

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR
MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:1000, DEL PREDIO DESTINADO PARA
EL PROYECTO URBANÍSTICO YARIGUIES III, MUNICIPIO DE SAN VICENTE
DE CHUCURÍ-SANTANDER.**

KATALINYISET NIEVES CORDÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CÍVIL
MAESTRÍA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA**

2017

**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR
MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:1000, DEL PREDIO DESTINADO PARA
EL PROYECTO URBANÍSTICO YARIGUIES III, MUNICIPIO DE SAN VICENTE
DE CHUCURÍ-SANTANDER.**

KATALINYISET NIEVES CORDÓN

Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Geotecnia

Director

WILFREDO DEL TORO RODRÍGUEZ

Magister en Geotecnia

Codirector

JOSÉ NEYITH CONTRERAS SANDOVAL

Magister en Geotecnia

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CÍVIL
MAESTRÍA EN GEOTECNIA
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A mis padres, Rosabel Cordón Tavera y Pedro Leonardo Nieves Ramírez, por su gran amor, dedicación, apoyo incondicional, trabajo y sacrificios. Gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y ser la persona que soy.

A mi hermano Deyber Leonardo Nieves Cordón, por su compañía y complicidad en todo momento.

Y a todas aquellas personas que han estado presentes en mi vida y acompañándome a lo largo de todo este lindo proceso.

Katalinyiset Nieves Cordón

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S (ALICON & ING S.A.S) por haber permitido mi vinculación dentro de la organización para el desarrollo del ejercicio profesional y por el apoyo para el desarrollo de la práctica.

Al Ingeniero Msc. Wilfredo del Toro Rodríguez, director de mi proyecto de grado, por toda la asesoría prestada a lo largo de este proyecto.

Al Geólogo Msc. José Neyith Contreras Sandoval, codirector de mi proyecto de grado y representante legal de ALICÓN & ING S.A.S, por la orientación prestada, y a todo el equipo de trabajo que labora en esta empresa.

Y finalmente, a todos aquellos que de una u otra manera se han hecho partícipes en todo el proceso, no solo en el de este proyecto, sino lo largo de toda mi instancia en la Universidad Industrial de Santander.

GRACIAS

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	13
1 JUSTIFICACIÓN	21
2 OBJETIVOS	22
2.1 OBJETIVO GENERAL	22
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
3 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.	23
3.1 CARACTERÍSTICAS SISMICAS	24
3.1.1 Factores pseudoestáticos de la norma NSR-10	25
3.1.2 Características del sitio de acuerdo a la norma nsr-10.....	27
3.1.2.1 Valores Aa y Vv	28
4 METODOLOGÍA.....	29
4.1 FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL ÁREA DE INTERÉS.....	30
4.2 FASE II: DE CAMPO.	30
4.2.1 Caracterización geológica:	31
4.2.2 Caracterización geomorfológica:	33
4.2.2.1 Morfometría.....	34
4.2.2.2 Morfogénesis.	34
4.2.2.3 Morfodinámica.	36
4.2.3 Caracterización de la cobertura de tierras.	36
4.3 FASE III: EXPLORACIÓN DEL SUELO.	38
4.3.1 Exploración geotécnica.....	38
4.3.1.1 Ubicación en planos de la exploración geotécnica.	38
4.3.1.2 Ejecución de ensayos de campo.	38
4.3.1.3 Realización de ensayos de laboratorio.	39
4.3.2 Exploración sísmica.....	39
4.3.2.1 Diseño.....	39
4.3.2.2 Adquisición.....	39
4.3.2.3 Procesamiento.....	39
4.3.2.4 Interpretación.....	40
4.4 FASE IV: DE RESULTADOS Y ELABORACIÓN DEL INFORME.	40
5 GEOLOGÍA REGIONAL	41
5.1 ESTRATIGRAFÍA.	44
5.1.1 Formación Girón (JG).....	45
5.1.2 Formación Los Santos (Kils – K1ls).....	46
5.1.3 Formación Rosablanca (Kir - K1r).....	46
5.1.4 Formación Paja (Kip - K1p).....	47
5.1.5 Formación Tablazo (Kit – K1t).....	49

