de dos meses después de acontecido el evento; enfatizando en la zona occidental de la meseta ya que en esa franja se encuentra el mayor espesor aluvial.

La presencia de flujo dentro del suelo en la zona de escarpe durante los últimos años ha generado desprendimiento de material, involucrado con el aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, esta variación no ha superado los 2 metros de altura en el aumento de nivel. Los deslizamientos se asocian a las precipitaciones en el sector principalmente relacionados con el afloramiento del acuífero en zonas de escarpa, este afloramiento se encuentra debilitando las propiedades del suelo, es decir, produce inestabilidad en el pie y la franja intermedia del talud, causando un posible desprendimiento de la masa del suelo. Si no se produce el desprendimiento, simplemente se generaría un aumento de tensiones del suelo, ocasionando grietas en la superficie; la suma de las condiciones ayudaría en la activación de la inestabilidad y aumentará las posibilidades de generar una falla cortante inmediata después de un posterior evento de lluvia. En general los deslizamientos asociados a los eventos de lluvia en el sector son producidos en los meses de verano debido a la reacción del agua subterránea en variaciones del nivel freático sucede de dos a tres meses después de la precipitación.

En el sector del barrio Los Nogales, como la influencia del agua subterránea no repercute, se debe analizar por precipitación cual sería la incidencia, para esto, se determinaron las características de porosidad variando entre un 34% a 40%, el porcentaje de saturación oscila de 11,35% a 45,43%, la relación de vacíos varía de 52% a 67%, la humedad de saturación de

19,19% a 23,92% sin superar el límite líquido, de la misma forma se efectuó para la parte superficial un ensayo de percolación, el cual arroja una permeabilidad de 0,24 cm/s y un peso saturado oscilando de 2,06 g/cm<sup>3</sup> a 2,18 g/cm<sup>3</sup>. Sabiendo que la influencia sobre el talud es por precipitación, se utilizó el tiempo de concentración hallado para determinar características del frente húmedo, la cual es la masa de agua que por efectos de gravedad ingresa al suelo, calculando el espesor del frente húmedo de 2,50 m y su velocidad promedio dentro del suelo de 0,48 cm/s, teniendo en cuenta que la velocidad disminuye conforme se profundiza en el estrato.

El ingreso del frente húmedo al suelo solo es posible en suelo descubierto, conociendo las distribuciones de los usos y coberturas del suelo, los mayores porcentajes de cobertura corresponden con zonas arbustivas o arbóreas (75%), la incidencia de la lluvia se presenta en la mayor parte del área, aunque no se evidencia procesos erosivos. La infiltración en el suelo es media con relación a la captación de esorrentía por la vegetación del lugar, lo cual pudo causar el debilitamiento del parqueadero y el posterior hundimiento o asentamiento en la zona.

Para efectos prácticos se mostrará dentro del modelo geológico – geotécnico la incidencia del agua usando el Factor  $R_u$ , definido para todos los estratos con un valor promedio de 0,459 y como parte de la consideración que el talud se encuentra totalmente saturado.

#### Criterios para la definición y el diseño de medidas del drenaje

Debido a que no fue posible encontrar en el área del proyecto ningún afloramiento de agua, el 75% del área cubierta por vegetación y su alto grado de probabilidades de generar infiltración, es recomendable seguir todos los criterios determinados desde el punto de vista hidráulico ya que las medidas de drenaje que se tengan que proponer más adelante serán de control y manejo de aguas superficiales.

#### 4.10 Resultados del modelo geológico – geotécnico

À la hora de realizar un modelo geológico – geotécnico, es necesario tener en cuenta la caracterización geotécnica, el análisis y el levantamiento geológico y geomorfológico; toda la información es útil y de esta manera se establecen las características mostradas a continuación:

- En la zona superior de los perfiles y cerca al muro de contención actual, se encuentra un material de relleno, corresponde dentro del material de vía en una profundidad de 6,50 metros, después del muro y sobre el talud; el material de relleno disminuye a menos de 4,5 metros de profundidad, lo que deja claro que el muro de contención se encuentra sobre este material, proyectándose de esta manera a lo largo del talud la continuidad en la zona superior de las siguientes propiedades:

	RELLENO COHESION (KPA)= 20.2 ANGULO DE FRICCIÓN (°)=20.2 PESOS ESPECIFICO (TN/M3)= 1.93
---	--

- En la parte inferior y aledaña al material de relleno se encuentra un material aluvial propio de la formación de terraza y cono de deyección, catalogada como depósitos de flujo de escombros (Qfe); en el presente estudio se calificó como Unidad A, con las siguientes propiedades:

	DEPOSITO ALUVIAL QUATERNARIO COHESION (KPA)= 18.5 ANGULO DE FRICCIÓN (°)=20.2 PESOS ESPECIFICO (TN/M3)= 1.95
---	---

- Dentro de la franja superior se logra evidenciar un estrato superficial inferior a 1,0 metros de profundidad, el cual tiene características de

base, las cuales se obtienen con relación a la calidad de golpes que presenta, por medio de la exploración geotécnica número 1; se asume el estrato como parte de la estructura del pavimento, sus propiedades son:

	BASE COHESION (KPA)= 25 ANGULO DE FRICCION (°)=29.0° PESOS ESPECIFICO (TN/M3)= 1.80
---	--

- Para los materiales compactados de acuerdo con las especificaciones de INVIAS INV E 300 – 07, para material de compactación, se asume las siguientes características:

	RELLENO COMPACTADO COHESION (KPA)= 15 ANGULO DE FRICCION (°)=30.0° PESOS ESPECIFICO (TN/M3)= 1.80
--	--

Las propiedades geomecánicas son obtenidas de la evaluación de los cortes directos que han sido recolectados, además del número de golpes de los ensayos de penetración por percusión con relación a la correlación existente para la captación de las propiedades del subsuelo (geomecánicas) (Figura 95 y 96).

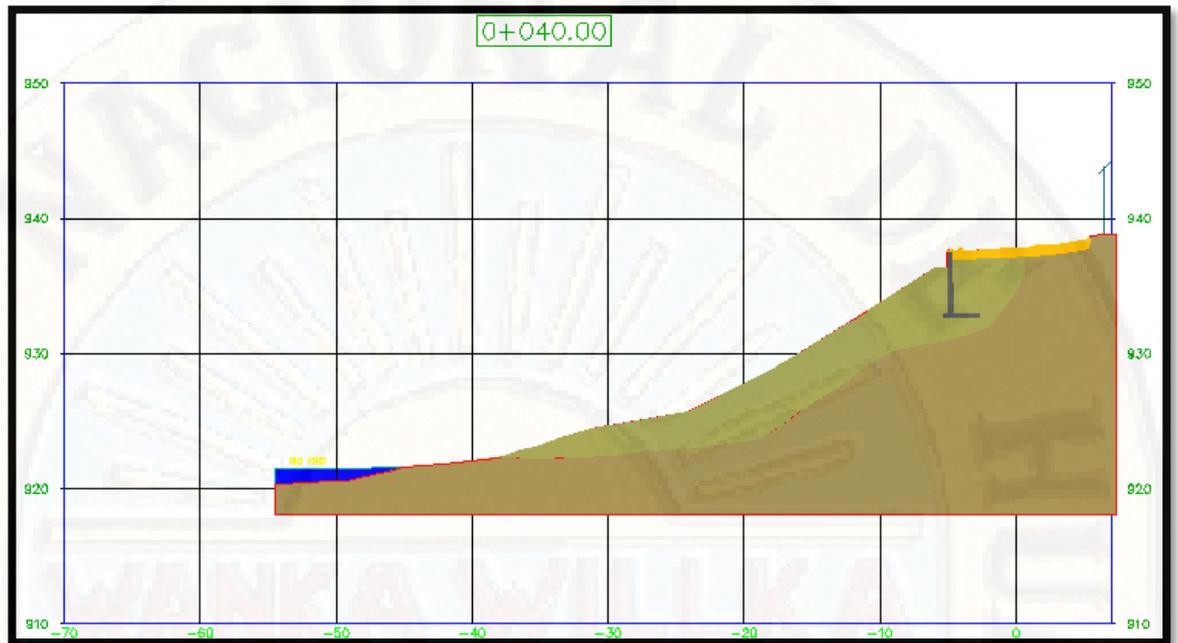


Figura 95. Modelo Geológico – Geotécnico del perfil actual 0+040.

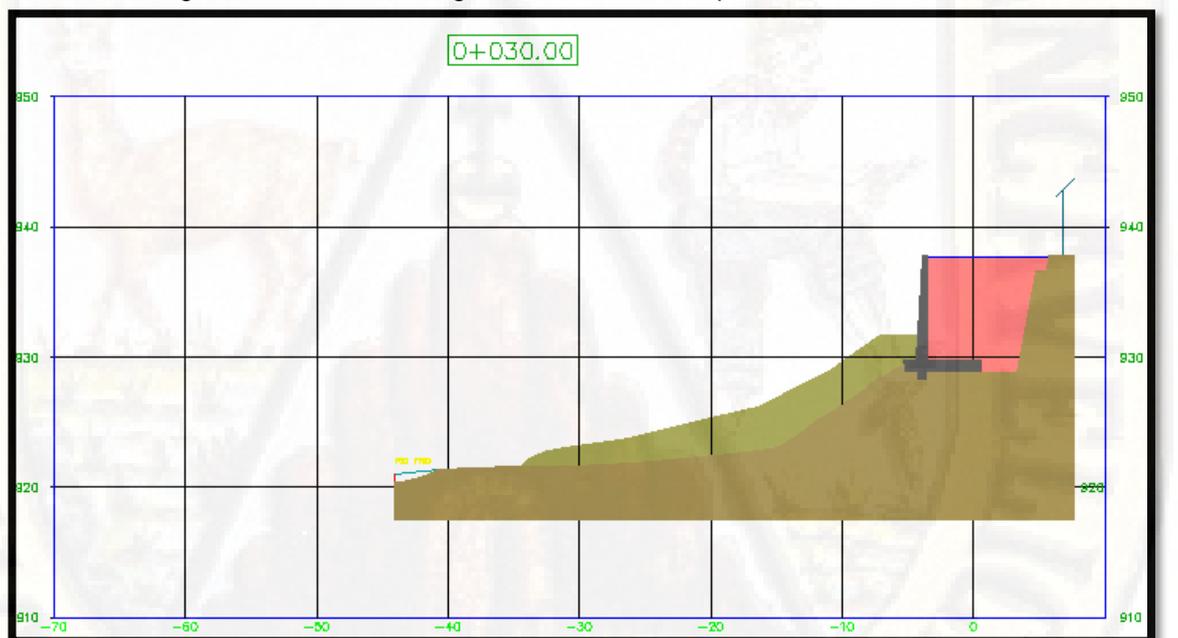


Figura 96. Modelo Geológico – Geotécnico del perfil proyectado con mejoramiento de relleno 0+030.

#### 4.11 Análisis de Evaluación de la Amenaza por Fenómenos de Remoción en masa (Análisis de Estabilidad)

El análisis de estabilidad posee como punto de partida los perfiles

topográficos y las propiedades mecánicas del suelo, las últimas obtenidas por medio del modelo en el subcapítulo anterior (modelo geológico – geotécnico). El modelamiento se realizó con el Software Slope/W de GeoStudio para las condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

### Generalidades

El talud se encuentra ubicado en la franja norte del barrio Los Nogales, modelado por medio de los ensayos de campo y laboratorio, apoyado por medio de la topografía, indicando los perfiles a los cuales se les realizan los respectivos corrimientos con el Software Slope/W de GeoStudio International Ltd. en condiciones estáticas y dinámicas (Figura 97).

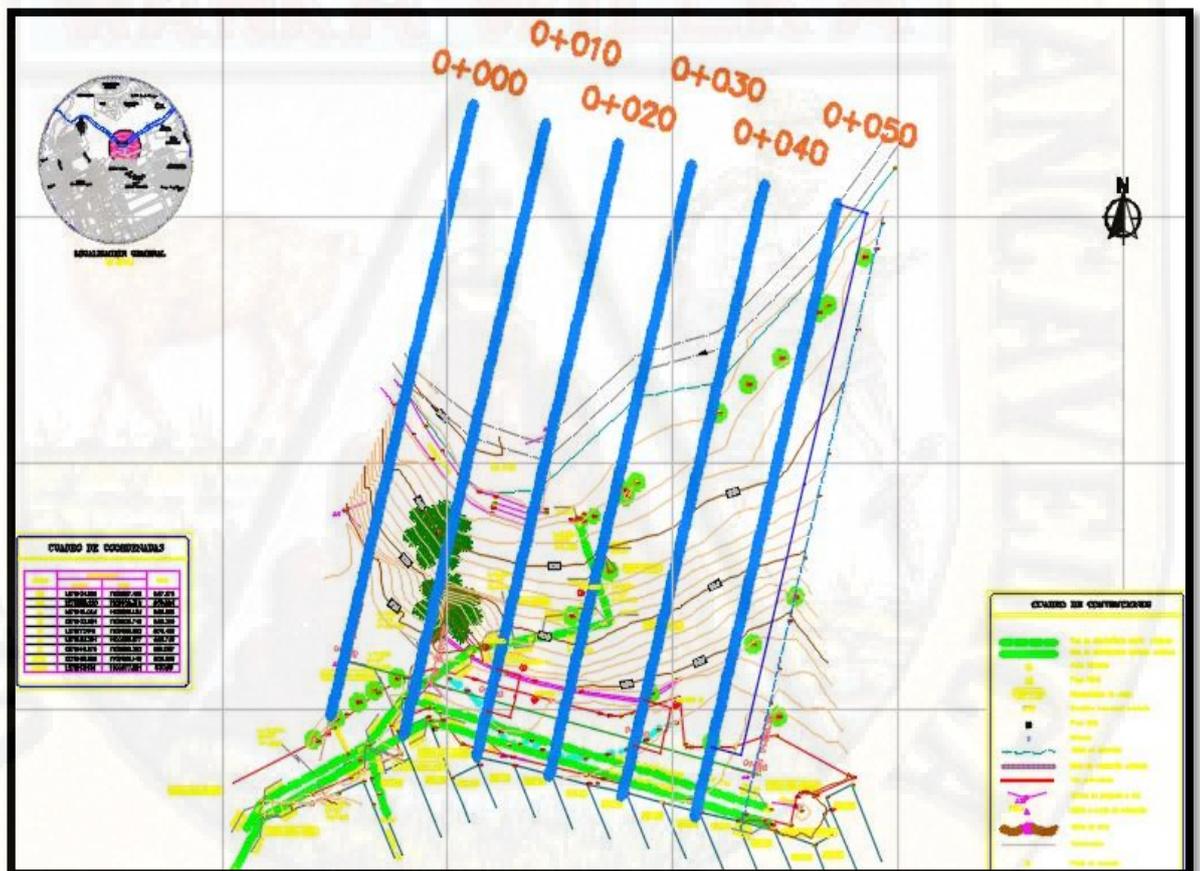


Figura 97. Vista en planta de las ubicaciones de las secciones utilizadas para el modelo de estabilidad.

### Modelo de Estabilidad

Los resultados dentro del análisis de estabilidad son obtenidos por medio de

diferentes autores, enumerando de esta manera los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern – Price, Bishop y Spencer en condiciones estáticas y dinámicas

Para determinar los modelos, se plantean dos escenarios críticos, el primero se realiza en condiciones estáticas y el segundo contempla la carga sísmica y peso de la infraestructura presente en la zona en un escenario pseudo-estático, el cual se encuentra definido por la NSR-10, estos escenarios se definen a continuación:

- **Escenario Estático:** Terreno en condición natural con ausencia de saturación, debido a que durante las perforaciones de campo no se identificaron niveles freáticos.
- **Escenario Dinámico:** Terreno en condición natural con ausencia de saturación, en el cual se aplica una aceleración pseudo-estática de 0,32 g (con base al análisis sísmico realizado en el proyecto actual).

$K_{st} = 0,32 \text{ g}$ ; valor tomado para el análisis pseudo-estático.

- **Determinación del parámetro  $R_u$ :** El valor promedio para este parámetro estuvo definido con anterioridad en **0,459**; para efectos prácticos se mostrará dentro del modelo geológico – geotécnico la incidencia del agua usando el factor de  $R_u$  en el análisis de estabilidad.

#### Análisis de Estabilidad en condiciones actuales

Los factores de seguridad son obtenidos luego de realizar los modelamientos a las secciones descritas anteriormente mediante el Software Slope/W según los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern – Price, Bishop y Spencer en condición estática y pseudo-estática (Figura 98).

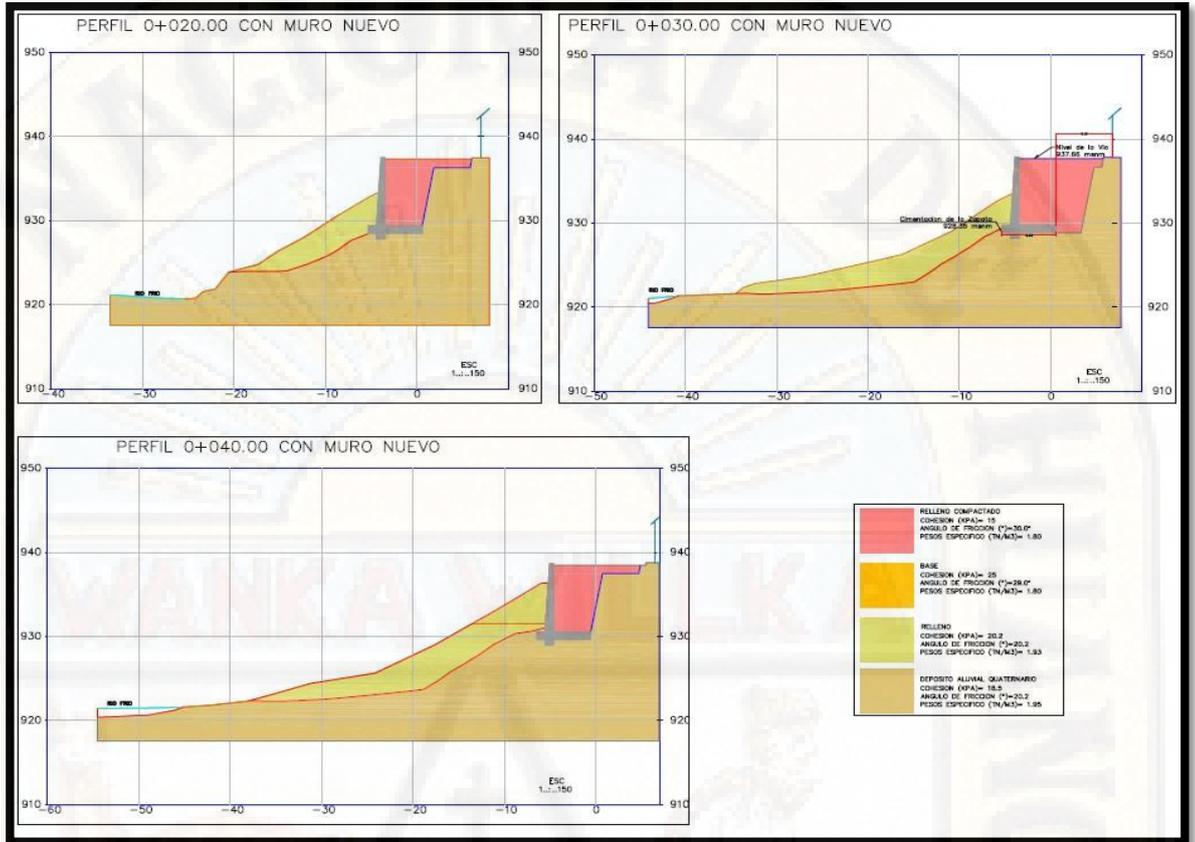


Figura 98. Vista de perfil para el modelo de estabilidad. Fuente: Propia.

### Análisis Estático

Análisis estático en condiciones actuales sección 0+000 (Figura 99).

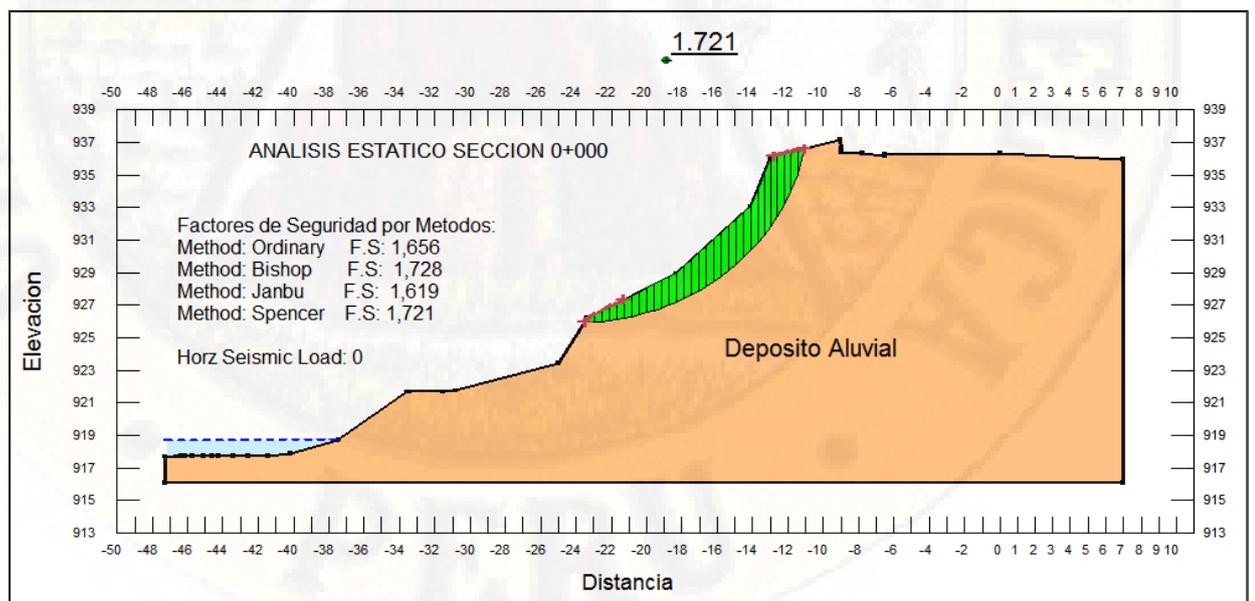


Figura 99. Modelo de perfil de la sección 0+000.

Análisis estático en condiciones actuales sección 0+010 (Figura 100).