5.1.6	<i>Formación Simití (Kis – K1s).</i>	49
5.1.7	<i>Formación La Luna (Ksl – K2l).</i>	50
5.1.8	<i>Formación Umir (Ksu – K2u).</i>	51
5.1.9	<i>Formación Lisama (Tpl-E1l).</i>	52
5.1.10	<i>Formación La Paz (Tel-E2l).</i>	52
5.1.11	<i>Formación Esmeraldas (Tee-E2e).</i>	54
5.1.12	<i>Formación Mugrosa (Tomi, Toms-E3mi, E3ms).</i>	54
5.1.13	<i>Formación Colorado (Toc-N3c).</i>	55
5.1.14	<i>Grupo Real (Tmr-N1r).</i>	56
5.1.15	<i>Depósitos cuaternarios (Qt, Qtf, Qcol, Qal).</i>	57
5.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	57
5.2.1	<i>Fallas.</i>	60
5.2.1.1	<i>Falla de Bucaramanga.</i>	60
5.2.1.2	<i>Falla del Suarez.</i>	61
5.2.1.3	<i>Sistema de fallas La Salina.</i>	62
5.2.2	<i>Pliegues.</i>	62
5.2.2.1	<i>Anticlinal de los cobardes.</i>	62
5.2.2.2	<i>Sinclinal de nuevo mundo.</i>	63
6	GEOLOGÍA LOCAL	64
6.1	UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA (UGI).	64
6.1.1	<i>Suelo Transportado fluviotorrencial (Stf).</i>	64
6.1.2	<i>Suelo transportado aluvial (Sta).</i>	68
7	GEOMORFOLOGÍA	71
7.1	MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA	71
7.2	MORFOGÉNESIS	72
7.2.1	<i>Nivel de terraza alto (Fta).</i>	73
7.2.2	<i>Nivel de terraza bajo (Ftb).</i>	74
7.2.3	<i>Escarpe de terraza (Fet).</i>	74
7.2.4	<i>Cauce o lecho actual (Fca).</i>	75
7.2.5	<i>Hondonadas (Dh).</i>	76
7.3	MORFODINÁMICA Y PROCESOS EROSIVOS	78
8	COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO	80
8.1	BOSQUE RIPARIO	80
8.2	PASTOS LIMPIOS	81
9	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	84
9.1	FASE DE CAMPO	84
9.1.1	<i>Registros de perforación SPT.</i>	85
9.1.2	<i>Registro de apiques.</i>	87
9.2	FASE DE LABORATORIO	88
9.2.1	<i>Clasificación de suelos.</i>	89
9.2.2	<i>Potencial de Expansión.</i>	91

9.2.3	<i>Ensayo de corte directo</i>	92
10	EXPLORACIÓN SÍSMICA.....	93
10.1	LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA.....	93
10.2	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN.....	95
10.2.1	<i>Resultados línea de refracción sísmica S1</i>	95
10.2.2	<i>Resultados línea de refracción sísmica S2</i>	97
11	EVALUACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	100
11.1	MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	100
11.2	FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO.....	101
11.3	PARÁMETROS GEOMECÁNICAS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN.....	102
11.4	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EMPLEANDO METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.....	105
11.4.1	<i>Limitantes del método</i>	105
11.4.2	<i>Concepto de Superficie de Falla</i>	107
11.4.3	<i>Factor de seguridad (F.S.)</i>	107
11.5	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	108
11.5.1	<i>Tipos de escenarios para análisis de estabilidad</i>	109
11.6	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ANTE DESLIZAMIENTO.....	110
11.6.1	<i>Resultados de la estabilidad escenario 1</i>	110
11.6.2	<i>Resultados de la estabilidad escenario 2</i>	115
11.6.3	<i>Resultados de la estabilidad escenario 3</i>	120
12	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	126
12.1	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA.....	126
12.2	RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 1.....	128
12.3	RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 2.....	130
12.4	RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 3.....	132
13	CONCLUSIONES.....	134
	BIBLIOGRAFÍA.....	140

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Localización de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí...	23
Figura 2. Localización del predio Yariguies III, al NE de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí.	24
Figura 3. Zonas de amenaza Sísmica.	25
Figura 4. Mapa de Valores Aa (aceleración horizontal pico efectiva).	26
Figura 5. Mapa de valores Av. (velocidad horizontal pico efectiva).	27
Figura 6. Esquema metodológico.	29
Figura 7. Esquema de jerarquización geomorfológica.	33
Figura 8. Modelo de Elevación Digital (DEM) donde se muestran los límites estructurales de la CVMM.....	41
Figura 9. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del VMM.	42
Figura 10. Mapa geológico del Municipio de San Vicente de Chucurí.	44
Figura 11. Rasgos estructurales esenciales del Valle Medio del Magdalena ...	59
Figura 12. Fotografía tomada al margen derecho de la carrera 19 entre la calle 8 y el puente de Yariguies, en donde se evidencia un depósito cuaternario de origen fluviotorrencial.....	65
Figura 13. Bloques de gran tamaño observados dentro del predio de estudio y que están asociados al depósito fluviotorrencial.....	66
Figura 14. Detalle de la composición de los bloques que se encuentran dentro del depósito fluviotorrencial, se observan areniscas conglomeráticas de grano medio a grueso con guijos de cuarzo y fragmentos líticos subredondeados y redondeados.....	67
Figura 15. Suelo transportado aluvial. Imágenes donde se muestra los diferentes depósitos aluviales recientes que se encuentran en el área urbana. Ala izquierda se observa el cauce de la quebrada las cruces en el sector del predio. A la derecha el suelo aluvial reciente de la quebrada Cantarranas en el sector del barrio Yariguies II.....	68
Figura 16. Mapa a escala 1:1000 de las Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio (Anexo A).	69
Figura 17. Perfil representativo de la zona de estudio. (En el Anexo B se presentan los demás perfiles).....	70

Figura 18. Plano morfométrico del área de estudio.	72
Figura 19. Nivel de terraza alto presente en el área de estudio.....	73
Figura 20. Nivel de terraza bajo presente en el área de estudio.....	74
Figura 21. Escarpe de terraza (Fet) presente en el margen de la Quebrada Las Cruces en la zona de estudio.....	75
Figura 22. Cauce o lecho actual de la Quebrada Las Cruces en el área de estudio.	76
Figura 23. Hondonada presente en el área de estudio.	77
Figura 24. Mapa a Geomorfológico del área de estudio (Anexo C).	77
Figura 25. Bosque ripario que se encuentra bordeando la Quebrada Las Cruces.	81
Figura 26. Pastos limpios que se encuentran predominando la zona de estudio, con presencia de árboles y arbustos menores al 30 %.....	82
Figura 27. Mapa de coberturas de tierras del área de estudio (Anexo D).....	83
Figura 28. Localización de la exploración geotécnica. (Anexo E).....	85
Figura 29. Registro fotográfico del sondeo No. 1 realizado en la zona de estudio.	86
Figura 30. Registro fotográfico del apique No. 5 realizado en la zona de estudio.	88
Figura 31. Localización de las líneas de refracción sísmica.	94
Figura 32. Resultado de las velocidades de onda p.	95
Figura 33. Resultado de la inversión de velocidades – Modelo Tomografía.....	96
Figura 34. Resultado de las velocidades de onda p en la línea S2.....	97
Figura 35. Resultado de la inversión de velocidades – Modelo Tomografía en la línea S2.....	98
Figura 36. Perfil geológico-geotécnico.....	101
Figura 37. Perfil 1 modelado en SLIDE V 5.0	102
Figura 38. Perfil 2 modelado en SLIDE V 5.0	103
Figura 39. Perfil 3 modelado en SLIDE V 5.0.	104
Figura 40. Perfil 4 modelado en SLIDE V 5.0.	104
Figura 41. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	111

Figura 42. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	111
Figura 43. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	112
Figura 44. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 2 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	112
Figura 45. Modelo de estabilidad del perfil 3 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	113
Figura 46. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	113
Figura 47. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	114
Figura 48. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.	114
Figura 49. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	115
Figura 50. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	116
Figura 51. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	116
Figura 52. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 2 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	117
Figura 53. Modelo de estabilidad del perfil 3 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	117
Figura 54. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	118
Figura 55. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	118
Figura 56. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.	119
Figura 57. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	120
Figura 58. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	121
Figura 59. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	121

Figura 60. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 2 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	122
Figura 61. Modelo de estabilidad del perfil 3 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	122
Figura 62. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	123
Figura 63. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	123
Figura 64. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.	124
Figura 65. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 1 (Anexo F).	129
Figura 66. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 2 (Anexo G).	131
Figura 67. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 3 (Anexo H).	132