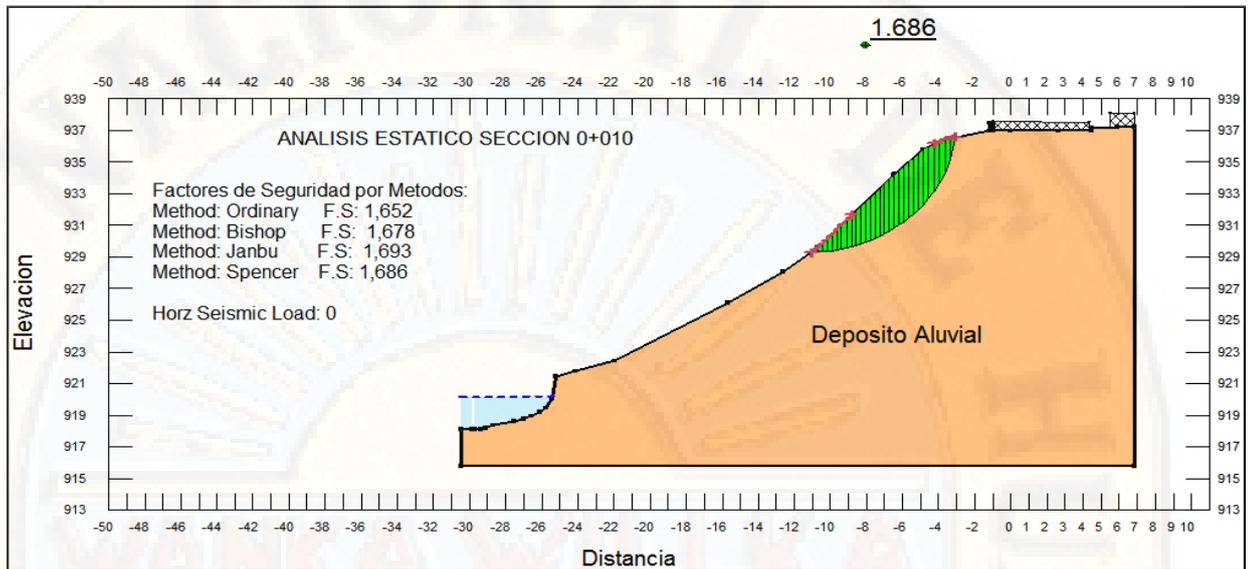


Figura 100. Modelo de perfil de la sección 0+010.

Análisis estático en condiciones actuales sección 0+020 (Figura 101).

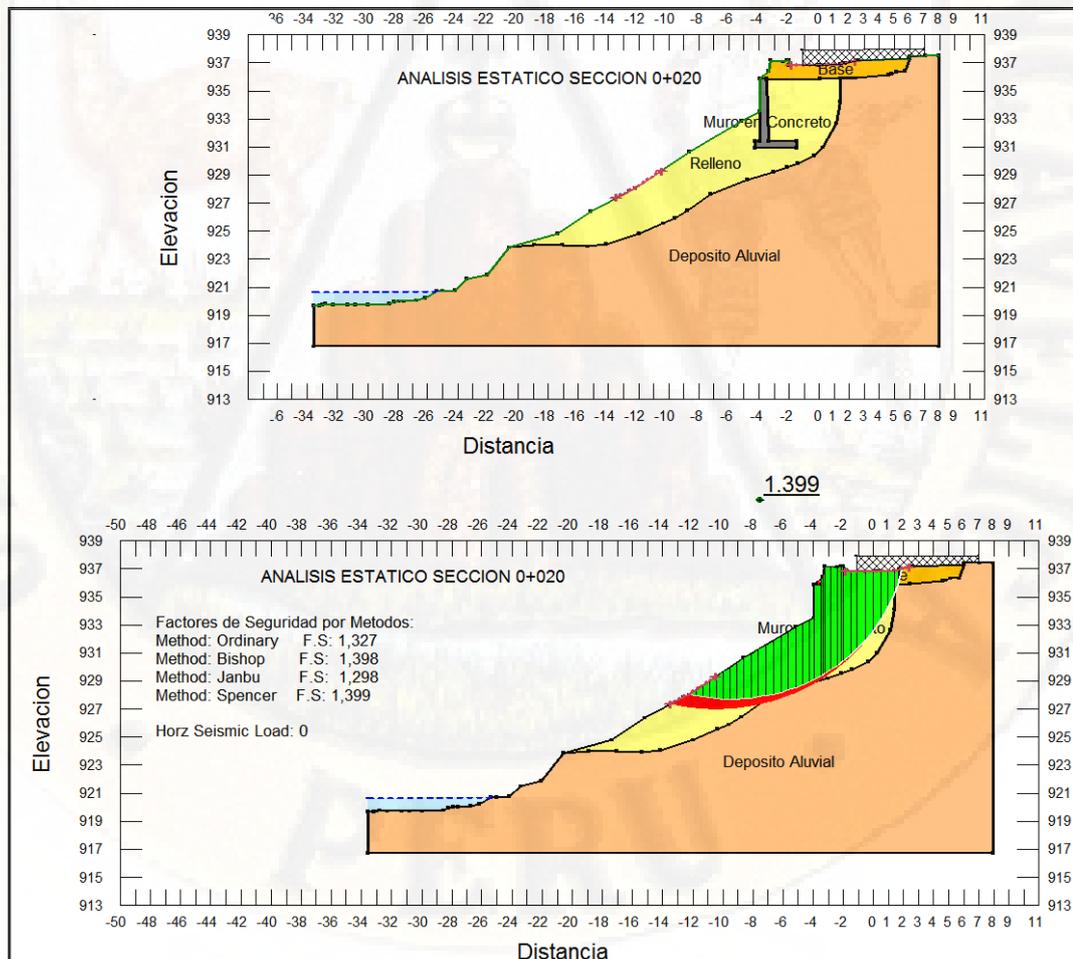


Figura 101. Modelo de perfil de la sección 0+020.

Análisis estático en condiciones actuales de la sección 0+030 (Figura 102).

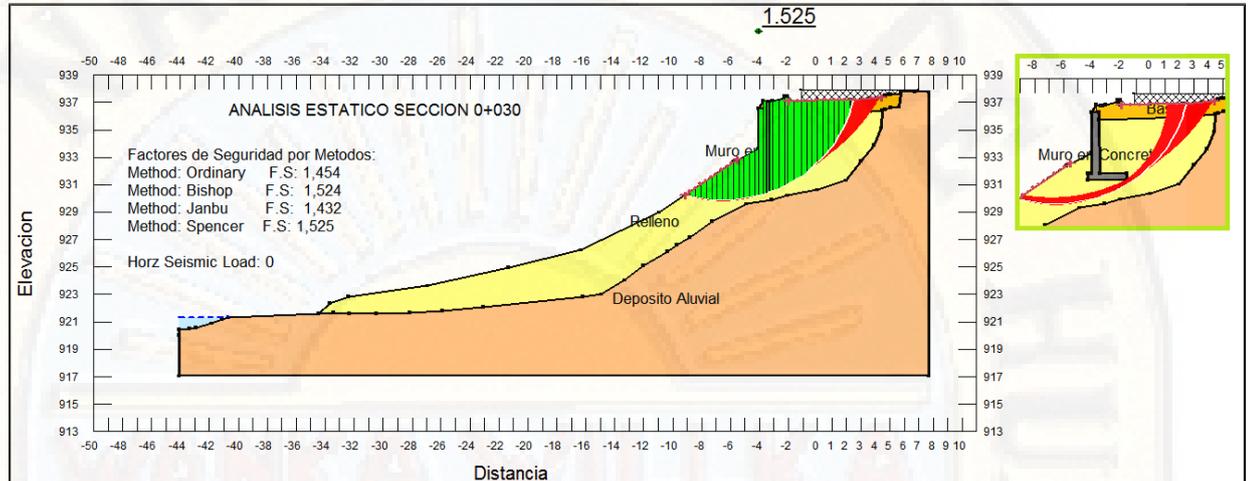


Figura 102. Modelo de perfil de la sección 0+030.

Análisis estático en condiciones actuales de la sección 0+040 (Figura 103).

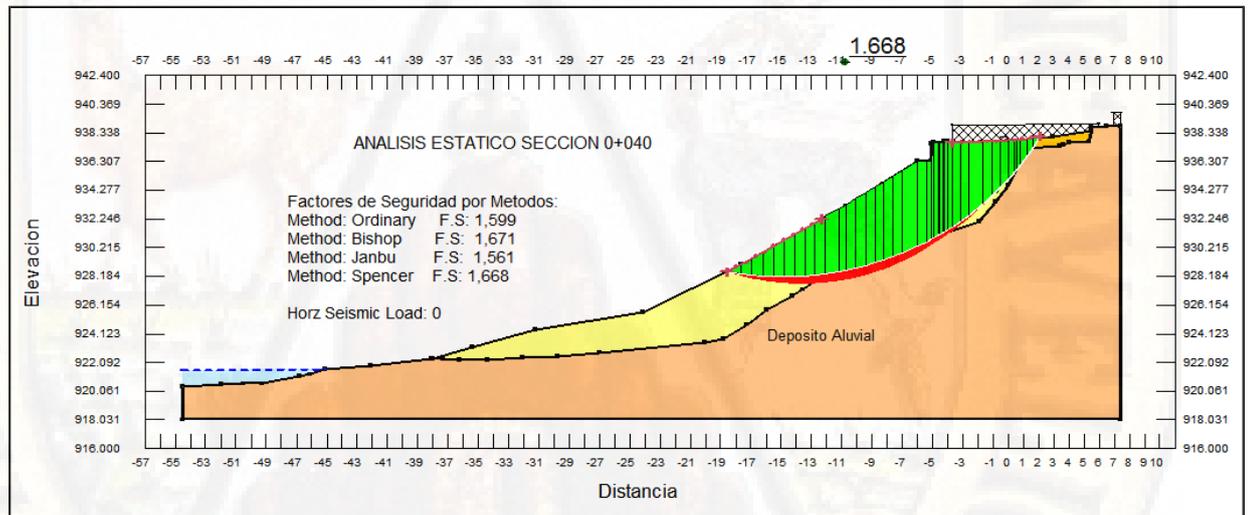


Figura 103. Modelo de perfil de la sección 0+040.

Análisis estático en condiciones actuales de la sección 0+050 (Figura 104).

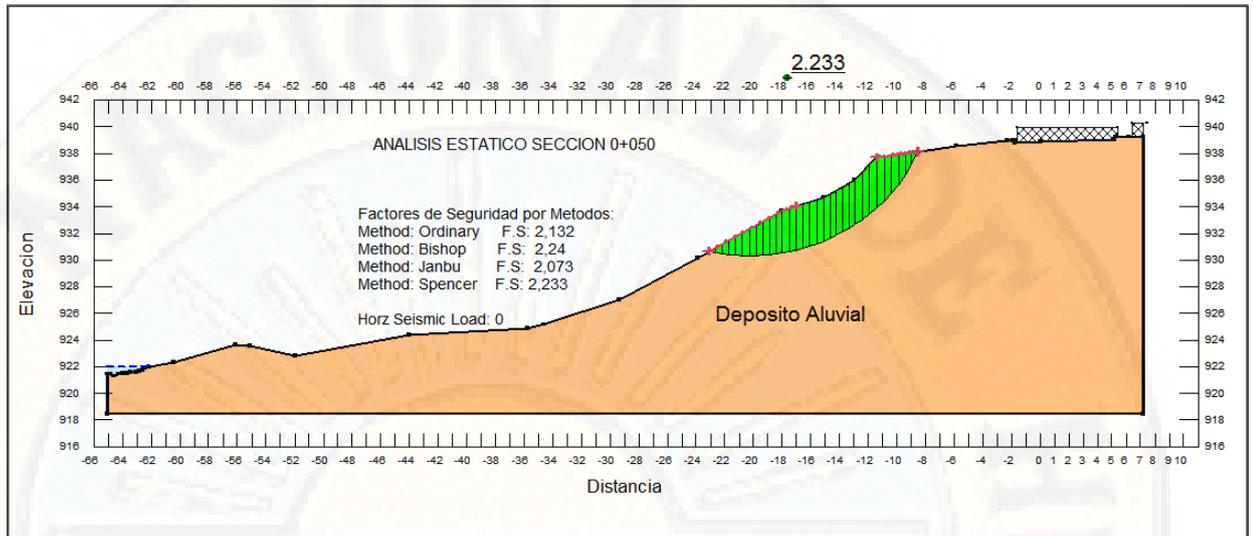


Figura 104. Modelo de perfil de la sección 0+050.

Resultados del Análisis de Estabilidad en condiciones estáticas actuales.

Tabla 44. Valores de F.S, análisis estático en condiciones actuales.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS, SECTOR LOS						
N° Sección	Descripción	Método Ordinary	Método Bishop	Método Janbu	Método Spencer	Amenaza
PERFIL 1	Sección 0+000	1,656	1,	1,6	1,72	BAJA
PERFIL 2	Sección 0+010	1,652	1,	1,6	1,68	BAJA
PERFIL 3	Sección 0+020	1,327	1,	1,2	1,39	MEDI
PERFIL 4	Sección 0+030	1,454	1,	1,4	1,52	MEDI
PERFIL 5	Sección 0+040	1,599	1,	1,5	1,66	BAJA
PERFIL 6	Sección 0+050	2,132	2,2	2,0	2,23	BAJA

Análisis de Estabilidad en condiciones pseudo-estáticas actuales.

Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+000 (Figura 105).

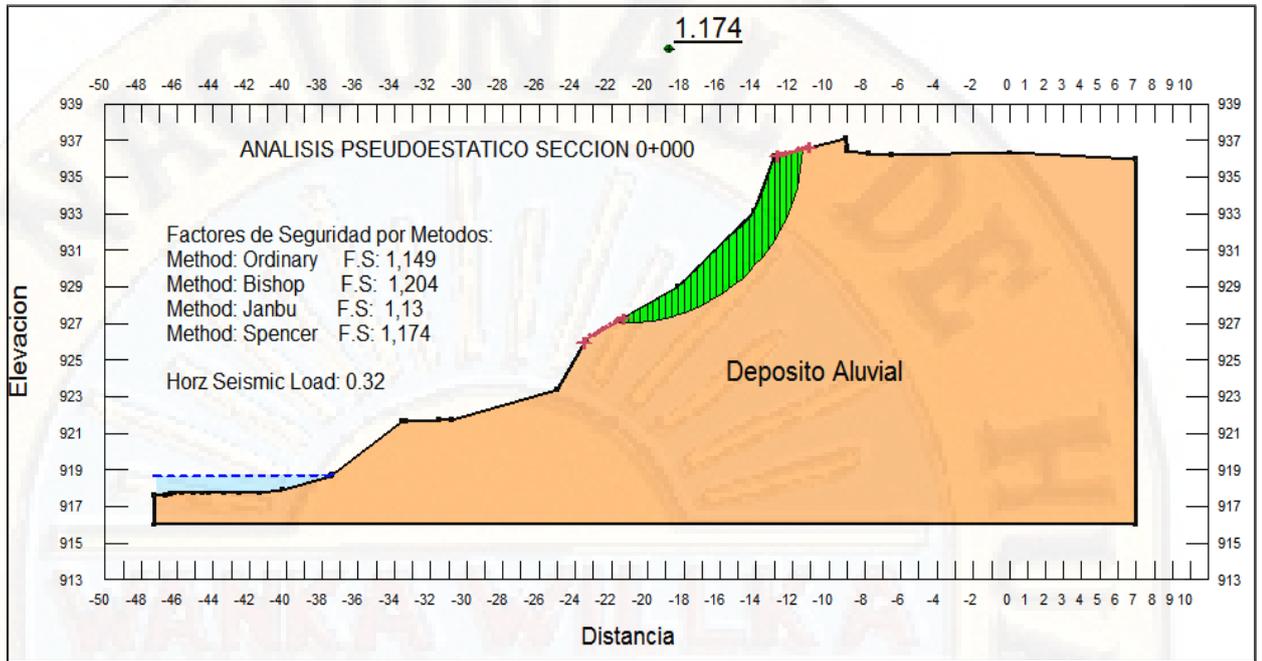


Figura 105. Modelo del perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+000.

Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+010 (Figura 106).

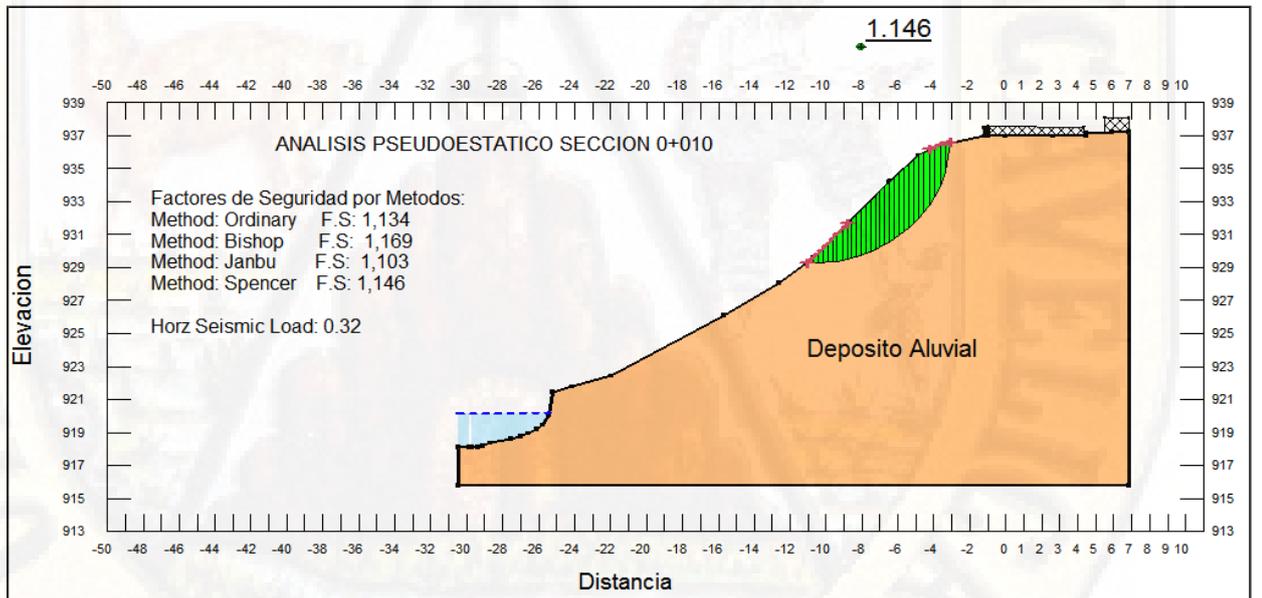


Figura 106. Modelo del perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+010.

Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+020 (Figura 107).

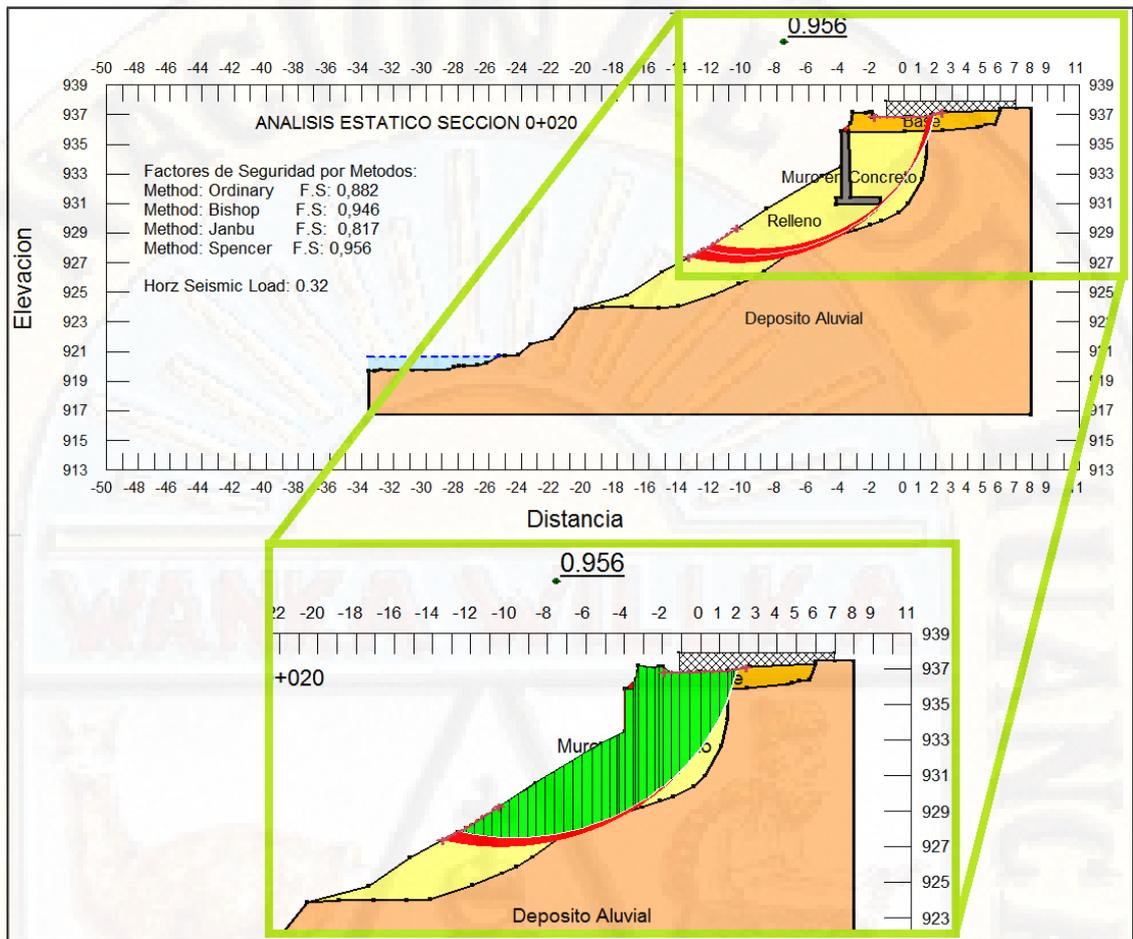


Figura 107. Modelo del perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+020.

Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+030 (Figura 108).

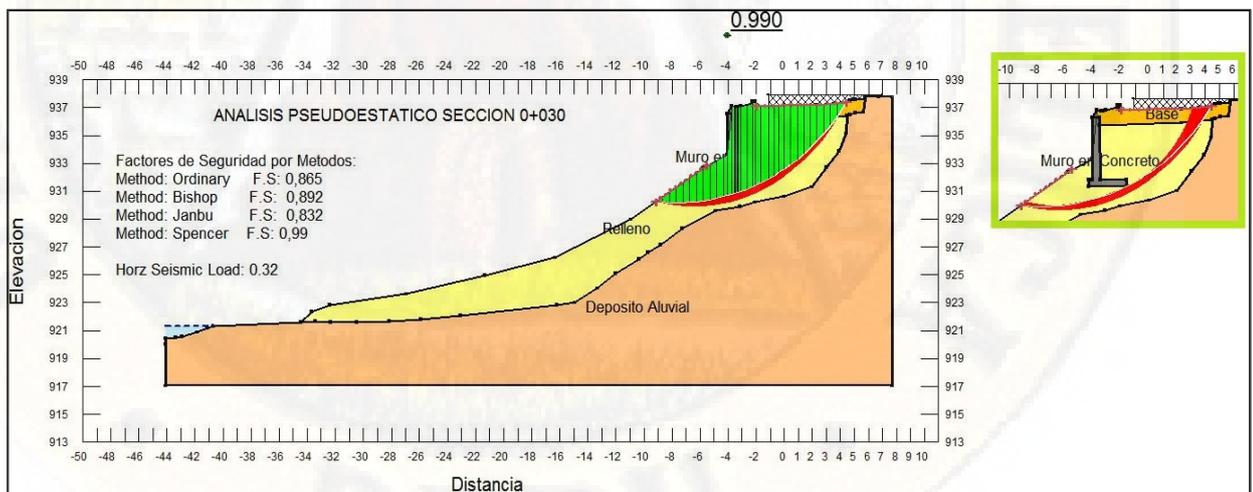


Figura 108. Modelo de perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+030.  
 Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+040 (Figura 109).