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Parámetros pseudoestáticos para el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander.....	28
Tabla 2. Unidades geológicas para ingeniería según su origen.....	31
Tabla 3. Nomenclatura de las Unidades Geológicas para Ingeniería.	32
Tabla 4. Clasificación del terreno según su pendiente.....	34
Tabla 5. Nomenclatura para elementos geomorfológicos.....	35
Tabla 6. Clasificación de coberturas de tierras adaptada para Colombia.	37
Tabla 7. Grado de erosión de acuerdo a la cobertura vegetal (Van Zuidam, 1985).	79
Tabla 8. Ensayos de campo que se realizaron en la zona de estudio.	84
Tabla 9. Coordenadas de la exploración geotécnica.	84
Tabla 10. Valor de N (golpes/pies) de cada uno de los sondeos realizados.....	86
Tabla 11. Ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas.	89
Tabla 12. Clasificación granulométrica de las muestras recuperadas en los sondeos realizados.	89
Tabla 13. Potencial de expansión.	91
Tabla 14. Resumen de los parámetros obtenidos de los ensayo de corte directo.	92
Tabla 15. Coordenadas de cada geófono para la línea S1.....	94
Tabla 16. Coordenadas de cada geófono para la línea S2.....	94
Tabla 17. Velocidades y espesores de la Línea de refracción sísmica 1.....	96
Tabla 18. Velocidades y espesores de la Línea de refracción sísmica 2.....	97
Tabla 19. Propiedades geotécnicas sobre perfil 1.	102
Tabla 20. Propiedades geotécnicas sobre perfil 2.	102
Tabla 21. Propiedades geotécnicas sobre perfil 3.	103
Tabla 22. Propiedades geotécnicas sobre perfil 4.	104
Tabla 23. Factores de seguridad básicos mínimos directos.	108
Tabla 24. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 1.	115
Tabla 25. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 2.	119

Tabla 26. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 3.	124
Tabla 27. Categorización de la amenaza.....	127
Tabla 28. Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS. Para escenario estático.....	127
Tabla 29. Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS para escenario pseudoestático.	128
Tabla 30. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 1.	128
Tabla 31. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 2.	130
Tabla 32. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 3.	132

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Mapa de Unidades Geológicas para Ingeniería.	CD
Anexo B. Perfiles de las Unidades Geológicas para Ingeniería.....	CD
Anexo C. Mapa de Geomorfología.....	CD
Anexo D. Mapa de Cobertura de Tierras	CD
Anexo E. Mapa de Localización de Exploración Geotécnica	CD
Anexo F. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa Escenario 1.....	CD
Anexo G. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa Escenario 2	CD
Anexo H. Mapa de Amenaza por Movimientos en Masa Escenario 3.	CD
Anexo I. Registro fotográfico de los sondeos SPT.....	CD
Anexo J. Registro de Perforación SPT.	CD
Anexo K. Registro fotográfico de los Apiques.....	CD
Anexo L. Resultados de la clasificación de suelos.	CD
Anexo M. Ensayos de Corte Directo	CD
Anexo M. Modelos de análisis de estabilidad en SLIDE V 5.0.....	CD
Anexo O. Correlaciones en Dynamic probing.	CD

RESUMEN

TÍTULO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA 1:1000, DEL PREDIO DESTINADO PARA EL PROYECTO URBANÍSTICO YARIGUIES III, MUNICIPIO DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ-SANTANDER.*

AUTOR: KATALINYISET NIEVES CORDÓN. **

PALABRAS CLAVES: Amenaza, movimientos en masa, geología, geotecnia, ensayos de laboratorio, método de equilibrio límite, metodología determinística.

DESCRIPCIÓN:

De acuerdo a la Ley 1523 de 2012, se define la amenaza como el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

La identificación de las amenazas que pueden afectar una región determinada, constituye un paso preliminar al análisis de riesgos que es de muy alta relevancia. El conocimiento de las condiciones regionales de ocurrencia de eventos peligrosos, así como las características reportadas sobre eventos históricos importantes, proveen una primera idea del potencial destructivo de los fenómenos que amenazan la región, y permite conocer anticipadamente, de manera aproximada, los periodos de retorno de los eventos más importantes.

En este documento se presenta el trabajo realizado para determinar y zonificar la amenaza por fenómenos de movimientos en masa en el predio denominado Yarigües III, ubicado en el casco urbano del Municipio de San Vicente de

Chucurí, el cuál ha sido destinado por la Administración Municipal para desarrollar un importante proyecto urbanístico de interés social.

Para zonificar la amenaza por movimientos en masa del área de estudio, se implementó una metodología determinística mediante la aplicación de métodos de equilibrio límite, que consisten en la modelación geológica y geotécnica de la zona, con parámetros únicos obtenidos de los ensayos de laboratorio de las diferentes muestras recolectadas en la fase de exploración geotécnica, que permiten realizar modelamientos de estabilidad de taludes para sectorizar los factores de seguridad obtenidos y realizar la categorización de la amenaza de acuerdo a la normatividad vigente.

**Proyecto de Grado*

***Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. UIS.*

Director: José Neyith Contreras Sandoval, Magister en Geotecnia.

ABSTRACT

TITLE: GEOTECHNICAL STUDY FOR THE ZONING OF THE THREAT OF MASS MOVEMENTS IN SCALE 1: 1000, OF THE GROUND INTENDED FOR THE URBANISTIC PROJECT YARIGUIES III, MUNICIPALITY OF SAN VICENTE DE CHUCURÍ-SANTANDER.*

AUTHORS: KATALINYISET NIEVES CORDÓN **

KEY WORDS: Threats, mass movements, geology, geotechnics, laboratory tests, limit equilibrium method, deterministic methodology.

DESCRIPTION:

According to Law 1523 of 2012, the threat is defined as the latent danger that a physical event of natural origin, or caused, or induced by human action by accident, is presented with a severity sufficient to cause loss of life, injuries or other health impacts, as well as damages and losses in goods, infrastructure, livelihoods, service provision and environmental resources.

Identifying the threats that may affect a given region is a preliminary step to the analysis of risks that is very relevant. The knowledge of the regional conditions of occurrence of dangerous events, as well as the characteristics reported on important historical events, provide an initial idea of the destructive potential of the phenomena that threaten the region, and allows an approximate approximation of the return periods of the most important events.

This paper presents the work done to determine and zonify the threat of mass movements in the area known as Yariguies III, located in the urban area of the Municipality of San Vicente de Chucurí, which has been allocated by the Municipal Administration for develop an important urban project of social interest. In order to zonify the threat by mass movement of the study area, a deterministic methodology was implemented through the application of limit equilibrium

methods, consisting of the geological and geotechnical modeling of the zone, with unique parameters obtained from the laboratory tests of the different samples collected in the geotechnical exploration phase, which allow the modeling of slope stability to sectorize the safety factors obtained and to perform the categorization of the threat according to current regulations.

**Bachelor Thesis*

***Faculty of Physical – Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. UIS.*

Director: José Neyith Contreras Sandoval, M. S. in Geotechnical Studies.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa hacen parte de los procesos denudativos que forman y modelan el relieve de la corteza terrestre; y son ocasionados por diversos procesos geológicos, geomorfológicos, hidrometeorológicos, químicos y antrópicos, los cuales generan unos factores condicionantes y desencadenantes responsables de la ocurrencia de fenómenos por remoción en masa.

La zonificación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa involucra la identificación, estudios y evaluación de la amenaza actuando en diferentes escenarios, con el objetivo de determinar su génesis, características, comportamiento y potencialidad; a fin de que se establezcan estrategias y políticas para la planificación del desarrollo seguro, medidas y acciones encaminadas a mitigar sus posibles efectos negativos para la comunidad y actividades humanas, económicas, ambientales y sociales que se pretenden desarrollar, en este caso específico, con el Proyecto Urbanístico Yariguies III dentro del casco urbano del municipio de San Vicente de Chucurí, Santander.

El estudio geotécnico para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:1000, del predio destinado por el municipio de San Vicente de Chucurí para desarrollar el Proyecto Urbanístico Yariguies III, comprende un conjunto de actividades por medio de las cuales se obtuvo información geológica, geomorfológica y geotécnica con el fin de realizar una caracterización de la zona de estudio para poder definir un modelo geológico-geotécnico, plantear escenarios de amenaza y zonificar la amenaza del predio objeto de estudio.

El presente estudio se realizó tomando como referencia los aspectos metodológicos propuestos para elaborar la zonificación de amenaza por movimientos en masa, según lo dispuesto en el Decreto 1807 de 2014 y siguiendo la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

1 JUSTIFICACIÓN

Colombia es un país que por sus características tectónicas, geológicas, geomorfológicas, geográficas, hidrometeorológicas y de usos del suelo hacen que los movimientos en masa, sean de gran impacto y se presenten con mucha frecuencia. Por otra parte, el rápido e inadecuado crecimiento urbano es un factor recurrente en los patrones de desarrollo global, que debilita la capacidad para la gestión sustentable de los asentamientos humanos y aumenta la vulnerabilidad de los mismos ante la ocurrencia de diferentes fenómenos naturales y antrópicos.