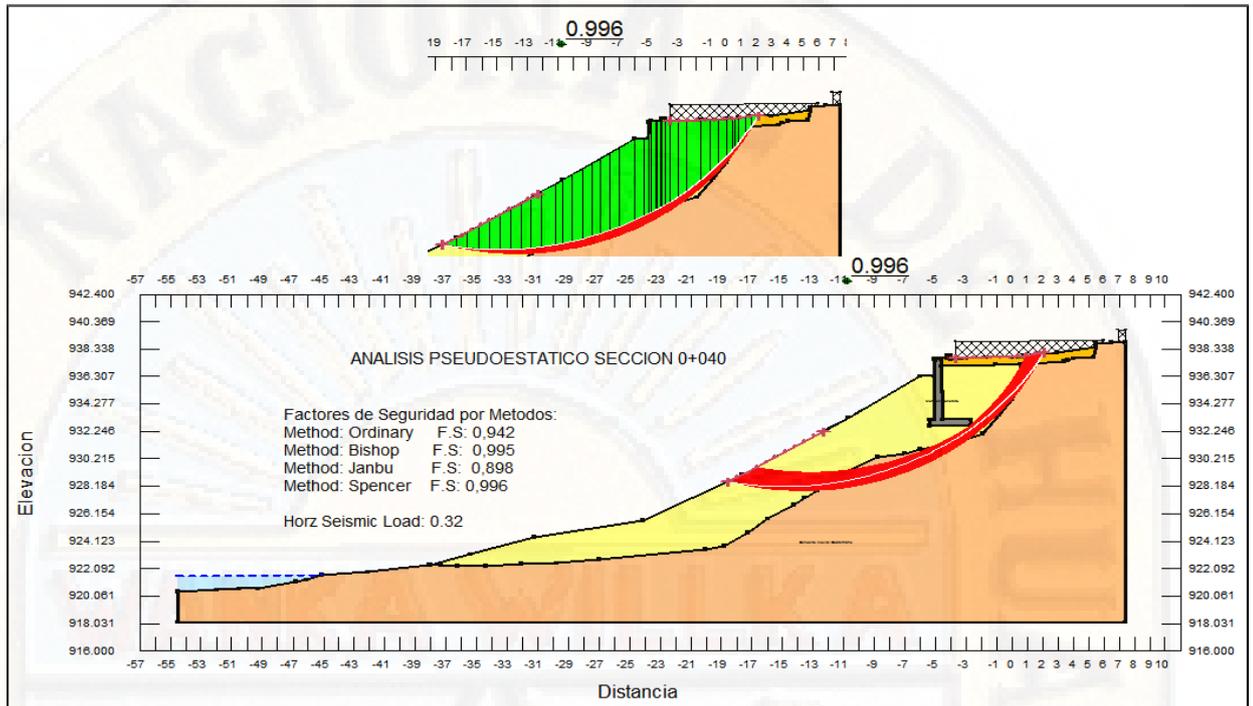


Figura 109. Modelo de perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+040.

Análisis dinámico en condiciones actuales de la sección 0+050 (Figura 110).

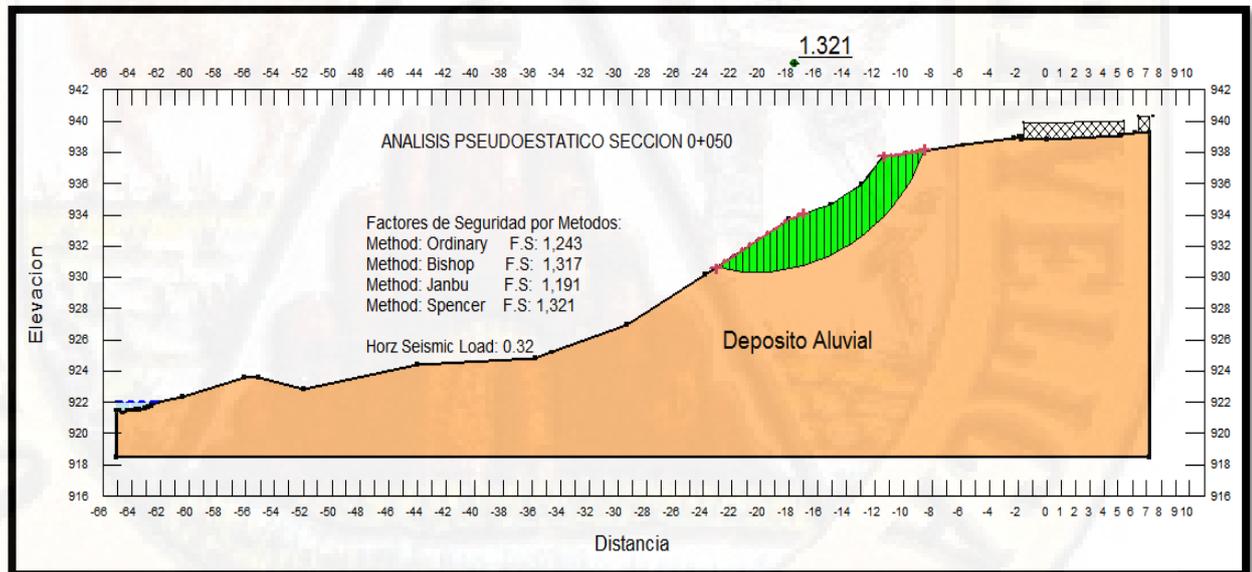


Figura 110. Modelo de perfil dinámico en condiciones actuales de la sección 0+050.

Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones dinámicas actuales.

Tabla 45. Valores de F.S, Análisis dinámico en condiciones actuales.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS, SECTOR LOS NOGALES						
N° Sección	Descripción	Método Ordinari	Método Bishop	Método Janbu	Método Spencer	Amenaza
PERFIL 1	Sección 0+000	1,149	1,204	1,130	1,174	MEDIA
PERFIL 2	Sección 0+010	1,134	1,169	1,103	1,146	MEDIA
PERFIL 3	Sección 0+020	0,882	0,946	0,817	0,956	ALTA
PERFIL 4	Sección 0+030	0,865	0,892	0,832	0,99	ALTA
PERFIL 5	Sección 0+040	0,942	0,995	0,898	0,996	ALTA
PERFIL 6	Sección 0+050	1,243	1,317	1,191	1,321	BAJA

#### Sistema de Falla del Muro de Contención

La determinación del modo en que falla la obra de contención (muro de contención para el proyecto) se debe inspeccionar y valorar varios parámetros, definiendo las variables como:

- Resistencia a la compresión del concreto utilizado: Para analizar el efecto se realizaron nueve (9) pruebas de resistencia a la compresión de forma no destructiva por el método del Martillo Smith (Ver resultado del Anexo Ensayo Esclerométrico) (Figura 111 y 112) (Anexo B).



Figura 111. Ubicación del sector para la toma del dato de resistencia.



Figura 112. Toma de datos por medio del Martillo Smith.

- Nivel de cimentación adecuado para el muro de concreto: se evalúa esta posibilidad por medio de un sondeo de perforación mecánico, de esta manera se puede determinar las características del perfil estratigráfico del terreno (Figura 113).



Figura 113. Franja de excavación al pie del muro de contención.

- Dimensiones del muro existente: Se realizan las medidas del muro de contención por medio de la visita de campo y corroborar las dimensiones de la obra en concreto (Figura 114).



Figura 114. Toma de medidas del muro de contención en concreto existente.

- Evaluación física del muro: Se realizó una inspección visual del muro de contención, donde se pudo identificar grietas con espesores mayores a 1 cm (Figura 115, 116 y 117).



Figura 115. Regla guía para la medición de fisuras o agrietamientos.



Figura 116. Fisura dentro del muro de contención.



Figura 117. Fisura horizontal dentro del muro de contención.

- Drenes o lloraderos: Durante la inspección visual se pudo observar que, durante el proceso constructivo del muro de contención, no se construyeron adecuadamente, encontrándose a contrapendiente de la

dirección del muro de contención (Figura 118).



Figura 118. Lloraderos en contrapendiente en el muro de concreto.

Los asentamientos diferenciales de los cimientos son producidos posteriormente a la terminación de la construcción de la obra. Si los asentamientos son parejos no generan grandes problemas.

Para el problema identificado en el sector se establece asentamientos propios del relleno ubicado en el trasdós del muro de contención, de igual manera la estructura sufrió asentamientos en los costados de la interfaz del relleno y el suelo natural, estos asentamientos no son proporcionales entre sí; por lo cual se puede observar grandes cantidades de grietas con espesores mayores a 1 cm.

En el subcapítulo de diseño de obras de mitigación se analizan las posibles soluciones que se pueden aplicar desde la parte técnico – económica, para

garantizar la calidad de la obra.

#### **4.12 Diseño de Obras de Mitigación**

Una vez determinado las posibles causas que ocasionan la afectación en el sector del barrio Los Nogales, se propone realizar un análisis técnico donde se determina la solución con la presencia de dos alternativas.

Entre las obras a evaluar se encuentran:

- Demoler y construir un nuevo muro, cimentado en el estrato competente.
- Reforzar la cimentación actual mediante la construcción de Caisson de aproximación unidos por una viga cabezal debajo de la punta y el vasado de muro.

##### **4.12.1 Diseño de la alternativa número 1, muro de concreto reforzado**

CONVERSIONES:

**F:** Fuste o Pantalla Base      **e:** Espesor de la zapata base      **P:** Puntera de la base  
**B:** Base del cimiento      **H':** Altura total del muro      **T:** Talón de la base  
**H1:** Altura del relleno por encima de la corona      **C:** Espesor de la corona del muro      **H2:** Altura de la pantalla  
**a:** Ángulo de inclinación del terreno      **Y:** Ángulo interno del muro      **H':** Altura total borde interno del muro

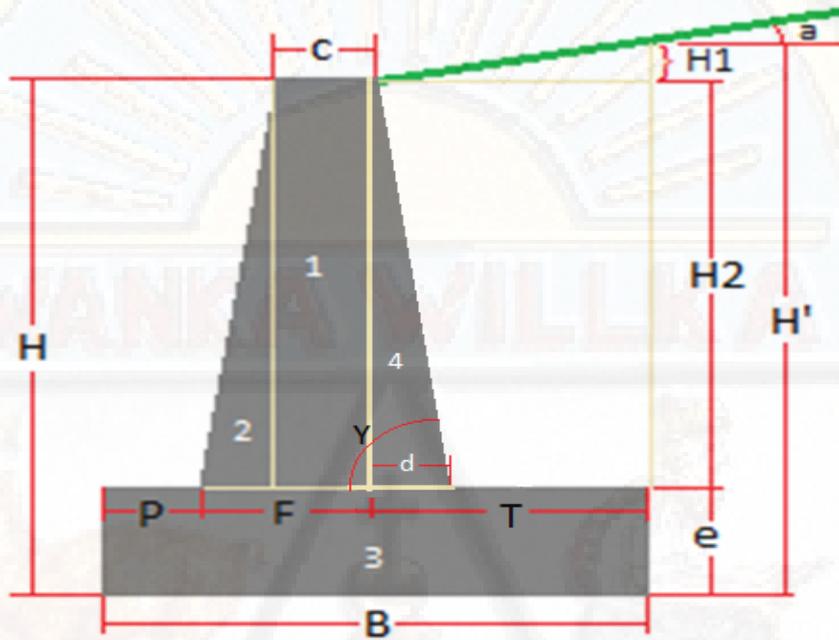


Tabla 46. Dimensionamiento del muro.

Propiedades Geométricas					
<b>H</b> =	9.00	m	<b>Y</b> =	90.00	°
<b>B</b> [0.5H < B < 0.7H] =	5.85	m	<b>C</b> [F - 0.02H] =	0.40	m
<b>e</b> [0.1H] =	0.90	m	<b>P</b> [0.1H] =	0.90	m
<b>F</b> [0.1H] =	0.90	m	<b>T</b> [B - F - P] =	4.05	m
<b>H1</b> [T * tan(Φ)] =	0.00	m	<b>H2</b> [H - e] =	8.10	m
<b>d</b> [H2 / sen y * cos y] =	0.00	m	<b>H'</b> [H + H1] =	9.00	m

Tabla 47. Propiedades geotécnicas.

Propiedades del Relleno		Propiedades del Suelo de Cimentación	
Ángulo en la corona (°)	0.0 0	Profundidad de la Cimentación. Df (m)	2.0 0
Ángulo de Fricción (°)	30. 00	Angulo de Fricción (°)	24. 90
Cohesión (kN/m²)	20.	Cohesión (kN/m²)	18.
Peso Específico (γ=kN/m³)	18. 00	Peso Específico (γ= kN/m³)	19. 50
Coefficiente de Presión Ko	0.5 0	Coefficiente de Presión Ko	0.5 8
Coefficiente de Presión Ka	0.3 3	Coefficiente de Presión Ka	0.4 1
Coefficiente de Presión Kp	3.0 0	Coefficiente de Presión Kp	2.4 5

Tabla 48. Propiedades del concreto.

F'c (Mpa)	21	E (Mpa)	21538.1057 7	Fy (Mpa)	420
				Peso (Kg/m³)	2400

Tabla 49. Empuje de tierra con sobrecarga.

	Figura	Brazo X (m)	Área (m²)	Peso (Kg/m)	Momento X (Kg-m/m)
MURO	1	1.60	3.24	7776.00	12441.60
	2	1.233	2.03	4860.00	5994.00
	3	2.93	5.27	12636.00	36960.30
	4	0.00	0.00	0.00	0.00
RELLENO	5	3.83	32.81	59049.00	225862.43
	6	0.00	0.00	0.00	0.00
SOBRECARG		3.63	-----	4806.00	17421.75

<b>EMPUJE ACTIVO DE LA TIERRA</b>	<b>EMPUJE PASIVO DE LA TIERRA</b>
Ea [kg/m] = 24300	Ep [kg/m] = 21165.6708
Eah [kg/m] = 24300	

$E_{av}$ [kg/m] =	0	<b>EMPUJE DE LA SOBRECARGA</b>	
Aplicación en X	0.00	$E_s$ [kg/m]=	3240
Aplicación en Y	3.00	Aplicación en Y	4.50 m

**EMPUJE TOTAL SOBRE EL MURO**  
 $E_a$  [kg/m]= 27540

<b>FUERZAS VERTICALES</b> $R_v$ [kg/m]= 89127.00	<b>FUERZAS DE ROZAMIENTO</b> Fricción suelo-muro $[\delta]$ = 16.60 $c' = 925$ <span style="float:right"><math>\mu = 0.45</math></span> $Fr$ [kg/m] = 45266.119
---	--

**FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO**  
 FS 1.64  
**OK CUMPLE MAYOR A 1.5**

<b>MOMENTO DE VOLCAMIENTO</b> $M_v$ [kg-m/m]= 87480	<b>MOMENTO ESTABILIZANTE</b> $M_e$ [kg-m/m]= 298680.08
--	---

**FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL VOLCAMIENTO**  
 FS 3.41  
**OK CUMPLE MAYOR A 2.00**

**PRESIÓN DE CONTACTO MURO – SUELO DE FUNDACIÓN**

<b>CARGA ADMISIBLE DEL SUELO</b> $Q_{ult}$ 12.60 $Q_{adm}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]= 4.2	<b>EXCENTRICIDAD DE LA FUERZA RESULTANTE</b> $X_r$ 2.37 m $e_x$ [m] 0.56 <b>OK, menor a 0.6</b>
---	---

<b>ESFUERZO MÁXIMO</b> $\sigma_{MAX} = 23913.25444$ [kg/m <sup>2</sup> ] 2.39 [kg/cm <sup>2</sup> ] <b><math>\sigma_{MAX} &lt; \sigma_{ADM}</math>,</b>	<b>ESFUERZO MÍNIMO</b> $\sigma_{MIN} = 6557.514793$ [kg/m <sup>2</sup> ] 0.66 [kg/cm <sup>2</sup> ]
--	---

**EMPUJE DE TIERRA CON SISMO**

<b>PARÁMETROS SÍSMICOS</b>			
$A_a$ 0.25	$F_a = 1.3$	$A_d = 0.05$	
$A_v$ 0.25	$F_v = 1.9$	$A_e = 0.09$	
Tipo de Suelo = D		Región = 5	
Coefficiente de	1.25	Grupo = III	



**RESULTANTE DE LAS FUERZAS VERTICALES**

Rv [kg/m]= 89127.00

**FUERZA DE ROZAMIENTO**

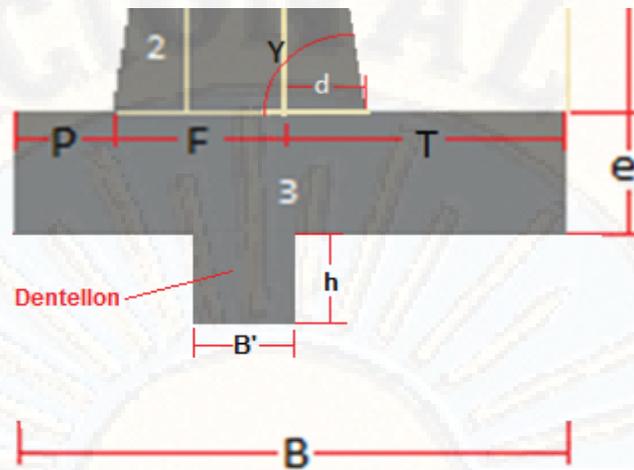
Fr [kg/m]= 45266.12

**FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO**

FS= 1.30

**NO CUMPLE, AGREGUE DENTELLON**

## EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD COLOCANDO UN DENTELLÓN



### DIMENSIONES DE LA LLAVE

$$B' \text{ (m)} = 0.90 \quad h \text{ (m)} = 0.64$$

### PRESIÓN PASIVA SUPERIOR

$$\sigma_{ps} \text{ [kg/m}^3\text{]} = 9572.34$$

### PRESIÓN PASIVA INFERIOR

$$\sigma_{pi} \text{ [kg/m}^3\text{]} = 12630.70$$

### EMPUJE PASIVO ACTUANDO SOBRE EL DENTELLÓN

$$E_p \text{ [kg/m]} = 7093.87$$

### FUERZA DE ROZAMIENTO

$$F_r \text{ [kg/m]} = 52359.99$$

### FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL DESLIZAMIENTO

$$FS = 1.50$$

**OK CUMPLE MAYOR A 1.50**

### MOMENTO DE VOLCAMIENTO

$$M_v \text{ [kg-m/m]} = 120182.11$$

### MOMENTO ESTABILIZANTE

$$M_E \text{ [kg-m/m]} = 298680.075$$

### FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA EL VOLCAMIENTO

$$FS = 2.50$$

**OK CUMPLE MAYOR A 2.00**

<b>CARGA ADMISIBLE DEL SUELO</b>	<b>EXCENTRICIDAD DE LA FUERZA RESULTANTE</b>		
$Q_{ult}$ [kg/cm <sup>2</sup> ] = 8.1	$X_r$	2.00	m
$Q_{adm}$ [kg/cm <sup>2</sup> ] = 4.05	$e_x$ [m]	0.92	Ok, menor a B/6

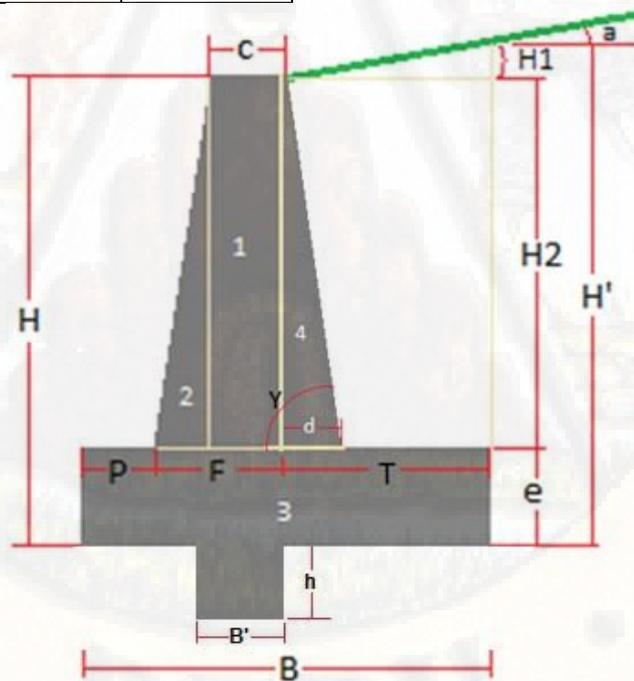
### PRESIÓN DE CONTACTO MURO – SUELO DE FUNDACIÓN

<b>ESFUERZO MAXIMO</b>	<b>ESFUERZO MINIMO</b>
$\sigma$ MAX = 29646.7 [kg/m <sup>2</sup> ] 2.96 [kg/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma$ MIN = 824.0742 [kg/m <sup>2</sup> ] 0.08 [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\sigma$ MAX < $\sigma$ ADM, OK	

### DIMENSIONES DEFINITIVAS

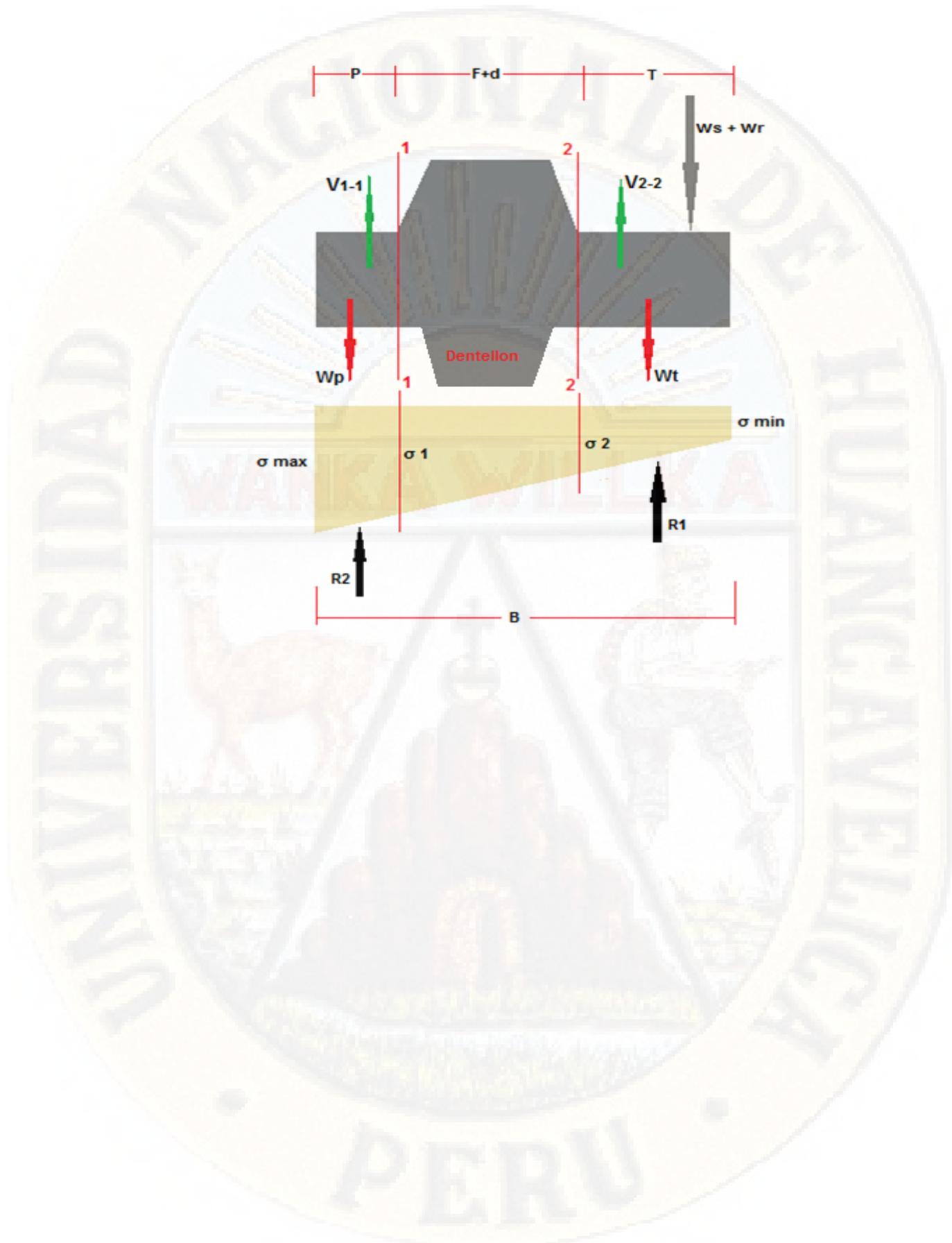
Tabla 50. Dimensiones definitivas.

H =	9.00	m	Y =	90.00	°
B	5.90	m	C [F-0.02H] =	0.40	m
he [0.1H] =	0.90	m	P [0.1H] =	0.90	m
F [0.1H] =	0.90	m	T [B-F-P] =	4.10	m
H1 [T*tan(Φ)] =	0.00	m	H2 [H-e] =	8.10	m
d [H2/senγ*cosγ]	0.00	m	H' [H+H1] =	9.00	m
Ángulo [α] =	0.00	°	B' [0.1H] =	0.9	m
h [0.1H] =	0.64	m			



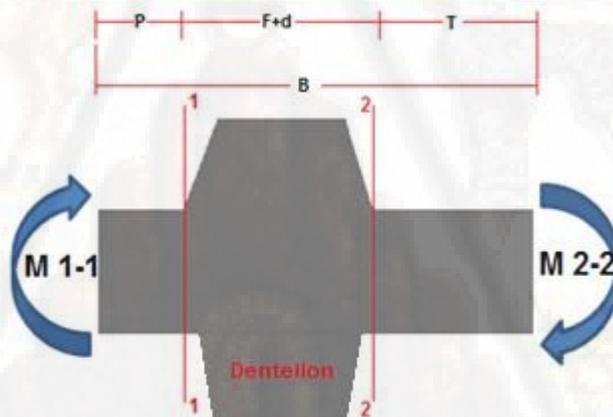
### ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

#### Análisis y Diseño para la base



PUNTA DE LA BASE DEL MURO			TALON DE LA BASE DEL MURO		
Peso (Wp) =	1944	kg/m	Peso (Wt) =	8856	kg/m
Aplicación =	0.45	m	Aplicación =	2.05	M
$\sigma$ Max =	2.96	kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma$ Min =	0.66	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma$ 1 =	2.61	kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma$ 2 =	2.26	kg/cm <sup>2</sup>
<b>Reacción del Suelo</b>			<b>Reacción del Suelo</b>		
R2 =	25097.09	kg/m	R1 =	59778.11	kg/m
<b>Fuerza Cortante en la Punta V1-1</b>			<b>Peso del Relleno</b>		
V1-1 =	23153.09	kg/m	Wr =	59778.00	kg/m
<b>Diagrama de Presión Trapezoidal</b>			<b>Aplicación = Cortante en el Talón V2-2</b>		
R triángulo =	1584.94	kg/m	Aplicación	2.05	m
Aplicación =	0.60	m	=		
R Rectángulo =	23512.16	kg/m	<b>Fuerza</b>	-13661.89	kg/m
Aplicación =	0.45	m	V2-2 =	<b>Presión Trapezoidal</b>	
<b>Momento de la Sección 1-1</b>			<b>Diagrama de</b>		
M 1-1 =	10656.6	kg/m-m	de	1.37	m
			R triángulo =		
			R Rectángulo	26885.81	kg/m
			Aplicación	2.05	m

**TALON DE LA BASE DEL MURO**  
**Momento de la Sección 2-2**  
M 2-2 = 58052.7 kg/m-m



FACTOR DE MAYORACIÓN DE CARGAS			
Muerta=	1.2	Empuje	1.6
Viva=	1.6	Sismo=	1.0
<b>FSPP [kg/m] =</b>	3159	<b>ΔDEs [Kg/m]</b>	4165.49
		<b>Eah [kg/m] =</b>	24300.00
		<b>Es [kg/m] =</b>	3240.00
		<b>Factor de Mayoración de Carga Ponderado=</b>	<b>1.47</b>

DISEÑO A CORTANTE DE LA BASE			
<b>Cortante Máxima =</b>	23153.09	kg/m	d (m)= 0.83
<b>Cortante Mayorada =</b>	34126.48	kg/m	φ = 0.75
<b>Cortante del Concreto Vc</b>	64642.14	kg	B (m)= 1
Vu/φ=	45502.0		<b>OK.</b>
El valor de la Altura del Cimiento es Correcto, No requiere diseño a cortante			
<b>Espesor de Cimiento =</b>		<b>0.9</b>	<b>en m</b>

DISEÑO A FLEXIÓN DE LA BASE			
d' (m)=	0.83	φ =	0.9
d (m)=	0.85	A <sub>s</sub> MÍNIMO	16.2
			cm <sup>2</sup>
<b>Momento último en la punta</b>		<b>Momento último en el Talón</b>	
M <sub>u</sub> = 15707.334 [kg/m-m]		M <sub>u</sub> = 85566.78083 [ kg/m-m]	
Espesor de la base = 48.94 cm			

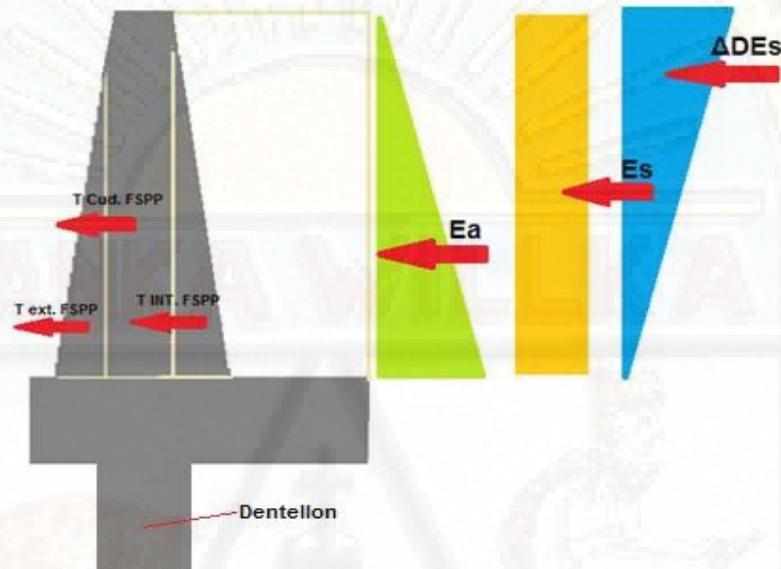
DISEÑO A FLEXIÓN DE LA BASE			
Espesor de la Zapata Requerido para Flexión=		55.94 cm	
Espesor de la Zapata)		90 cm	
<b>Espesor Adecuado para Resistir Solicitaciones de Flexión</b>			
<b>Acero Requerido en la Punta Talón</b>		<b>Acero Requerido en el Talón</b>	
A <sub>s</sub> punta =	5.04	cm <sup>2</sup> . As punta =	27.69
	<b>menor al Mínimo</b>		<b>OK</b>
A <sub>s</sub> definitivo =	16.2	cm <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> definitivo = 27.69
	cm <sup>2</sup>		
<b>1 N° 6 C/20cm.....Abajo</b>		<b>1 N° 6 C/10 cm.....Arriba</b>	

### Acero Transversal

$$A_s \text{ definitivo} = 16.2 \text{ cm}^2$$

1 N° 5 C/12.5 cm.....Arriba y Abajo

### DISEÑO DE LA PANTALLA



#### Solicitaciones de Carga en Función de la Altura

$$\text{Empuje Activo } E_a \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 300.00 * H^2$$

$$\text{Empuje de la sobrecarga } E_s \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 360.00 * H$$

$$\text{Incremento Dinámico } \Delta DEs \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 51.43 * H^2$$

$$\text{Fuerza sísmica de la Pantalla T ext. } F_{sPP} \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 9.26 * H^2$$

$$\text{Fuerza sísmica de la Pantalla Cuad. } F_{sPP} \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 120.00 * H$$

$$\text{Fuerza sísmica de la Pantalla T int. } F_{sPP} \text{ (kg/m)} \quad F(H) = 0.0 * H^2$$

H	$E_a$ (kg/m)	$E_s$ (kg/m)	$\Delta DEs$ (kg/m)	$F_{sPP}$ (kg/m)	$F_{sPP}$ (kg/m)
1	300.00	360.00	51.43	9.26	120.00
2	1200.00	720.00	205.70	37.04	240.00
3	2700.00	1080.00	462.83	83.33	360.00
4	4800.00	1440.00	822.81	148.15	480.00
5	7500.00	1800.00	1285.64	231.48	600.00
5.4	8748.00	1944.00	1499.58	270.00	648.00
6	10800.00	2160.00	1851.33	333.33	720.00
7	14700.00	2520.00	2519.86	453.70	840.00

8	19200.00	2880.00	3291.25	592.59	960.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

H	FS <sub>PP</sub> (kg/m)	Braço E <sub>a</sub>	Braço E <sub>s</sub>	Braço ΔDEs	Braço te FS <sub>PP</sub>
1	0.00	0.33	0.50	0.67	0.33
2	0.00	0.67	1.00	1.33	0.67
3	0.00	1.00	1.50	2.00	1.00
4	0.00	1.33	2.00	2.67	1.33
5	0.00	1.67	2.50	3.33	1.67
5.4	0.00	1.80	2.70	3.60	1.80
6	0.00	2.00	3.00	4.00	2.00
7	0.00	2.33	3.50	4.67	2.33
8	0.00	2.67	4.00	5.33	2.67
9	0.00	3.00	4.50	6.00	3.00
10	0.00	3.33	5.00	6.67	3.33
11	0.00	3.67	5.50	7.33	3.67
12	0.00	4.00	6.00	8.00	4.00
13	0.00	4.33	6.50	8.67	4.33

H	Braço C FS <sub>PP</sub>	Braço ti FS <sub>PP</sub>	H	Braço C FS <sub>PP</sub>	Braço ti FS <sub>PP</sub>
1	0.50	0.33	10	5.00	3.33
2	1.00	0.67	11	5.50	3.67
3	1.50	1.00	12	6.00	4.00
4	2.00	1.33	13	6.50	4.33
5	2.50	1.67			
5.4	2.70	1.80			
6	3.00	2.00			
7	3.50	2.33			
8	4.00	2.67			
9	4.50	3.00			

H (m)	Vu (Kg)	Mu (Kg-m)	F(y) [cm]	d(y) [cm]	φ Vc (kg)	As min (cm/m)	As req (cm/m)	
1.0	1239.13	556.22	46.17	41.17	23716.88	OK	8.31	0.36
2.0	3541.52	3034.81	52.35	47.35	27272.64	OK	9.42	1.70

3.0	6907.17	8650.60	58.52	53.52	30828.39	OK	10.53	4.32
4.0	11336.09	18618.48	64.69	59.69	34384.15	OK	11.64	8.39
5.0	16828.27	34153.30	70.86	65.86	37939.90	OK	12.76	14.07
5.4	19322.85	42198.10	73.33	68.33	39362.20	OK	13.20	16.82
6.0	23383.71	56469.92	77.04	72.04	41495.65	OK	13.87	21.49
7.0	31002.41	86783.20	83.21	78.21	45051.41	OK	14.98	30.78
8.0	39684.38	126308.0	89.38	84.38	48607.16	OK	16.09	42.07
9.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### VERIFICACIÓN DEL ESPESOR DE PANTALLA

$$d = 59.46 \text{ cm}$$

$$E \text{ Pantalla} = 89.38 \text{ cm}$$

**OK Espesor de Pantalla Adecuado para resistir solicitaciones a Flexión**

#### ACERO REQUERIDO EN CONTACTO CON EL RELLENO

Desde la corona del muro hasta  $y = 4.00 \text{ m}$

$$A_s = 11.64 \text{ cm}^2$$

**1 N° 7 C/30 cm**

desde  $y = 4.00$  hasta la base de la pantalla

$$A_s = 39.96 \text{ cm}^2$$

**1 N° 7 C/10 cm**

#### ACERO REQUERIDO EN LA CARA LIBRE

Desde la Corona del muro hasta la Base de la Pantalla

$$A_s = 16.09 \text{ cm}^2$$

**1 N° 6 C/20 cm**

#### ACERO TRANSVERSAL

$$A_s = 16.09 \text{ cm}^2$$

**1 N° 6 C/20 cm.... A la Izquierda y Derecha de la sección**

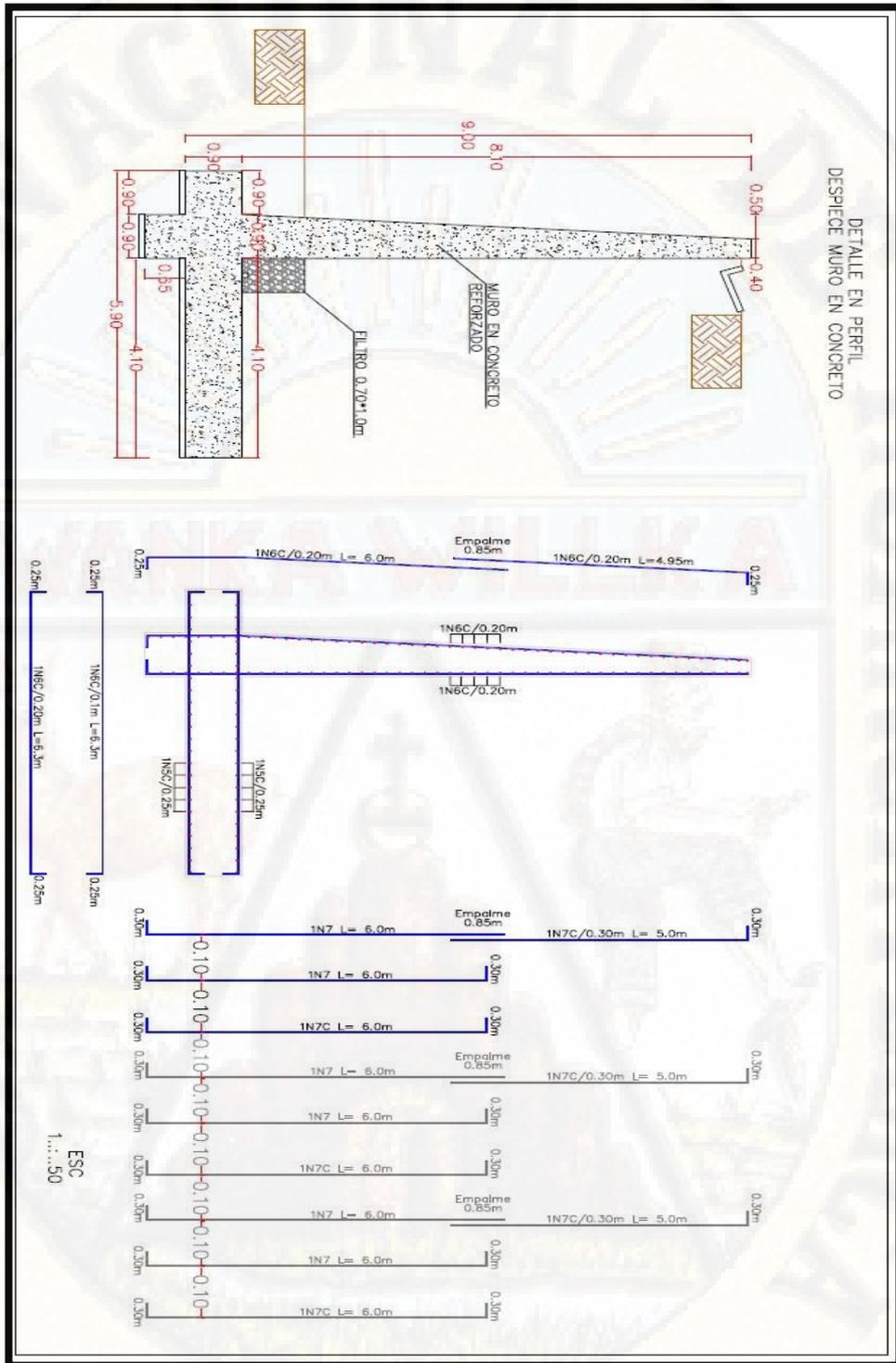


Figura 119. Muro de contención, el diseño de los planos es visible como Anexo C.

Relleno de material seleccionado

El material de relleno debe poseer las siguientes especificaciones:

La dureza por desgaste en la máquina de los ángeles es:

En seco, 500 revoluciones:  $\leq 40\%$

En seco, 100 revoluciones:  $\leq 80\%$

Después de 48 horas de inmersión:  $\leq 55\%$

Relación humedad/seco:  $\leq 2\%$

Contenido de terrones de arcilla y partículas quebradizas:  $\leq 2\%$

Durabilidad por pérdida de solidez en sulfatos:

Sulfato de Sodio:  $\leq 12\%$

Sulfato de Magnesio:  $\leq 18\%$

Límite líquido:  $\leq 40\%$

Índice de plasticidad:  $\leq 3\%$

Equivalente de arena:  $\leq 30\%$

Valor de azul metileno:  $\leq 10\%$

Índice de alargamiento y aplanamiento:  $\leq 35\%$

Porcentaje de caras fracturadas:  $\leq 50\%$

CBR:  $\geq 80\%$

Compactación:  $\geq 98\%$  del Proctor modificado en capas de 20 cm.

Análisis de Estabilidad con las Medidas de Mitigación

Los factores de seguridad se obtienen tras realizar los modelamientos a las secciones con las obras de mitigación descritas anteriormente por medio del software Slope/W, según los métodos de equilibrio límite desarrollados por Janbu, Morgenstern – Price, Bishop y Spencer en condición estática y pseudo-estática.

Análisis de Estabilidad en condiciones Pseudo-estáticas +  $R_u$

El análisis de las alternativas se tiene en cuenta desde condiciones extremas debido a que se contempla la incidencia del coeficiente de presión de poros

y el  $Kst = 0,32 g$ , es decir, el modelo se genera con la presencia del sismo y con condiciones de saturación al mismo tiempo.

Análisis estático con la presencia de obras de estabilización de la sección 0+020+  $R_u$  (Figura 120).

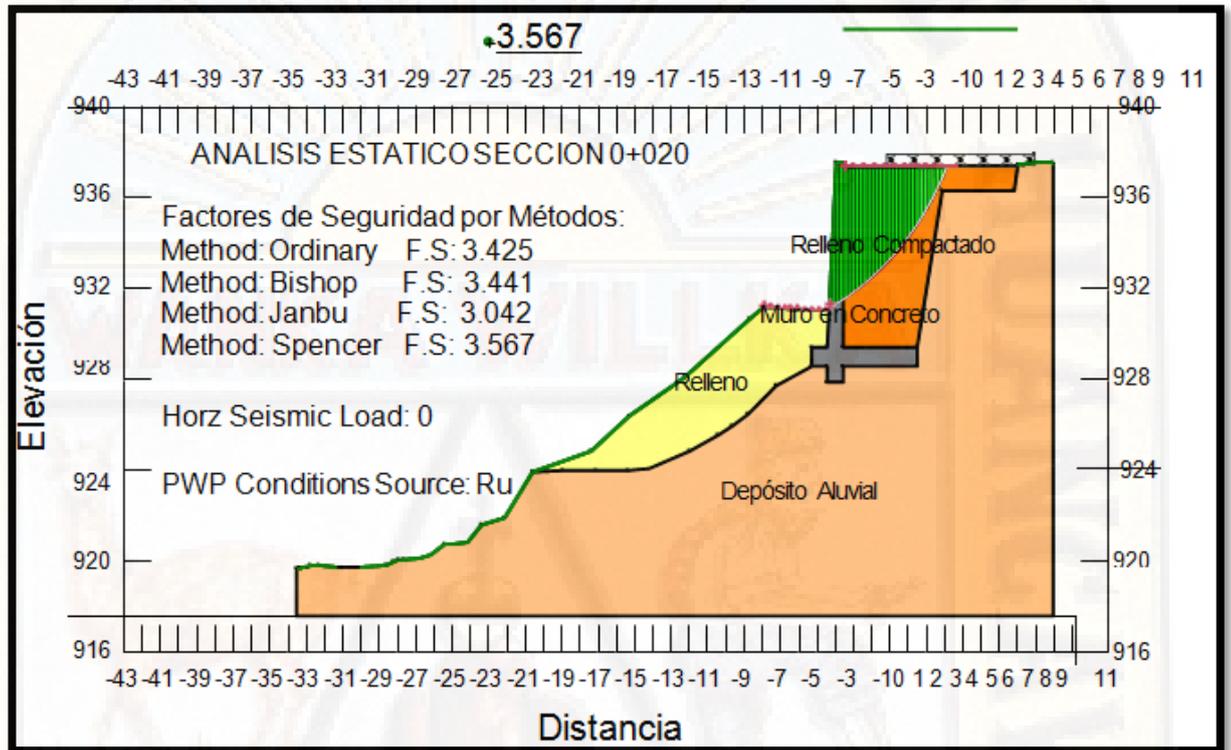


Figura 120. Modelo de perfil de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Análisis estático con la presencia de obras de estabilización de la sección 0+030 +  $R_u$  (Figura 121).

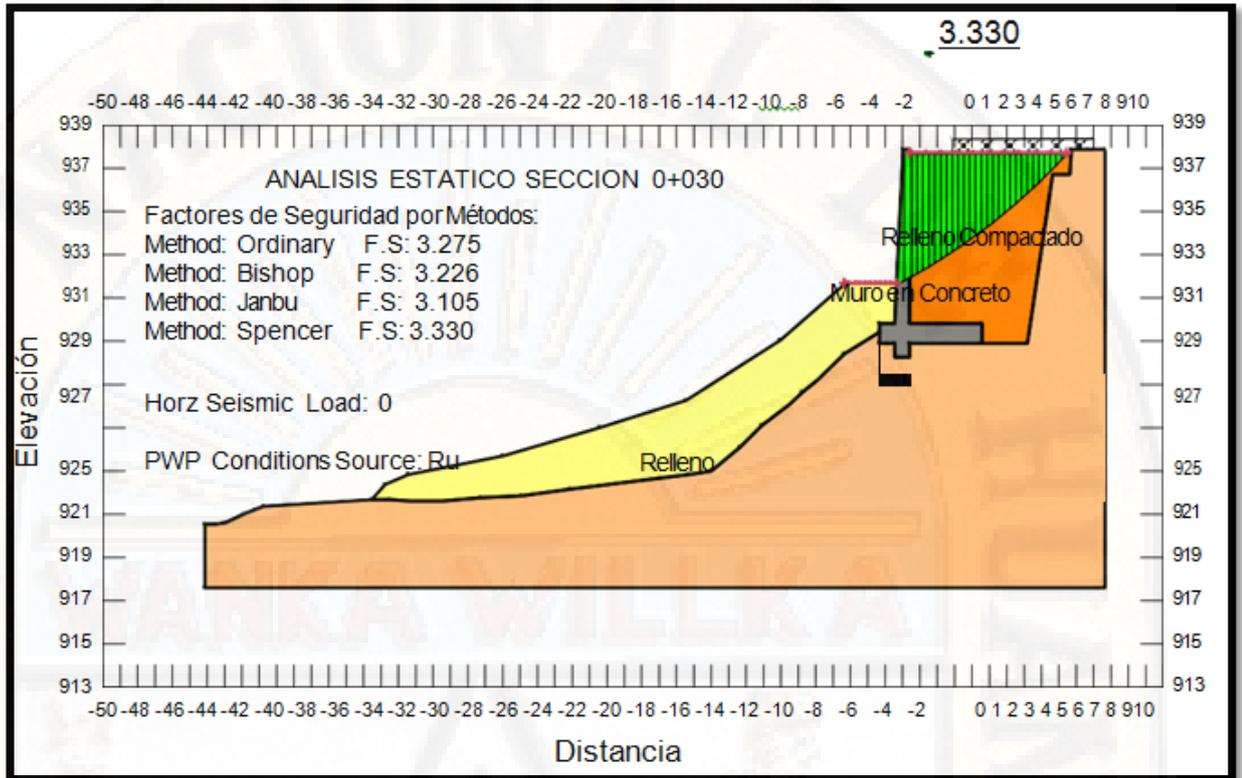


Figura 121. Modelo de perfil de la sección 0+030 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Análisis estático con la presencia de obras de estabilización de la sección 0+040 +  $R_u$  (Figura 122).