En aras de dar un primer paso hacia un crecimiento de expansión urbana planificado en el Municipio de San Vicente de Chucurí con el proceso de urbanización de Yariguies III, nace la necesidad de identificar los potenciales eventos naturales peligrosos, como los fenómenos de remoción en masa, que podrían llegar a ocurrir en el sitio dispuesto para desarrollar dicho proyecto urbanístico; así como también, conocer los sectores en donde la acción de estos fenómenos se hace más severa causando mayores afectaciones y daños.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Zonificar la amenaza por movimientos en masa a escala 1:1000, del predio destinado por el municipio de San Vicente de Chucurí para el desarrollo del Proyecto Urbanístico Yariguies III.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

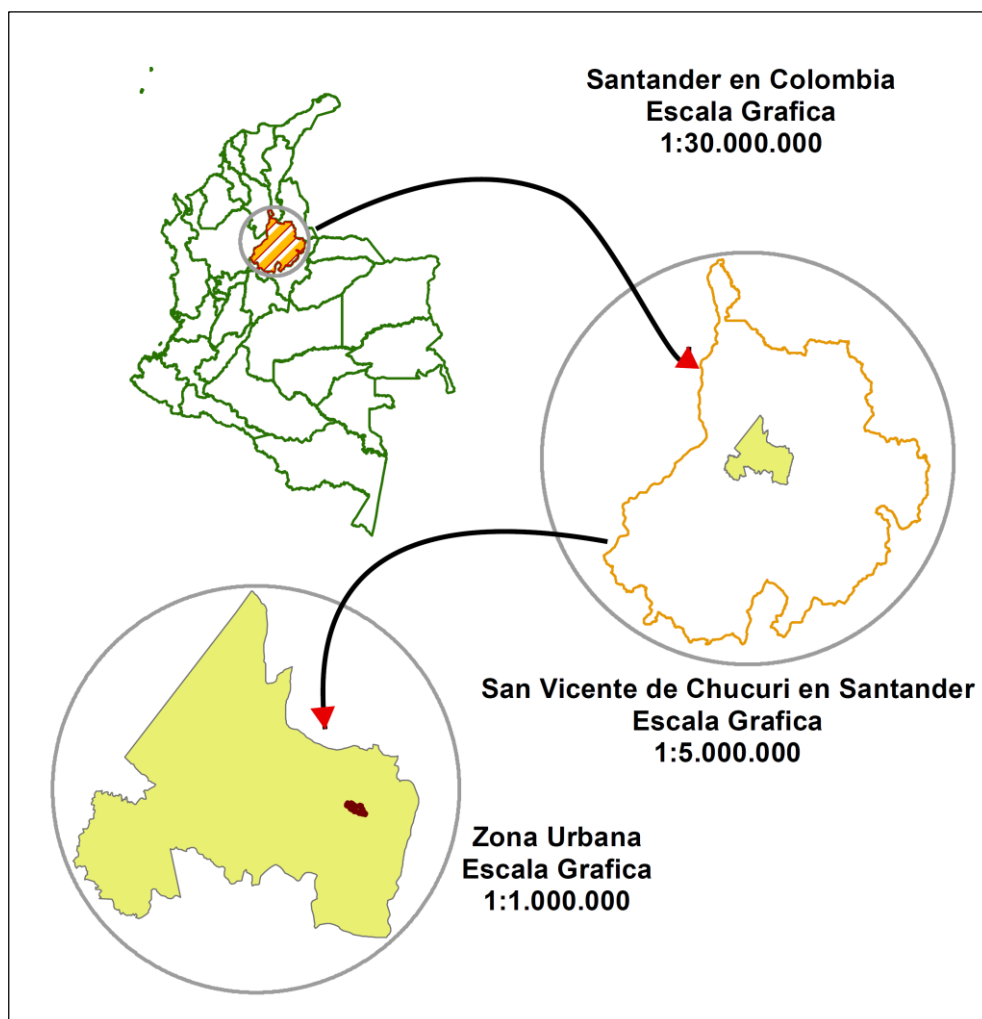
- Identificar, caracterizar y representar en un mapa a escala 1:1000 las Unidades Geológicas Superficiales y las Unidades Geomorfológicas presentes en el área de estudio.
- Identificar y caracterizar los procesos geomorfodinámicos presentes en el área de estudio.
- Determinar las propiedades geomecánicas de los suelos que conforman el área de estudio mediante los resultados de estudios de suelos como apiques y sondeos SPT.
- Definir un modelo geológico – geotécnico de la zona de estudio.
- Determinar mediante estudios de refracción sísmica, el perfil estratigráfico del suelo en profundidad en el área de estudio, obteniendo información básica como la disposición de las capas y el tipo de suelo.
- Inventariar, clasificar y caracterizar los distintos movimientos en masa que presente el área de estudio.
- Determinar la amenaza por M.M del predio en estudio, mediante modelos de estabilidad a partir de los factores de seguridad para diferentes condiciones.
- Definir las áreas que pueden ser intervenidas a partir del grado de la amenaza.
- Establecer las limitaciones o restricciones por amenaza del proyecto.
- Definir el grado de la amenaza por MM a partir de una tabla de categorización a través de los resultados obtenidos de un modelo determinístico.

3 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El municipio de San Vicente de Chucurí se encuentra ubicado en la Provincia de Mares del Departamento de Santander, geográficamente se encuentra sobre las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, haciendo parte del límite de esta Cordillera con el Valle Medio del Magdalena.

La cabecera municipal del San Vicente de Chucurí se encuentra aproximadamente a 90 km por la vía principal que conduce desde la Ciudad de Bucaramanga hacia el municipio; también presenta otras vías de acceso al casco urbano desde los municipios de Zapatoca, Betulia, Barrancabermeja y Carmen de Chucurí.

Figura 1. Localización de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí.



El área de estudio se encuentra localizada al Noroeste del perímetro urbano de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí, comprende un predio de aproximadamente 6 hectáreas, en donde se pretende desarrollar un proyecto urbanístico de interés social denominado Yariguies III.

Figura 2. Localización del predio Yariguies III, al NE de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí.



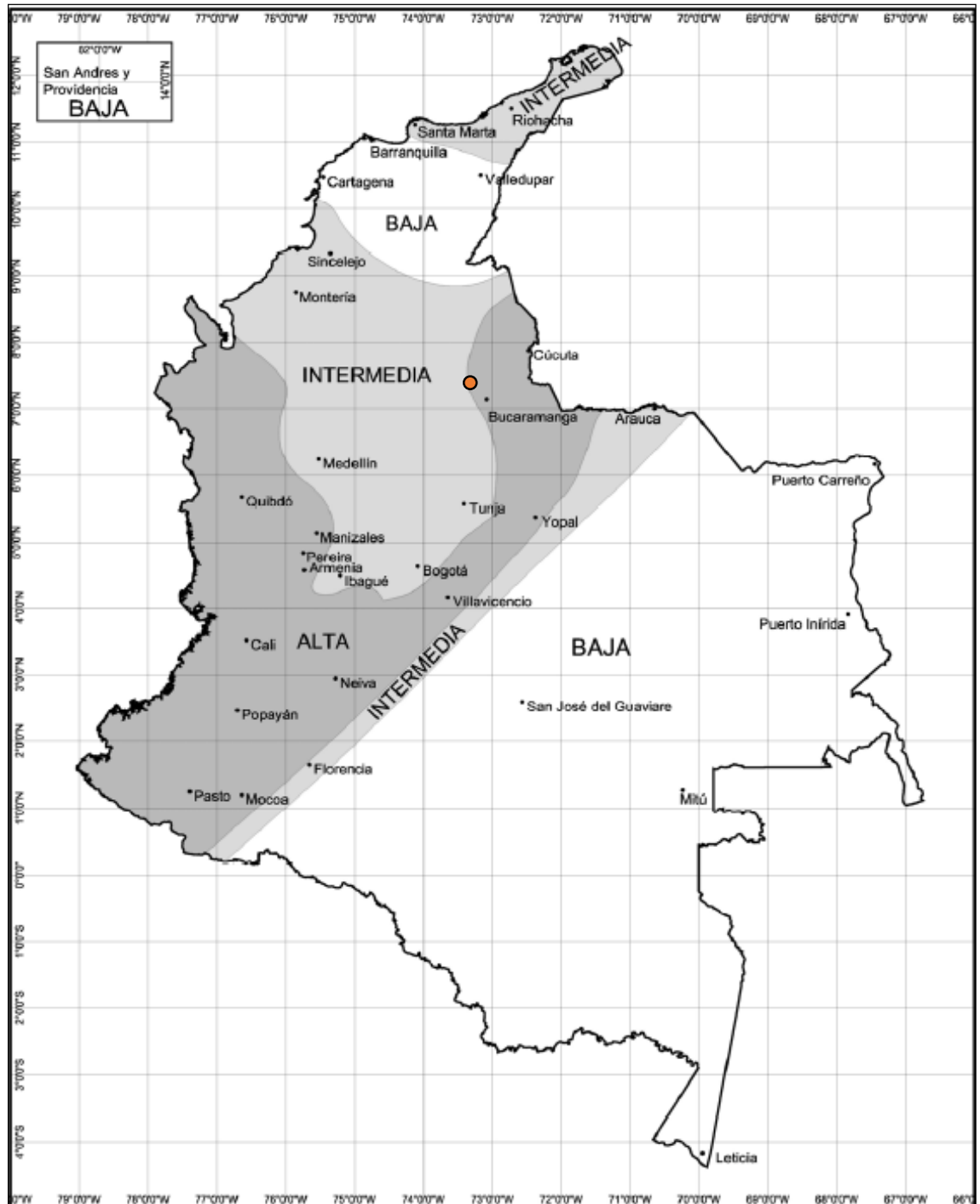
Fuente: Modificado del plano DU_002 de la Revisión Excepcional del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Vicente de Chucurí (2017).