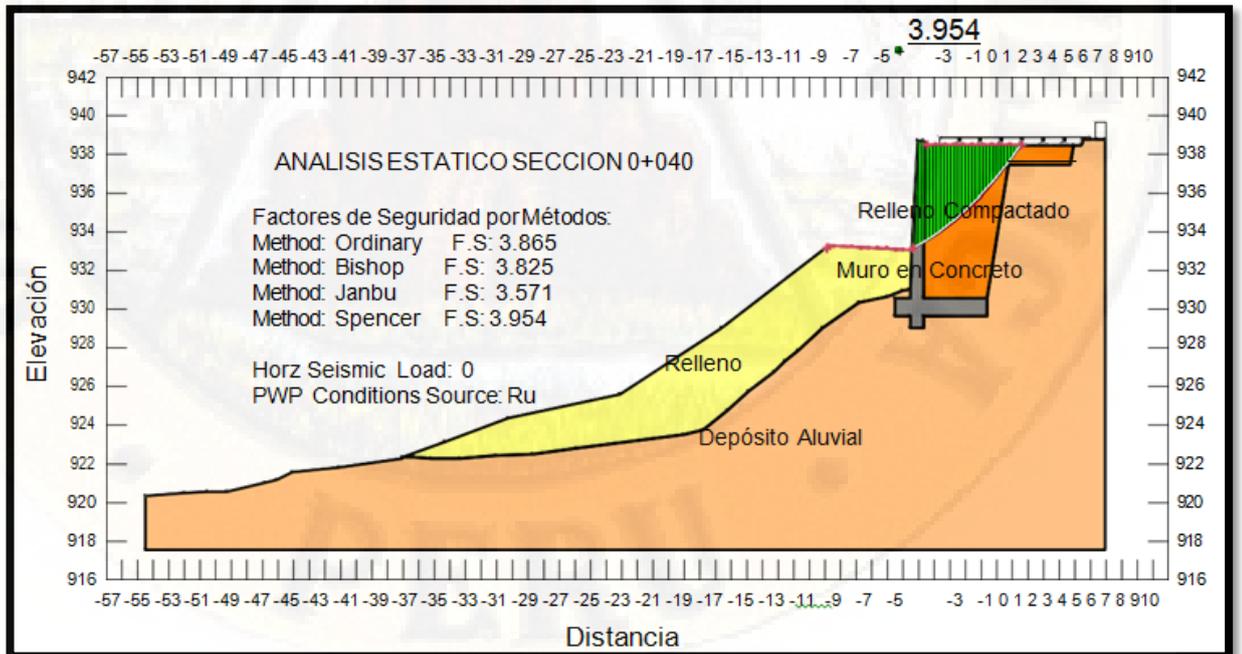


Figura 122. Modelo de perfil de la sección 0+040 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones estáticas con obras de estabilización.

Tabla 51. Valores F.S, Análisis Estático con obras de mitigación.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES ESTÁTICAS CON OBRAS DE MITIGACIÓN						
N° Sección	Descripción	Método Ordinar v	Método Bishop	Método Janbu	Método Spencer	Amena za
PERFIL 3	Sección 0+020	3.425	3.441	3.042	3.567	BAJA
PERFIL 4	Sección 0+030	3.275	3.226	3.105	3.33	BAJA
PERFIL 5	Sección 0+040	3.865	3.825	3.571	3.954	BAJA

Análisis de Estabilidad en condiciones pseudo-estáticas con obras de estabilización.

Análisis dinámico con la presencia de obras de estabilización en la sección 0+020 +  $R_u$  (Figura 123).

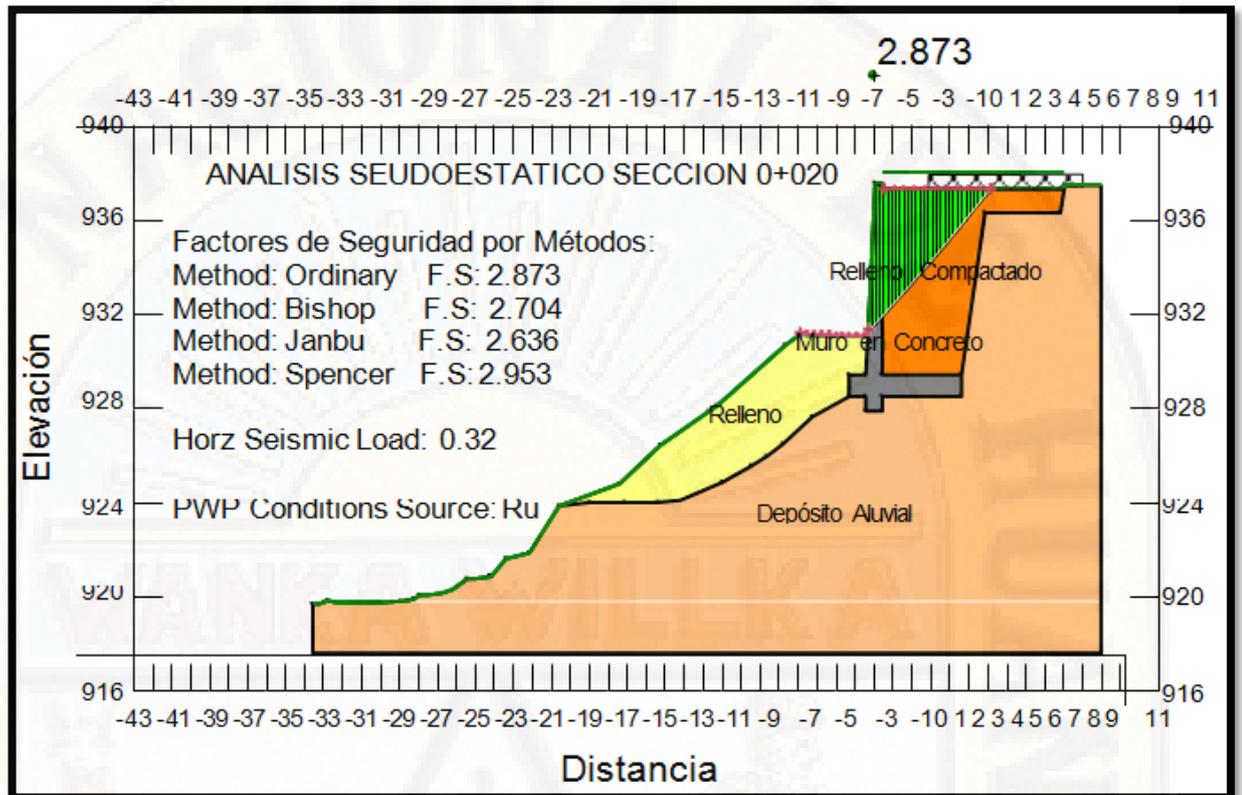


Figura 123. Modelo de perfil dinámico de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Análisis dinámico con la presencia de obras de estabilización en la sección 0+030 +  $R_u$  (Figura 124).

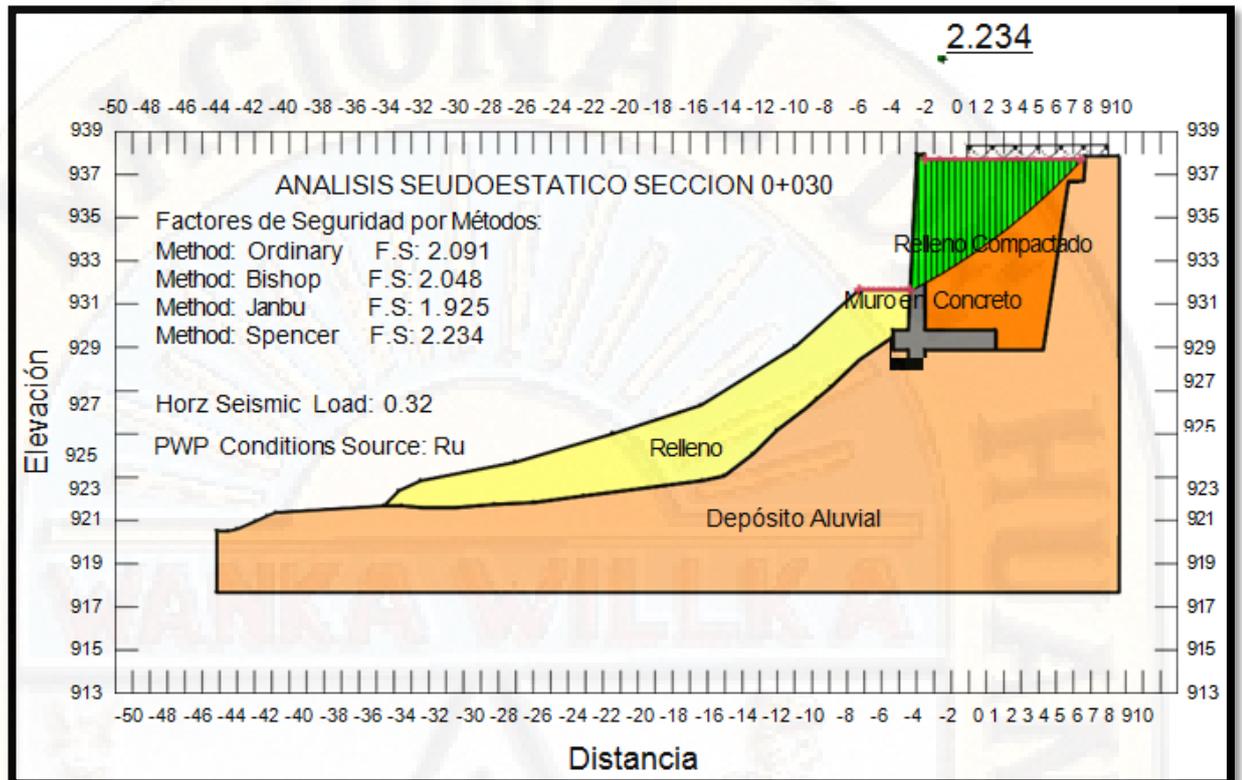


Figura 124. Modelo de perfil dinámico de la sección 0+030 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Análisis dinámico con la presencia de obras de estabilización en la sección 0+040 +  $R_u$  (Figura 125).

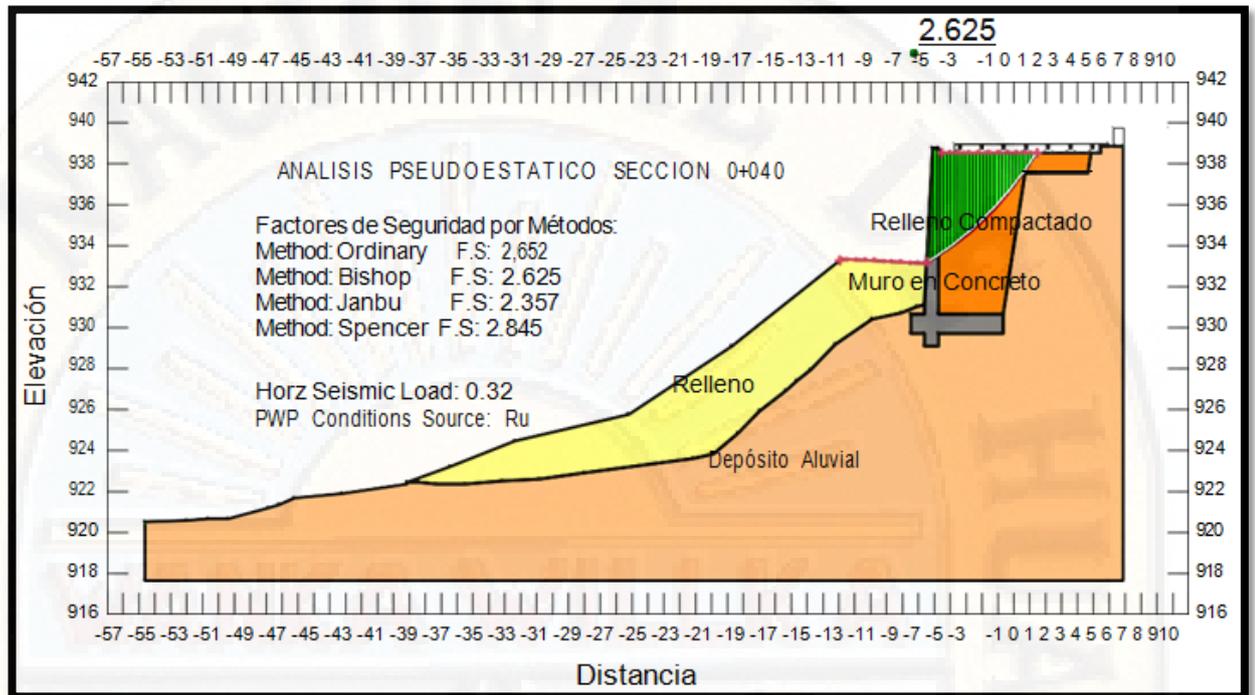


Figura 125. Modelo de perfil dinámico de la sección 0+040 con la presencia de las obras de estabilización y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Resultado del Análisis de Estabilidad en condiciones dinámicas con presencia de obras de mitigación.

Tabla 52. Valores F.S, Análisis Dinámico con obras de mitigación.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIONES PSEUDOESTÁTICAS CON OBRAS DE MITIGACIÓN						
N° Sección	Descripción	Método Ordinary	Método Bishop	Método Janbu	Método Spencer	Amenaza
PERFIL 3	Sección 0+020	2.873	2.704	2.636	2.953	BAJA
PERFIL 4	Sección 0+030	2.091	2.048	1.925	2.234	BAJA
PERFIL 5	Sección 0+040	2.652	2.625	2.357	2.845	BAJA

Los resultados analizados de la tabla 52, muestran la alternativa cumpliendo con los parámetros mínimos de estabilidad exigidos durante condiciones extremas.

#### Proceso Constructivo

El análisis de la excavación se convierte en base fundamental para evitar

algún tipo de desestabilización en la cimentación de las unidades residenciales vecinas, recomendando tener en cuenta algunos aspectos a la hora de la construcción. Al iniciar el proceso de excavación se debe conocer con anterioridad el estado actual del terreno, es decir, que no existan cables eléctricos, tubos de aguas sanitarias o de gas cerca del área a profundizar; esto asociado a la determinación de zonas críticas (excavaciones cuidadosas de manera manual) o aquellas en las que se puede excavar con la ayuda de maquinaria, para disminuir el tiempo y trabajo. Los parámetros que se deben tener en cuenta son los siguientes:

- Edificaciones aledañas al terreno: El estado actual de las edificaciones y del sistema constructivo de cada una de ellas debe verificarse, además del efecto sobre la excavación; también una posible desestabilización por causa de la excavación a efectuar en cada una de sus fases, la cual es más crítica y debe tenerse un especial cuidado. La aplicación de estas pautas por parte del constructor generará un mayor grado de confiabilidad a la hora de realizar el proceso constructivo.
- Excavación por partes: Cuando se habla de excavaciones profundas se debe realizar por medio del uso de cortes (Figuras 126, 127, 128 y 129), la finalidad del método es no alterar las condiciones del suelo perimetral en una sola perforación sino por secuencias, excavando de esta manera la longitud en varios tramos. El volumen total de excavación debe ubicarse dentro del sitio del proyecto para su futura reutilización en el relleno.

El procedimiento recomendado para la construcción del muro de contención es el siguiente:

- La excavación debe iniciar en el costado occidental como es visto en la Figura 126.
- El material de la excavación debe disponerse en un lugar dentro del área del proyecto para su reutilización como relleno, cumpliendo las especificaciones del INVIAS.

- Luego de realizar la excavación se debe proteger el talud con plástico para evitar infiltraciones de agua que pueden ocasionar problemas de inestabilidad.
- Se recomienda efectuar la entibación a los taludes de corte para prevenir posibles movimientos de tierra.
- Mantener la excavación abierta el menor tiempo posible para disminuir el movimiento del material hacia la obra.
- Una vez construida la zapata y vástago del muro se debe ir compactando el material reutilizado de tal manera que el proceso constructivo se convierta en una acción cíclica.
- Dentro de las figuras que se mostrarán a continuación, se puede observar la manera en que se debe llevar a cabo la construcción.
- La visualización final de la construcción se puede detallar en la Figura 129.

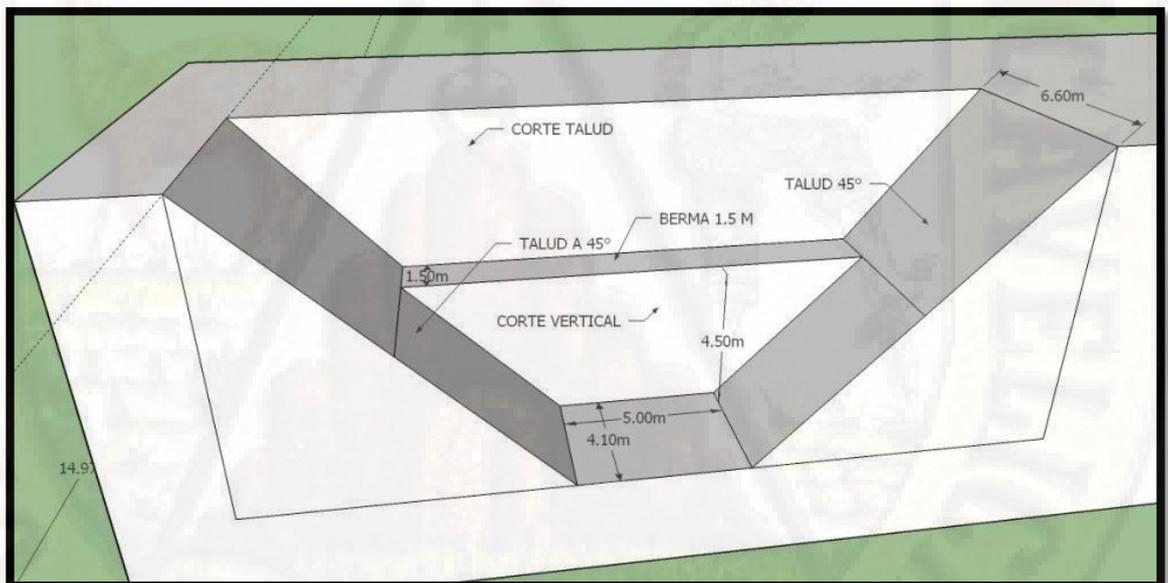


Figura 126. Esquema representativo del diseño de la excavación para una primera sección de 5.0 metros.

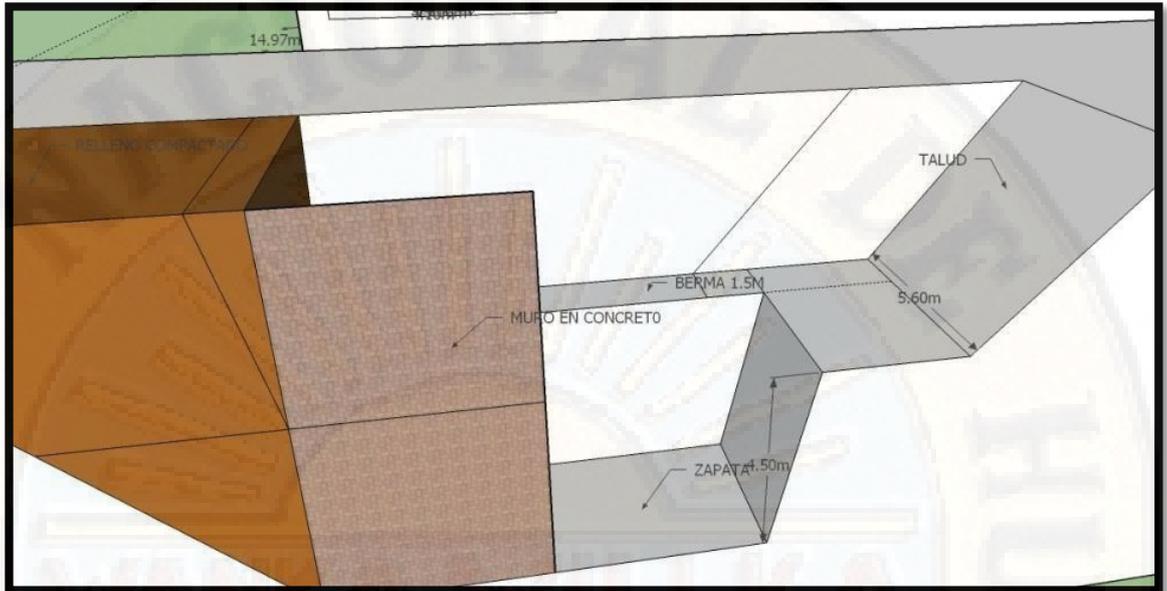


Figura 127. Esquema representativo de la primera sección de 5 metros de muro fundido y con parte del material de relleno y excavación proyectada

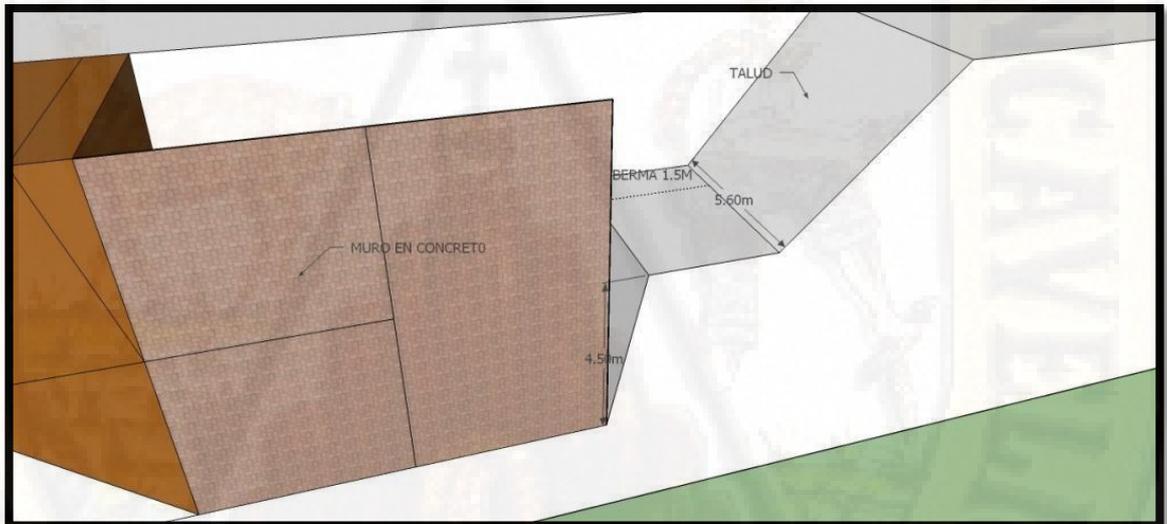


Figura 128. Esquema de la segunda sección del muro de contención fundido con parte del relleno.



Figura 129. Esquema de la tercera sección del muro construido y parte del relleno, la excavación es proyectada para la siguiente sección.

En la figura 130 se observa la sección construida del nuevo muro de contención y la excavación generada para la siguiente sección, de esta manera se asegura que no habrá una excavación de grandes proporciones durante el proceso constructivo. Así mismo facilitando la entibación de los cortes expuestos.

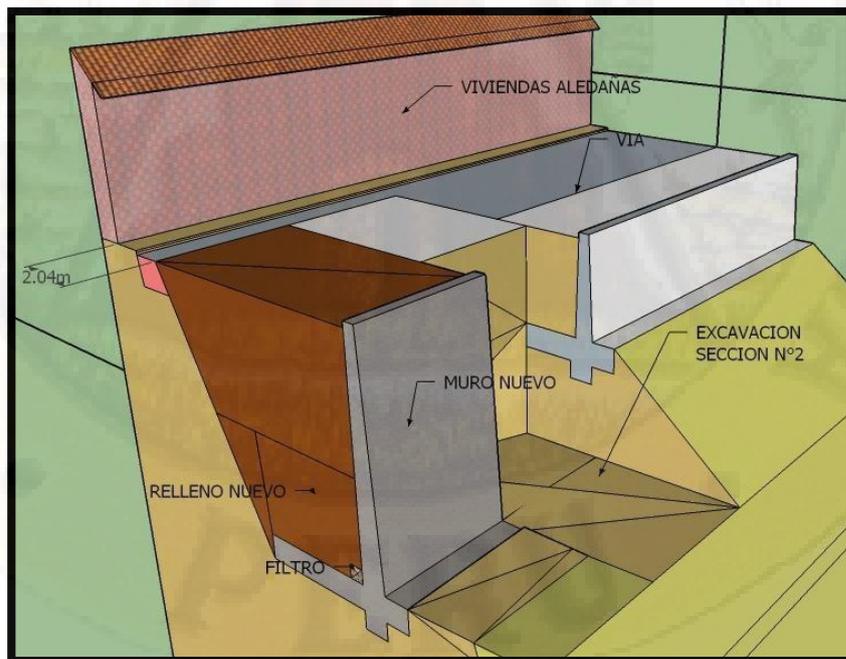


Figura 130. Esquema ilustrativo de un tramo del muro terminado y la excavación proyectada

de la sección posterior.

El sistema constructivo utilizado permite estimar una disminución en las posibilidades de presentarse algún tipo de inestabilidad atentando contra la integridad del personal de obra o de las viviendas circundantes. En la figura 131 se observa la etapa final del muro de contención luego de construido.

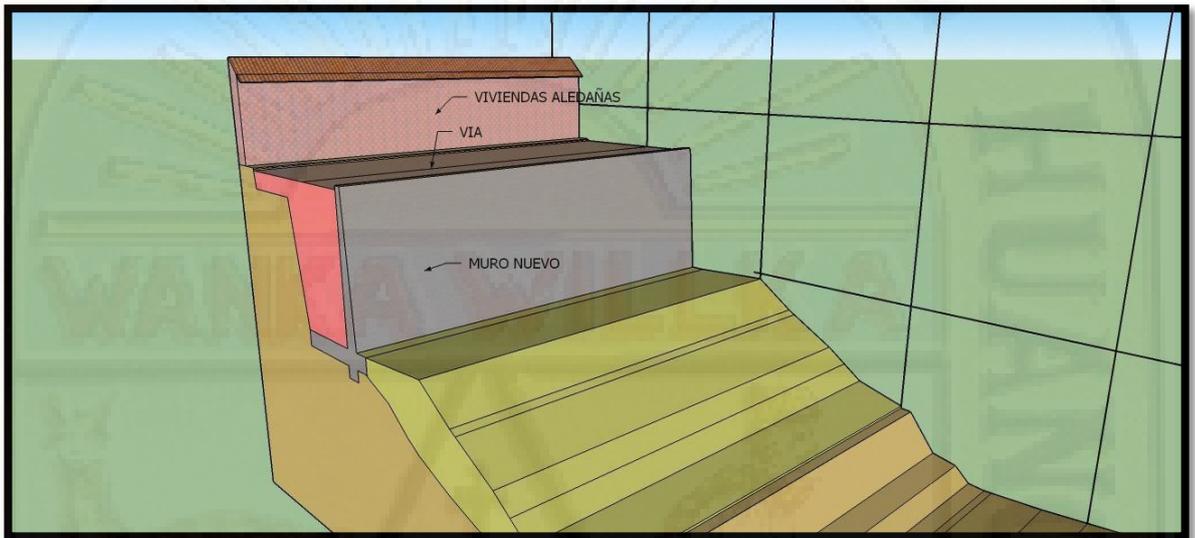


Figura 131. Esquema del muro de contención después de construido.

#### **4.12.2 Diseño de la Alternativa Número 2, Reforzar la Cimentación Actual Mediante la Construcción de Caisson de Aproximación.**

La alternativa a la construcción del muro en concreto reforzado se propone construir un muro al costado del existente cimentado sobre Caissons de diámetro 1,2 metros amarrados por una viga cabezal; La función de la viga aparte de unir los Caissons, es brindar soporte al muro actual evitando futuros asentamientos. Luego de construir los elementos mencionados se interviene la calzada del barrio los Nogales para reconstruir la estructura del pavimento.

#### **Análisis de Estabilidad**

El análisis de estabilidad contempla el uso de Caisson de diámetro de 1,2 metros y concreto de 3000 psi. Con espaciamiento libre de 2,0 metros (Condiciones iniciales del modelo).

$$A = \pi * r^2 = \pi * .6^2 = 1.13 \text{ m}^2$$

El esfuerzo cortante del concreto está dado por:

$$V_c = \frac{\sqrt{F'c}}{6} * 100 = 763.76 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

La fuerza cortante para cada

$$F = 763.76 \text{ [kN/m}^2\text{]} * 1.13 \text{ m}^2 = 863 \text{ kN}$$

En último lugar, la solución propuesta requiere para su funcionalidad la colocación de los Caissons de mínimo 5,0 metros de largo, espaciados cada metro a lo largo de todo el muro. En la figura 132 se muestra la colocación de los Caissons, arrojando un Factor de Seguridad de 1,70 para el escenario estático y 1.22 para el escenario pseudo-estático con la influencia del Factor  $R_u$ . Estos resultados en cuanto a los factores de seguridad son bajos con respecto a los generados para la alternativa número 1.

Análisis estático con presencia de obras de estabilización (Alternativa 2) en la sección 0+020 +  $R_u$  (Figura 132).

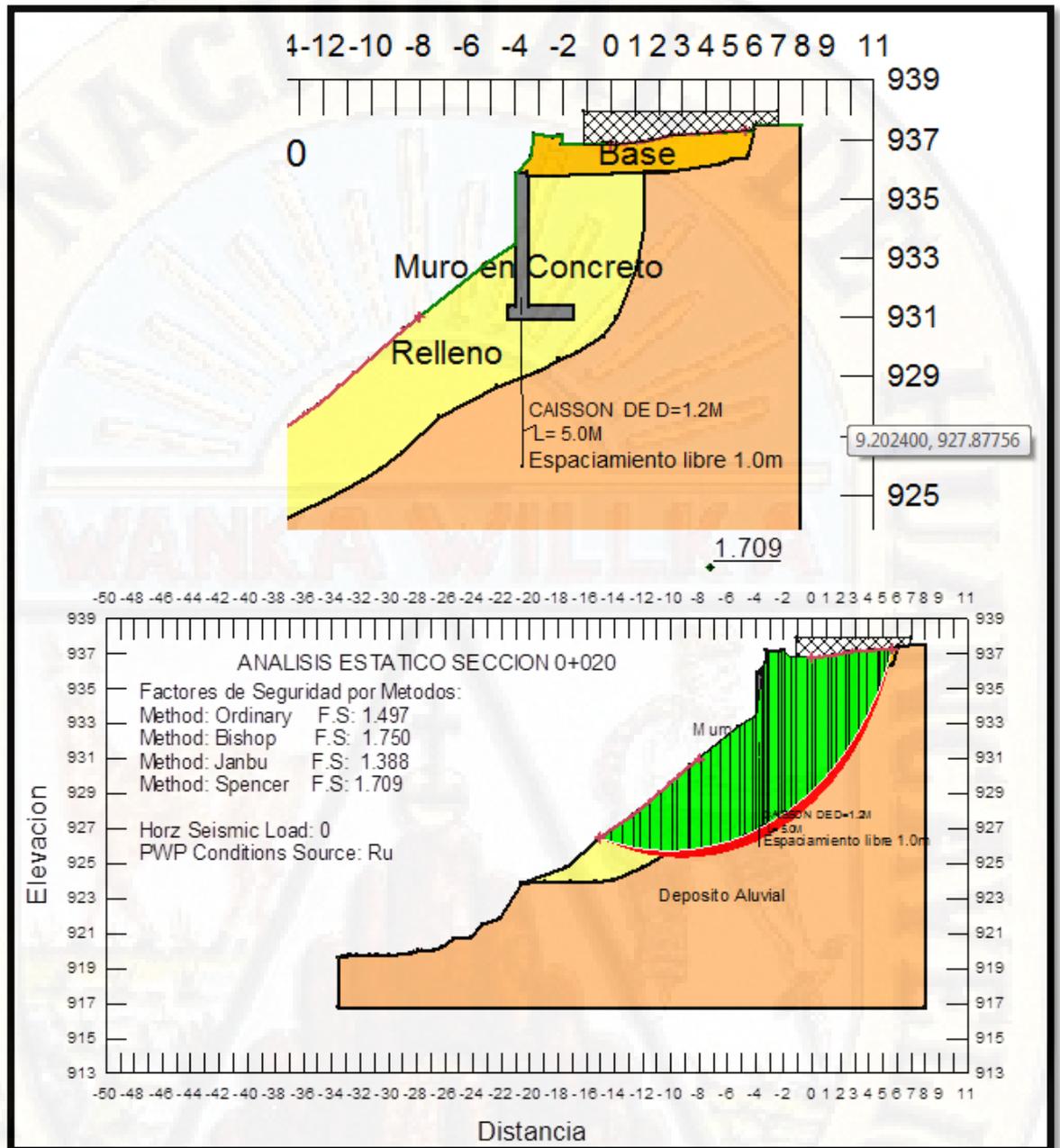


Figura 132. Modelo de perfil estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2) y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

Análisis pseudo-estático con presencia de obras de estabilización (Alternativa 2) en la sección 0+020 +  $R_u$  (Figura 133).

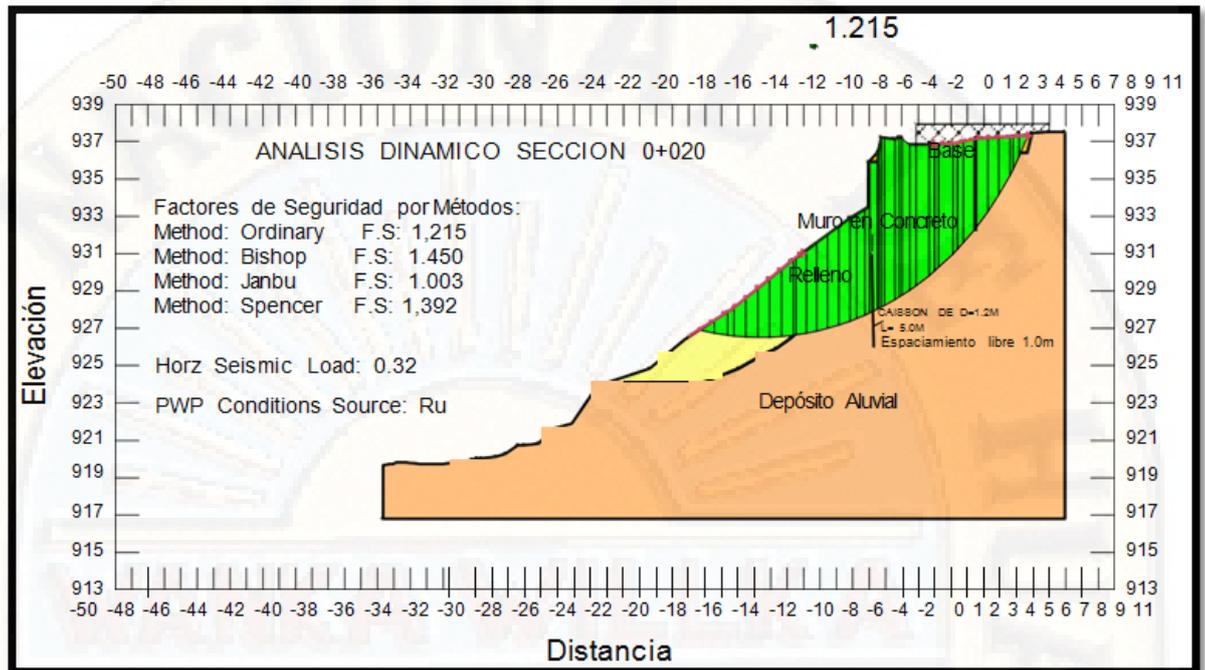


Figura 133. Modelo de perfil dinámico de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2) y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

#### Análisis de la Estabilidad de la Excavación

El análisis de la excavación se desarrolló para determinar la seguridad de la obra en todo momento, en la figura 134 se puede identificar el no cumplimiento de los parámetros mínimos de estabilidad en condiciones pseudo-estáticas.

Análisis estático de la excavación con presencia de obras de estabilización (Alternativa 2) en la sección 0+020 sin  $R_u$  (Figura 134).

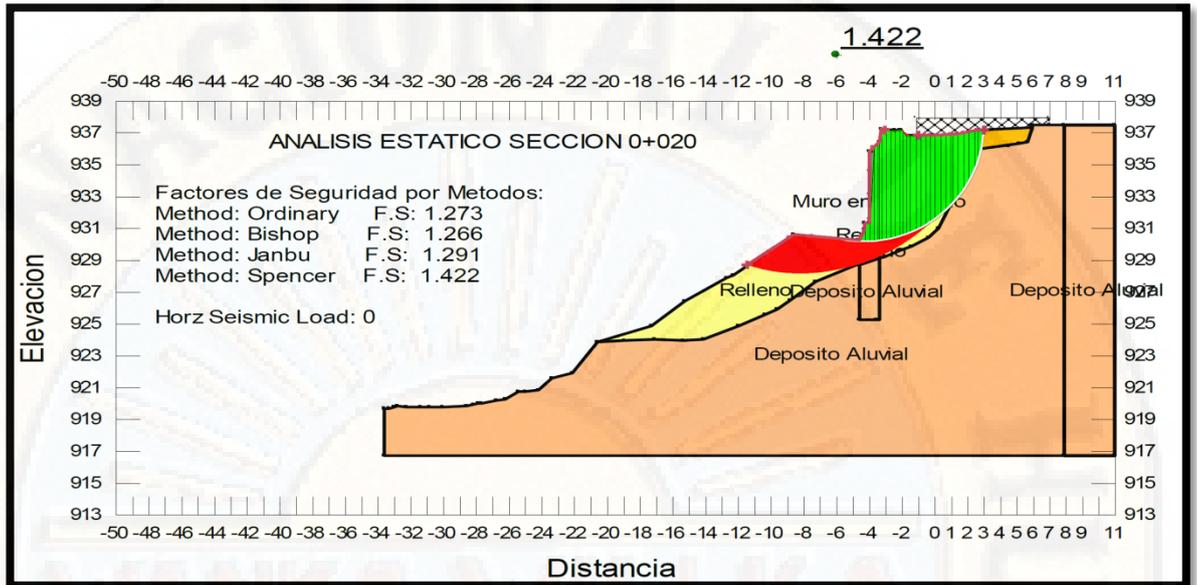


Figura 134. Modelo de perfil estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2).

Análisis pseudo-estático de la excavación con presencia de obras de estabilización (Alternativa 2) en la sección 0+020 sin  $R_u$  (Figura 135).

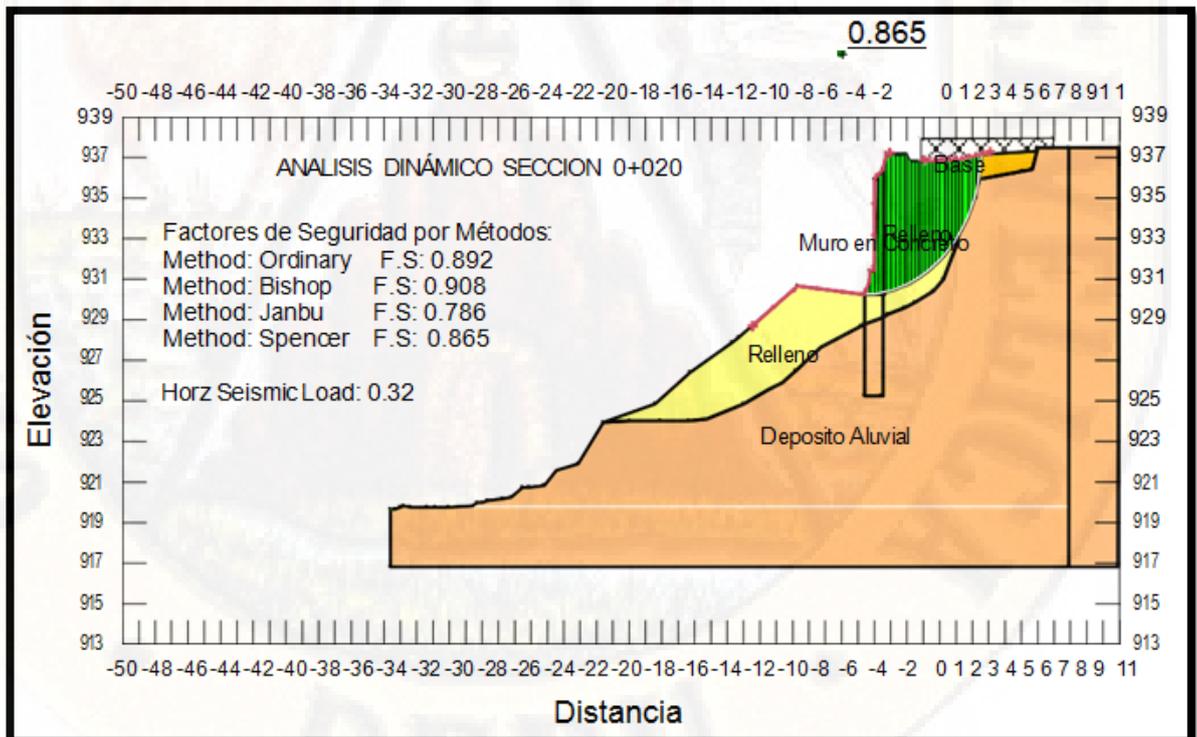


Figura 135. Modelo de perfil pseudo-estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2)

Como el Factor de Seguridad para la excavación en condiciones pseudo-estáticas no cumple con el valor mínimo requerido, se propone modelar utilizando anclajes de 15 metros.

Análisis estático de la excavación con presencia de obras de estabilización (Anclajes de 15 metros) en la sección 0+020 sin  $R_u$  (Figura 136).

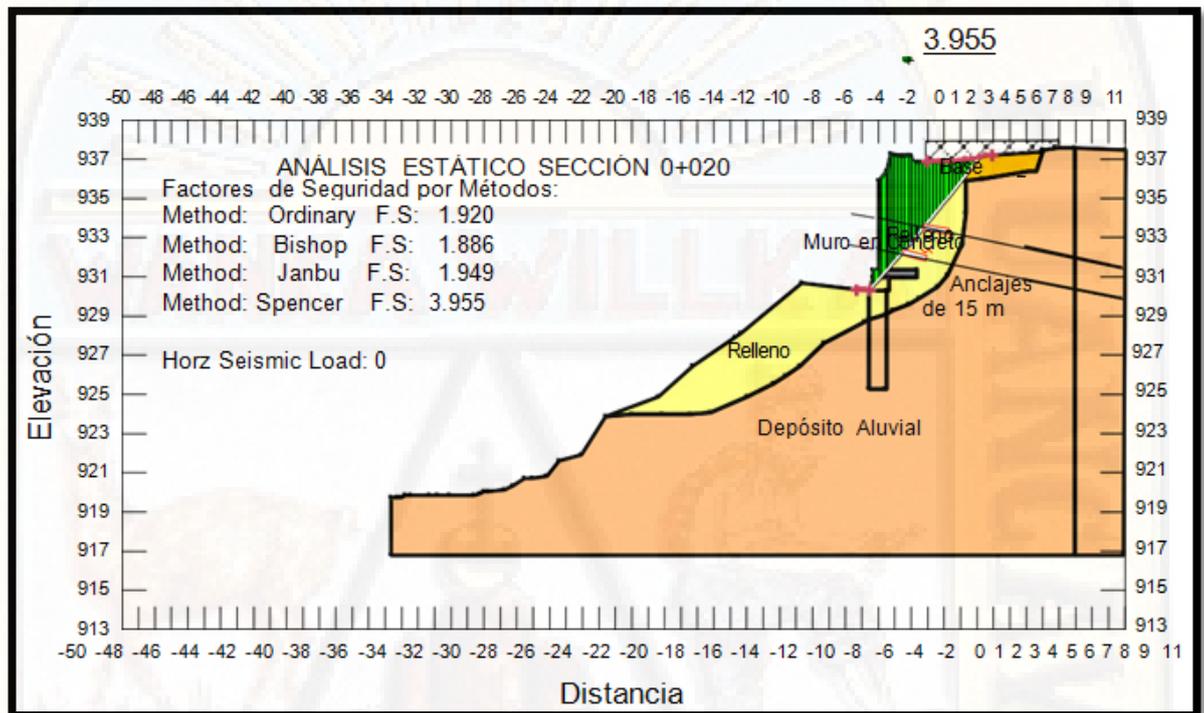


Figura 136. Modelo de perfil estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2) con anclajes 15 metros.

Análisis pseudo-estático de la excavación con presencia de obras de estabilización (Anclajes de 15 metros) en la sección 0+020 sin  $R_u$  (Figura 137).

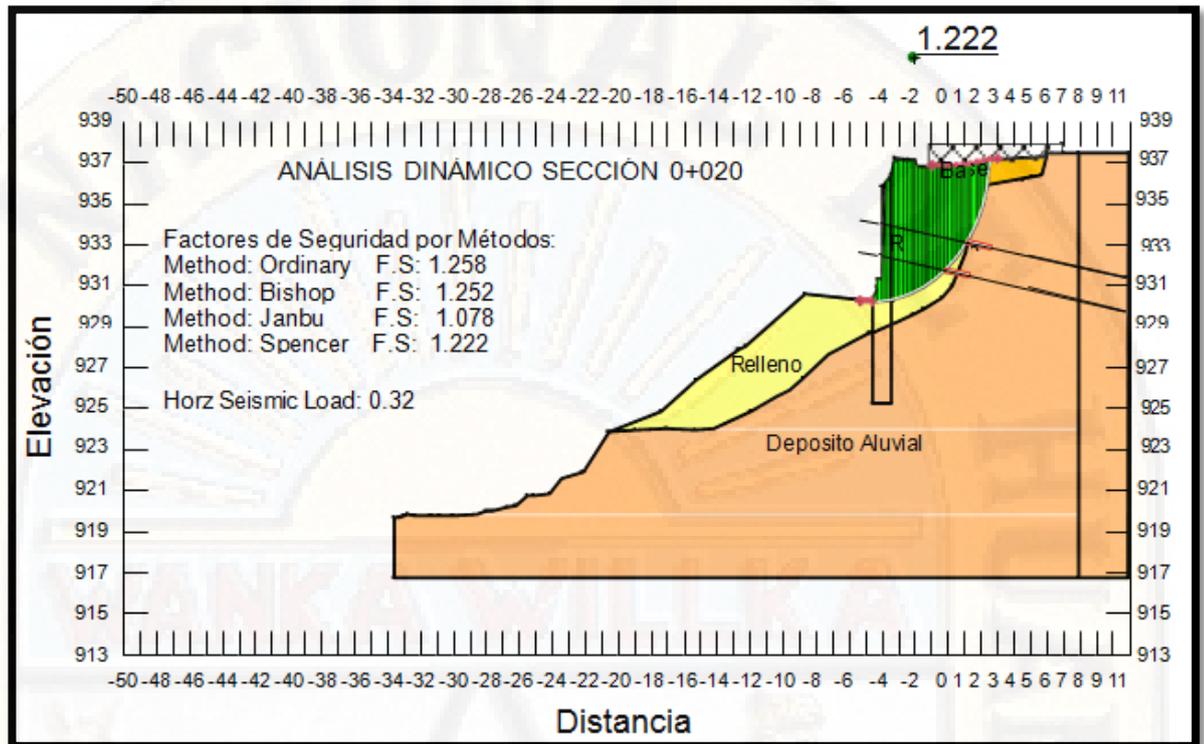


Figura 137. Modelo de perfil pseudo-estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2) con anclajes 15 metros.

El análisis de estabilidad para la excavación es aceptable solo con el uso de dos filas de anclajes; sin embargo, realizando el modelamiento con el efecto del Factor  $R_u$  (saturación del sistema), se logra definir el Factor de Seguridad, el cual no cumple con los requisitos mínimos para considerarse estable.

Análisis pseudo-estático de la excavación con presencia de obras de estabilización (Anclajes de 15 metros) en la sección 0+020 +  $R_u$  (Figura 138).

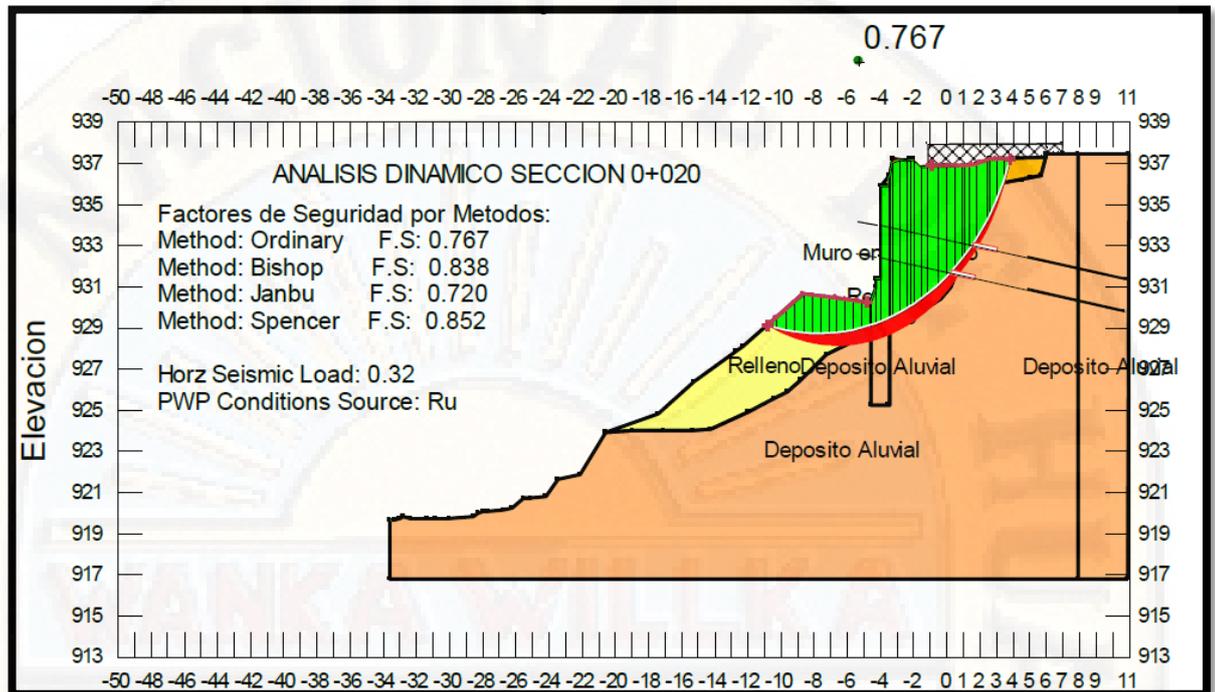


Figura 138. Modelo de perfil pseudo-estático de la sección 0+020 con la presencia de las obras de estabilización (alternativa 2) con anclajes 15 metros y teniendo en cuenta el factor  $R_u$ .

En la fase actual del análisis la única forma de garantizar la estabilidad del talud es aumentando el número de anclajes localizados sobre la superficie, produciendo un aumento del costo para la segunda alternativa convirtiéndola en una solución económicamente inviable; además el hecho de intervenir solo una fracción de la cimentación del muro actual no garantiza la presencia de asentamientos durante y después del reforzamiento. Por otra parte, tratándose de un material de relleno no se puede controlar los efectos de descompresión o relajación de esfuerzos, lo que puede ocasionar daños más críticos a los actuales en el sector del barrio Los Nogales.

La longitud del muro de contención actual es de 33,8 metros, permitiendo la utilización de 16 Caissons unidos por una viga cabezal que genera apoyo en el muro. La construcción de la última estructura mencionada implica un complejo proceso constructivo debido a la ubicación de la obra, situada por debajo de la cimentación actual, representando un alto riesgo para la mano de obra aumentando el salario integral de los trabajadores.

#### **4.13 Discusión de Resultados y Evaluación de Alternativas de Diseño**

Los resultados obtenidos durante el estudio reflejan las condiciones actuales del terreno dentro del barrio Los Nogales, partiendo de los estudios previos en los cuales hace referencia a las problemáticas recurrentes en el área del río Frío enfatizando en la Cuenca baja y media realizado por la CDMB en el 2010, mostrando áreas de inundación mostrando cotas y periodos de retorno para el análisis correspondiente.

Las litologías presentes dentro del sector Los Nogales, corresponden con las denominadas por Hubach, 1952 y corroboradas por De Porta J, 1959; las cuales poseen características y espesores de suelo propensos al desplazamiento por cambios climáticos extremos y desfavorables para la estabilidad del terreno.

Los mapas y modelos del terreno se ajustan a lo observado durante las visitas de campo y las condiciones actuales del terreno, indispensable para la evaluación de las alternativas propuestas y los diseños del área ante la generación de fenómenos de remoción en masa.

A continuación, se desglosa las dos alternativas con el propósito de conocer los factores positivos y negativos de cada uno de los procedimientos, disminuyendo el rango de elección, al conocer todas sus características:

##### **Alternativa 1**

Para la alternativa número 1 se plantean las siguientes actividades de ingeniería:

- Demolición del muro en concreto actual fallado.
- Excavación por partes de acuerdo con lo recomendado para garantizar la estabilidad durante el proceso constructivo.
- Construcción de un muro en concreto reforzado cimentado sobre el estrato competente.

- Relleno del muro con material seleccionado del sector Los Nogales.
- Construcción de obras de drenaje como cunetas y disipadores de energía para captar las aguas lluvias (escorrentía) y depositarla en el río Frío.
- Instalación de los anclajes y posterior tensionamiento.

La construcción del muro mejora las condiciones de estabilidad, por medio del cambio de amenaza alta a amenaza baja por fenómenos de remoción en masa implementando las obras diseñadas, tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

Desde el punto de vista ingenieril la alternativa número 1 por su condición de nueva obra construida bajo las especificaciones de la NSR-10 y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) garantizando la estabilidad del sector a la actualidad.

#### Alternativa 2

Dentro de la alternativa número 2 se puede resaltar la construcción de las siguientes obras de ingeniería:

- Mejorar la cimentación del muro de concreto actual mediante el uso de Caisson de aproximación unidos por una viga cabezal.
- Anclar el vástago del muro para evitar el volteo durante el proceso constructivo.
- Construir el muro en concreto reforzado a partir de la viga cabezal para brindar apoyo al muro actual.
- Construcción de Caissons de aproximación debajo de la zapata del muro actual para garantizar que alcance el estrato competente.
- Mejorar el suelo de relleno del muro a una profundidad de 1,5 metros.
- Construir la estructura del pavimento en el sector re-compactado del relleno.

- Manejo de aguas superficiales mediante canales escalonados y canaletas perimetrales.

La alternativa enumerada como 2 la cual consiste en elaborar un refuerzo de la estructura preexistente, mejora las condiciones de estabilidad cambiando de amenaza alta a amenaza baja por fenómenos de remoción en masa para el sector del barrio Los Nogales; pero debido al no cumplimiento de los factores de seguridad óptimos exigidos por las Normas Geotécnicas locales en condiciones pseudo-estáticas durante el proceso de construcción (los datos obtenidos resaltan una amenaza alta).

Corroborando lo descrito anteriormente, el uso de Caissons como apoyo para el muro y determinar los factores de seguridad desde los diferentes métodos de modelado del talud; no cumplen con los parámetros mínimos establecidos para garantizar la estabilidad del sector y la obra de ingeniería. También las dificultades que arroja el modelo se presentarán durante todo el proceso constructivo, la recomendación es no desarrollar esta alternativa de solución en la estabilidad del sector en el barrio Los Nogales.

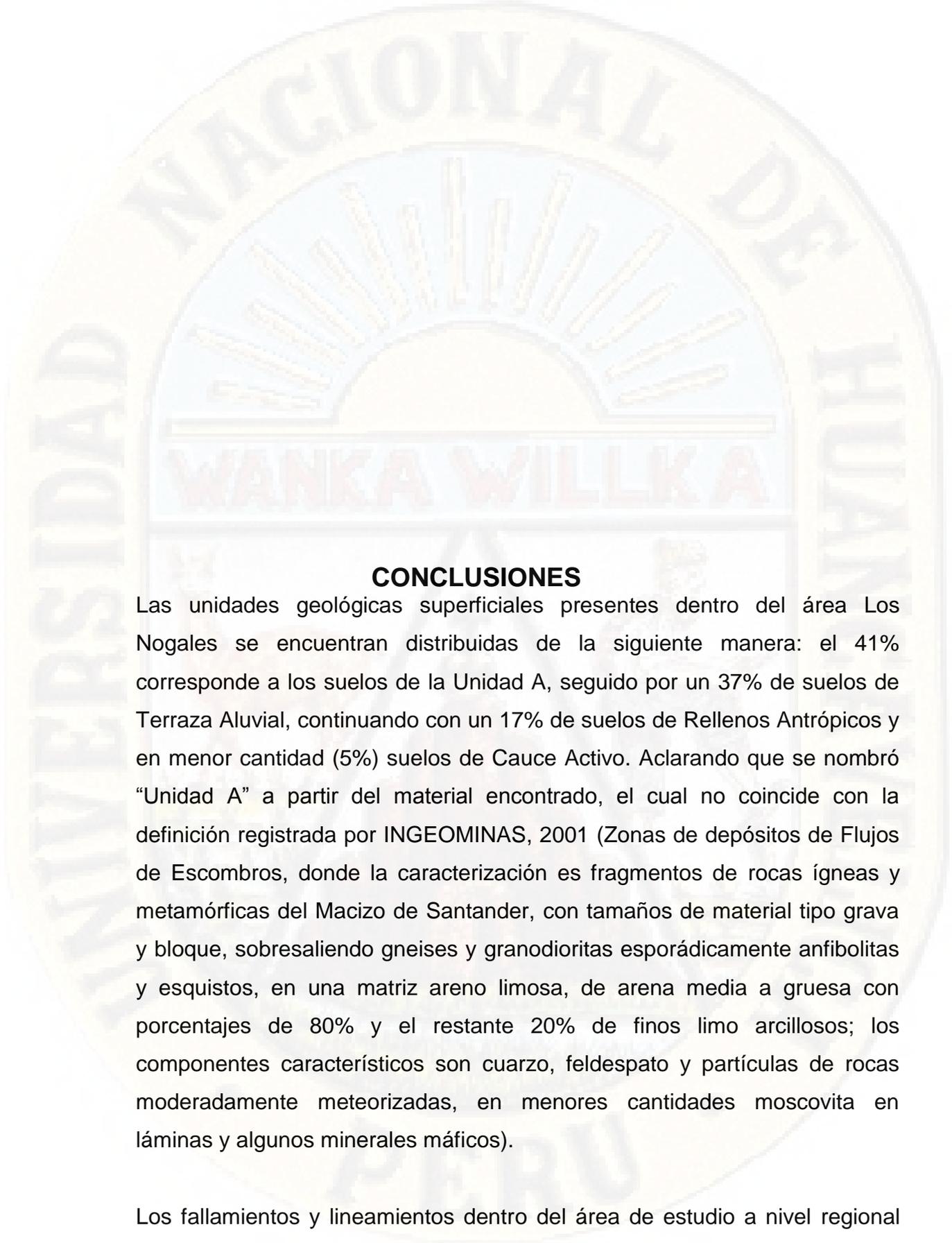
#### Análisis de la alternativa elegida

La alternativa con mejores resultados y más favorable a partir de su comportamiento ingenieril, para el sector del barrio Los Nogales es la alternativa número 1, la cual contempla la construcción de un nuevo muro cimentado en el estrato más competente garantizando de esta manera la estabilidad del talud. Desde el punto de vista constructivo se debe manejar con cuidado el desarrollo de la excavación por medio del procedimiento constructivo explicado a la hora de ejecutar la obra.

Por estas razones y todo el contenido descriptivo de los procesos y cálculos dentro del proyecto del sector Los Nogales del municipio de Floridablanca, se recomienda la construcción de las obras de estabilización diseñadas

dentro de la alternativa número 1.





## **CONCLUSIONES**

Las unidades geológicas superficiales presentes dentro del área Los Nogales se encuentran distribuidas de la siguiente manera: el 41% corresponde a los suelos de la Unidad A, seguido por un 37% de suelos de Terraza Aluvial, continuando con un 17% de suelos de Rellenos Antrópicos y en menor cantidad (5%) suelos de Cauce Activo. Aclarando que se nombró “Unidad A” a partir del material encontrado, el cual no coincide con la definición registrada por INGEOMINAS, 2001 (Zonas de depósitos de Flujos de Escombros, donde la caracterización es fragmentos de rocas ígneas y metamórficas del Macizo de Santander, con tamaños de material tipo grava y bloque, sobresaliendo gneises y granodioritas esporádicamente anfibolitas y esquistos, en una matriz areno limosa, de arena media a gruesa con porcentajes de 80% y el restante 20% de finos limo arcillosos; los componentes característicos son cuarzo, feldespato y partículas de rocas moderadamente meteorizadas, en menores cantidades moscovita en láminas y algunos minerales máficos).

Los fallamientos y lineamientos dentro del área de estudio a nivel regional

han sido participes de la formación y estructuración del sector a través del tiempo geológico, como lo hacen actualmente (Ubicación cercana al llamado Nido Sísmico de Bucaramanga y de la Falla Bucaramanga – Santa Marta).

Las características geomorfológicas presentes, denominados elementos geomorfológicos, poseen una distribución donde se resalta con mayor porcentaje las Terrazas bajas (F3) con un 37%, seguida por Cimas explanadas (A1) con el 25% del área en general, las laderas moderadas (D11) corresponden a un 14%, el 8% es ocupado por laderas muy inclinadas (D10), otro 8% del área total se encuentra representado por Lomos anchos (D4), después un 5% de Cauce activo (F1) y finaliza con un 3% la Corona de Movimientos en Masa (D14). Así mismo, la morfometría resalta estas unidades mencionadas por medio del relieve del sector. La división del área total por medio de la pendiente se encuentra así: el 29% hace referencia al intervalo de 0 a 10°, el 25% a zonas entre 10-20°, el 24° de 30 a 45°, el 15% entre 20-30° y el 7% zonas mayores a 45°.

La cobertura del suelo presente en el área Los Nogales se caracteriza por la asociación Bu-Ar-Rb con un 37%, el 20% corresponde a Construcciones Urbanas, seguido por el 16% de Pn/Ar y Rb/Ct, la asociación Ar-Sd-Pn con un 11%, un 6% de Rastrojos bajos, 5% de unidad de Cauce, el 3% de Sd-Pn y 2% restante de Árboles. De esta manera es posible identificar la mayor cobertura correspondiente a una asociación de Bambú con presencia de Árboles y Rastrojos bajos dentro de un 37% del total en el sector Los Nogales.

En el sector del barrio Los Nogales, la mayor cantidad de obras de ingeniería (geotécnicas) presentes en la actualidad, construidas para mitigar y reducir los procesos erosivos, evitando la recurrencia de fenómenos de remoción en masa no cuentan con un mantenimiento adecuado y varias de las obras no están cumpliendo con la función para la cual fueron construidas. Por otra

parte, se hace evidente la superficie afectada por hundimientos y a su vez la presencia de una corona de deslizamiento latente, único con una distribución retrogresiva. Dentro de la franja se puede observar que el muro de contención fallo hacia la intersección con la corona del deslizamiento creando un desplazamiento lento de la masa de suelo.

La resistencia medida después de realizar 9 ensayos a lo largo del muro por medio del “Método para determinar el índice Esclerométrico en el concreto endurecido INV-E 413-07 alcanzo valores de 4058 psi aproximadamente de 28 MPa. Luego de hacer la revisión del estado actual del muro de contención dentro del sector Los Nogales, se registran agrietamientos con aberturas superiores a 1,0 cm, sectorizadas en el extremo oriental y occidental de la estructura. Las grietas registradas se localizan a lo largo del muro en el contacto entre el terreno natural y el relleno compactado construido.

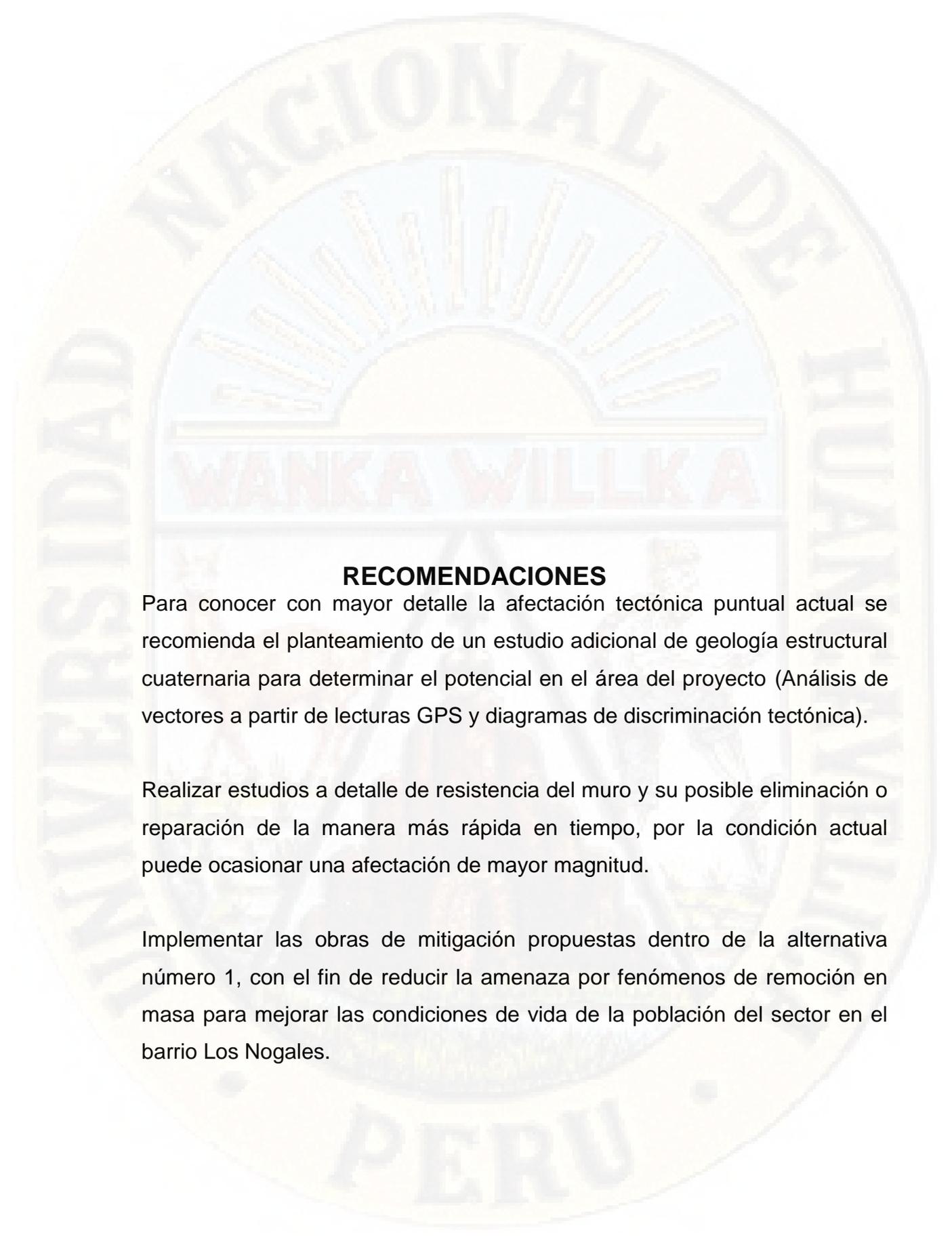
De acuerdo con las perforaciones ubicadas en el trasdós del muro como en el pie de este, se identifica material de relleno, superando la cota de emplazamiento del muro actual, siendo de 6,5 metros en la espalda del muro y de 3,50 metros en el pie; infiriendo para el muro que se encuentra cimentado sobre el material de relleno, concluyendo de este modo como uno de los causantes del fallo y agrietamiento del muro de contención.

Es necesario sustituir la estructura del muro de contención, primero buscando una base firme donde se pueda cimentar; la segunda etapa es reemplazar y eliminar el riesgo ante el colapso debido a la abertura actual de las grietas las cuales clasifican a la estructura con riesgo alto.

Las infiltraciones primarias se relacionan con los depósitos aluviales presentes en la zona de la meseta, las denominadas Formación Bucaramanga (Qb) y los flujos de escombros (Qfe) por el Servicio Geológico Colombiano. Por el contrario, las infiltraciones secundarias tienen que ver

con el Macizo de Santander y la influencia de la Falla de Bucaramanga en el mismo, las fracturas dentro de las litologías y el grado de meteorización de ellas son consecuencia de la tectónica activa del sector, contrarrestando los bajos índices de porosidad de las formaciones que lo conforman.

Se define dentro del modelo hidrogeológico que el flujo de agua posee una dirección de oriente a occidente, siendo una parte muy importante del flujo base del río de Oro; así mismo se reconoce que los procesos de infiltración durante los periodos de lluvia causan variaciones en los niveles freáticos relacionados con el acuífero y con una reacción de dos (2) meses después de acontecido el evento, recalando la zona occidental de la meseta ya que allí es donde existen los mayores espesores aluviales. Debido a la existencia de flujo dentro del suelo, las zonas de escarpe durante los últimos años poseen evidencias de desprendimientos que muy posiblemente se encuentran relacionados con el aumento y variación de los niveles freáticos después de un evento de lluvia, esta variación no ha superado los dos (2) metros de altura en el nivel del agua. Los deslizamientos se ven involucrados con las precipitaciones principalmente por el afloramiento del acuífero en áreas de escarpa, provocando un debilitamiento de las propiedades del suelo, es decir, produciendo inestabilidad de la base o franja intermedia del talud causando un desprendimiento de la masa del suelo.

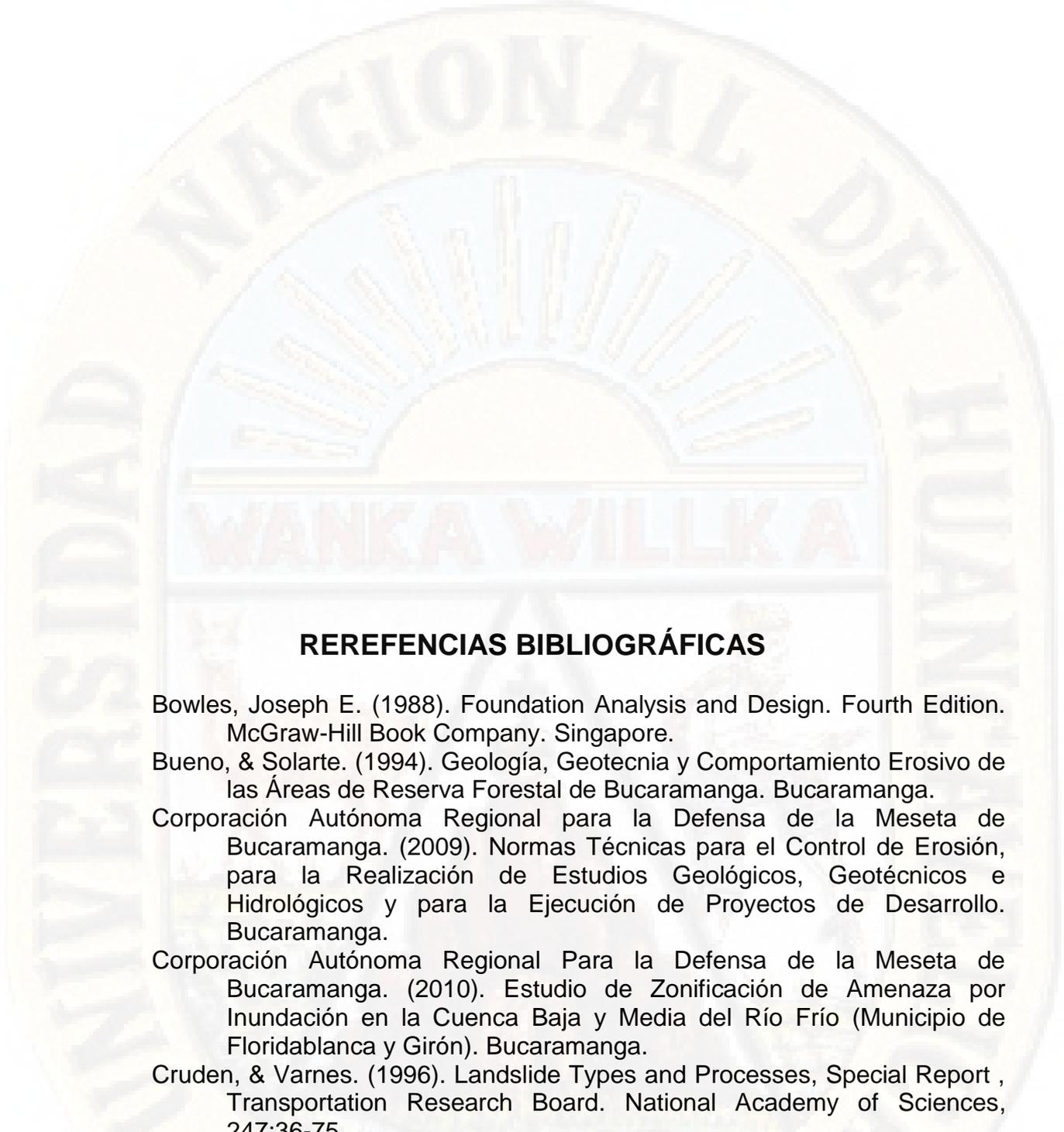


### **RECOMENDACIONES**

Para conocer con mayor detalle la afectación tectónica puntual actual se recomienda el planteamiento de un estudio adicional de geología estructural cuaternaria para determinar el potencial en el área del proyecto (Análisis de vectores a partir de lecturas GPS y diagramas de discriminación tectónica).

Realizar estudios a detalle de resistencia del muro y su posible eliminación o reparación de la manera más rápida en tiempo, por la condición actual puede ocasionar una afectación de mayor magnitud.

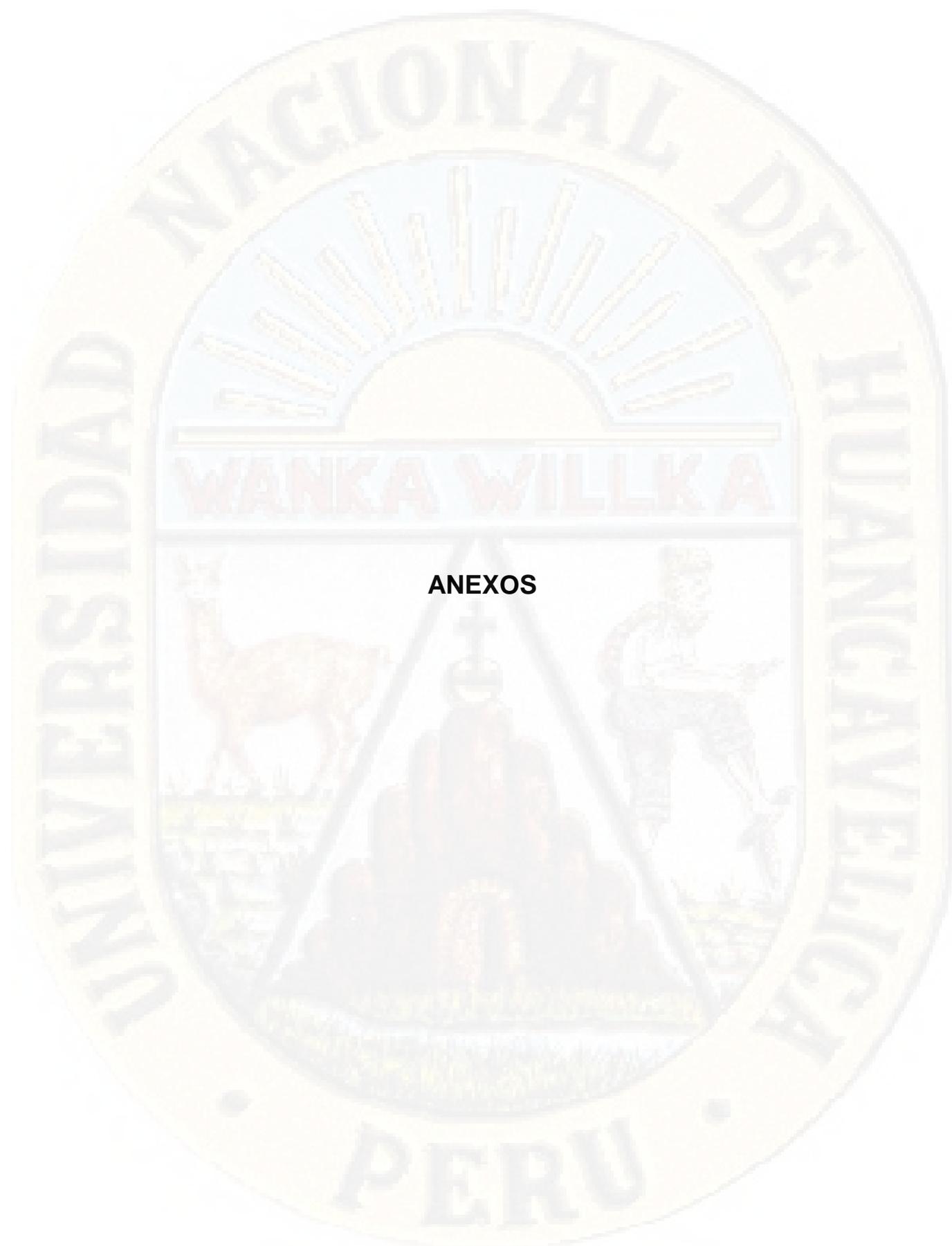
Implementar las obras de mitigación propuestas dentro de la alternativa número 1, con el fin de reducir la amenaza por fenómenos de remoción en masa para mejorar las condiciones de vida de la población del sector en el barrio Los Nogales.



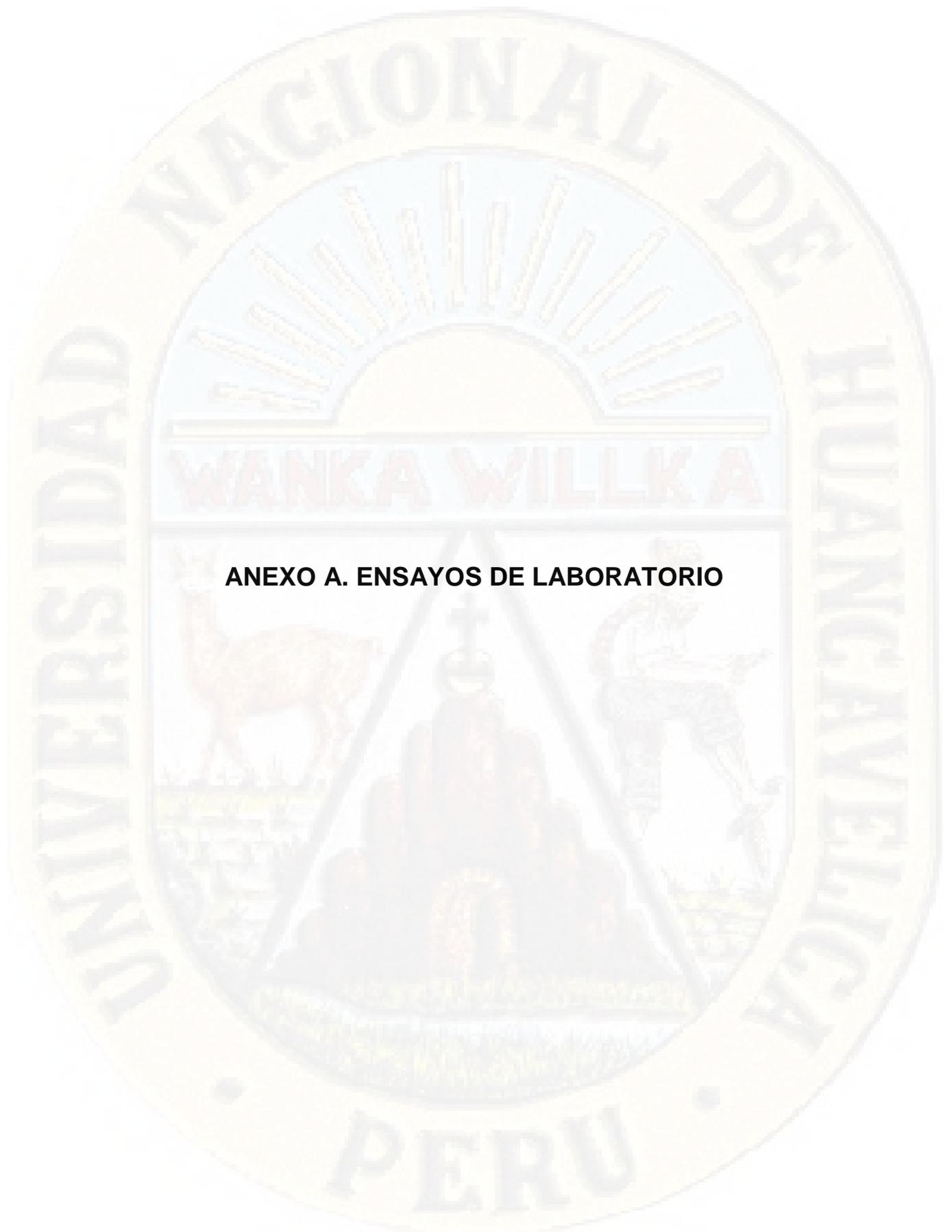
## **REREFENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Bowles, Joseph E. (1988). *Foundation Analysis and Design*. Fourth Edition. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Bueno, & Solarte. (1994). *Geología, Geotecnia y Comportamiento Erosivo de las Áreas de Reserva Forestal de Bucaramanga*. Bucaramanga.
- Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2009). *Normas Técnicas para el Control de Erosión, para la Realización de Estudios Geológicos, Geotécnicos e Hidrológicos y para la Ejecución de Proyectos de Desarrollo*. Bucaramanga.
- Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2010). *Estudio de Zonificación de Amenaza por Inundación en la Cuenca Baja y Media del Río Frío (Municipio de Floridablanca y Girón)*. Bucaramanga.
- Cruden, & Varnes. (1996). *Landslide Types and Processes*, Special Report , Transportation Research Board. National Academy of Sciences, 247:36-75.
- De Porta, J. (1959). *La Terraza de Bucaramanga: descripción detallada de la estratigrafía comprendida entre el área de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Lebrija*. Bucaramanga.
- Delgado Vargas, Manuel. *Ingeniería de Fundaciones*. Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1996.
- El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2015). *Información Meteorológica del Área Metropolitana de Bucaramanga*. Bucaramanga.

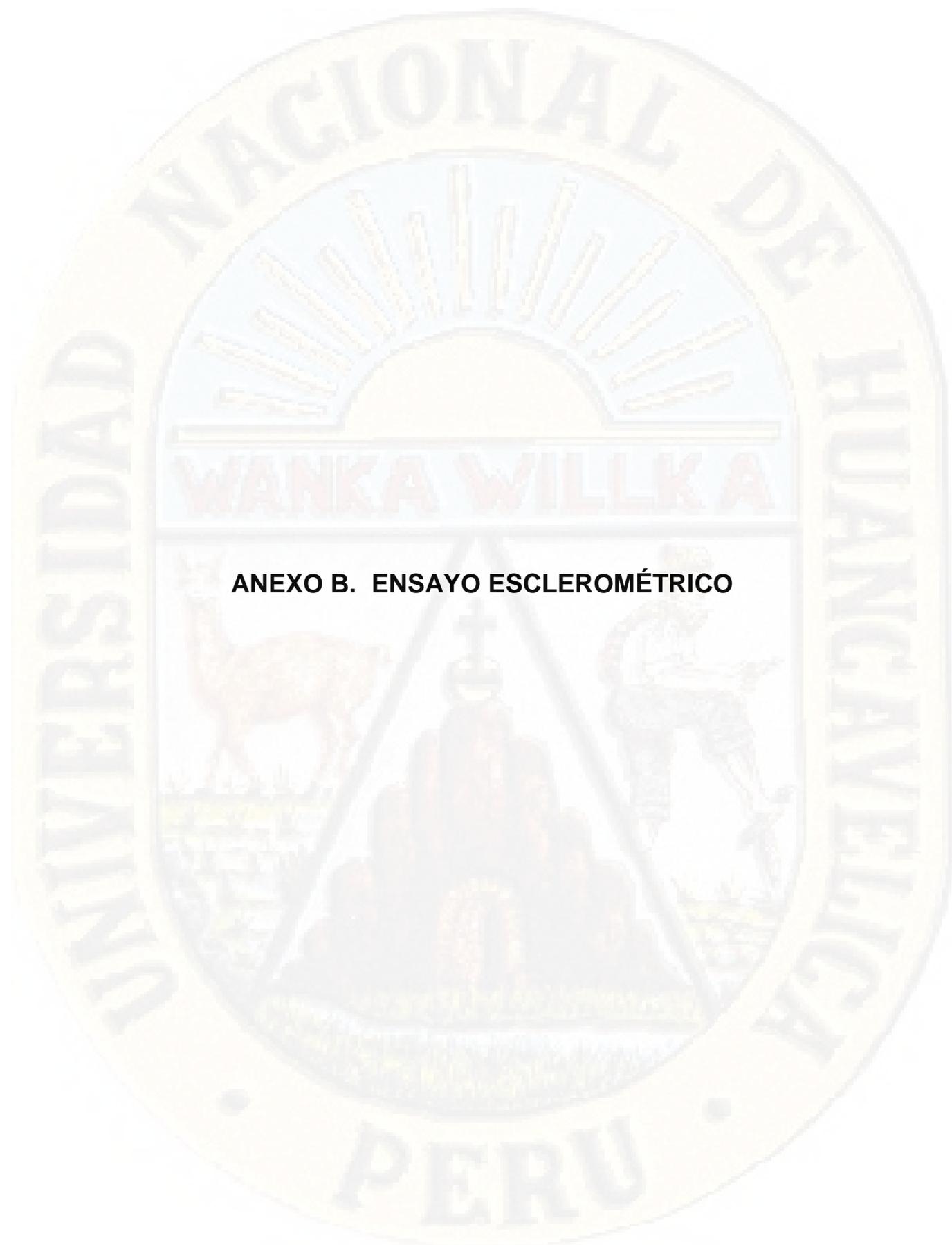
- Gonzalez De Vallejo, Luis *et al.* (2002). Ingeniería Geológica. Madrid. PEARSON Prentice Hall, 744 p.
- Hernández Sampieri, Roberto (2014). Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill Education, Sexta edición.
- INGEOMINAS. (1999). Geología del departamento de Santander. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2001). Zonificación Sismo Geotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2009). Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Bogotá.
- Juarez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de Suelos Tomo I: Fundamentos de Mecánica de Suelos. México: Limusa S.A.
- Julivert, M. (1958). La Morfoestructura de la Zona de mesas al SW de Bucaramanga. Bucaramanga.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) – Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá.
- Peck, Ralph., Hanson, Walter E., Thornburn, Thomas H. Ingeniería de cimentaciones. Talleres de imprenta técnica de Azafrán. México, Enero de 1982.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, P. G. (2007). movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Canadá: Publicación Geológica Multinacional No. 4, 432p.
- Royero, & Clavijo. (2001). Mapa Geológico Generalizado, departamento de Santander: Memoria Explicativa. Escala 1:400.000. Bogotá.
- Suárez Díaz, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Terzaghi, Karl & Peck Ralph B. Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. Segunda edición. Cuarta reimpresión. Editorial El Ateneo S.A. España, 1980.
- Universidad Nacional de Rosario. (2003). Geología y Geotecnia - Estabilidad de Taludes. Rosario, Argentina.
- Ward, & Goldsmith. (1973). Geología de los Cuadrángulos H-12: Bucaramanga y H-13: Pamplona, departamento de Santander. Memoria Explicativa. Bogotá.
- WARD, D.E. *et al.* (2010). Mapa Geológico de la Plancha 109 Rionegro. INGEOMINAS, 1977. Versión Digital.



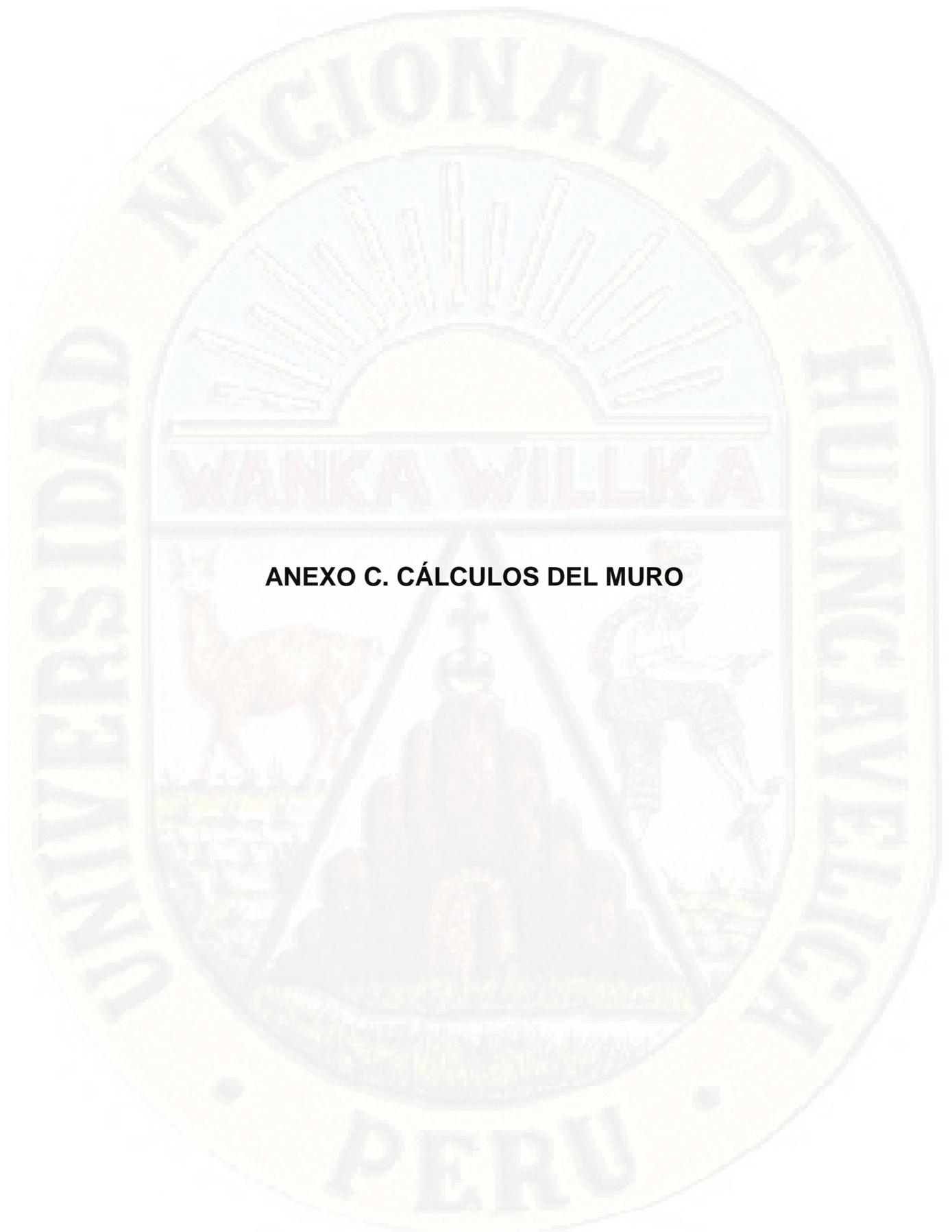
**ANEXOS**



**ANEXO A. ENSAYOS DE LABORATORIO**



**ANEXO B. ENSAYO ESCLEROMÉTRICO**



**ANEXO C. CÁLCULOS DEL MURO**