3.1 CARACTERÍSTICAS SISMICAS.

De acuerdo lo establecido en la Norma Sismo Resistente Colombiana (2010), se presentan a continuación las características sísmicas del Municipio de San Vicente de Chucurí.

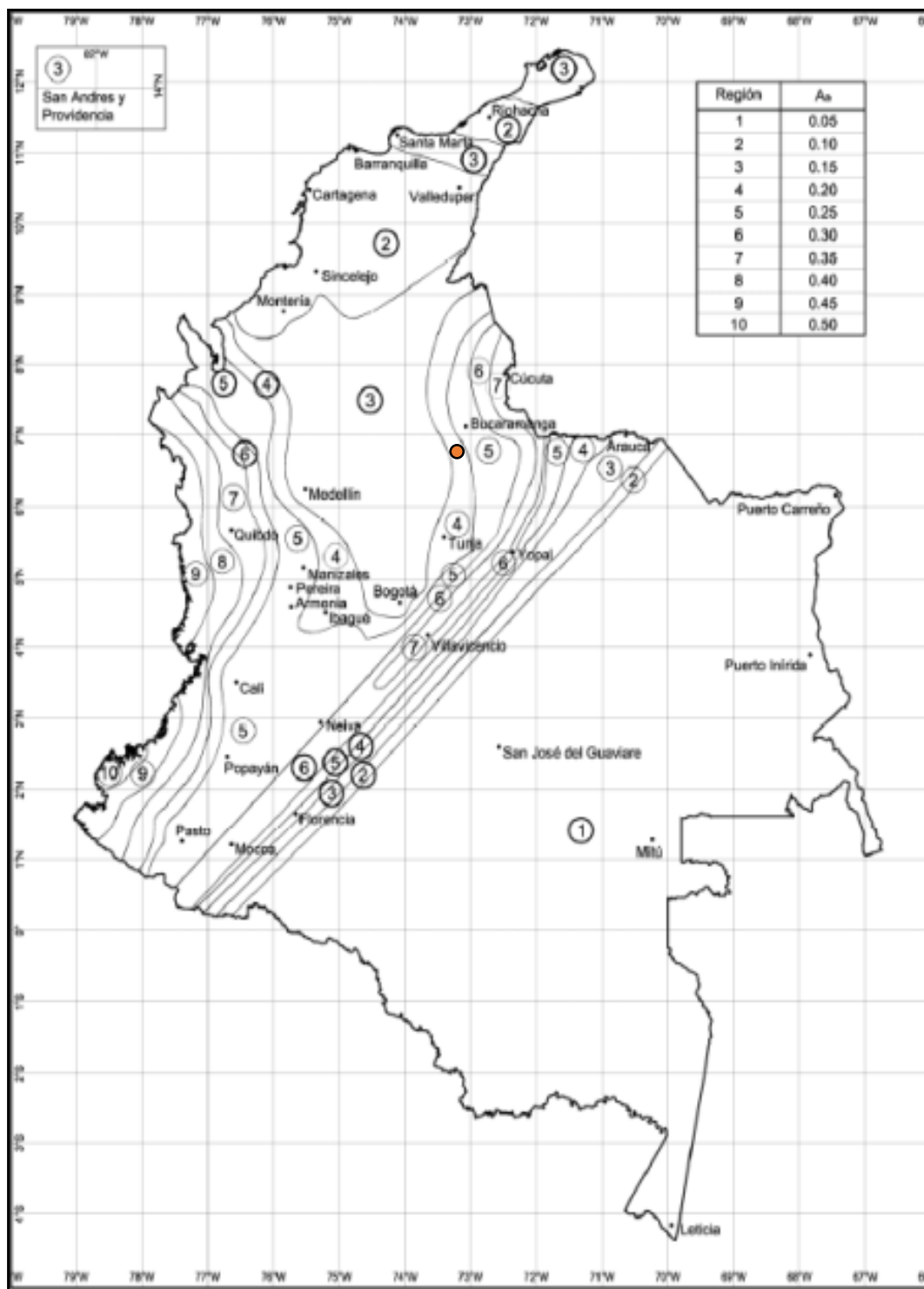
3.1.1 Factores pseudoestáticos de la norma NSR-10.

Figura 3. Zonas de amenaza Sísmica.



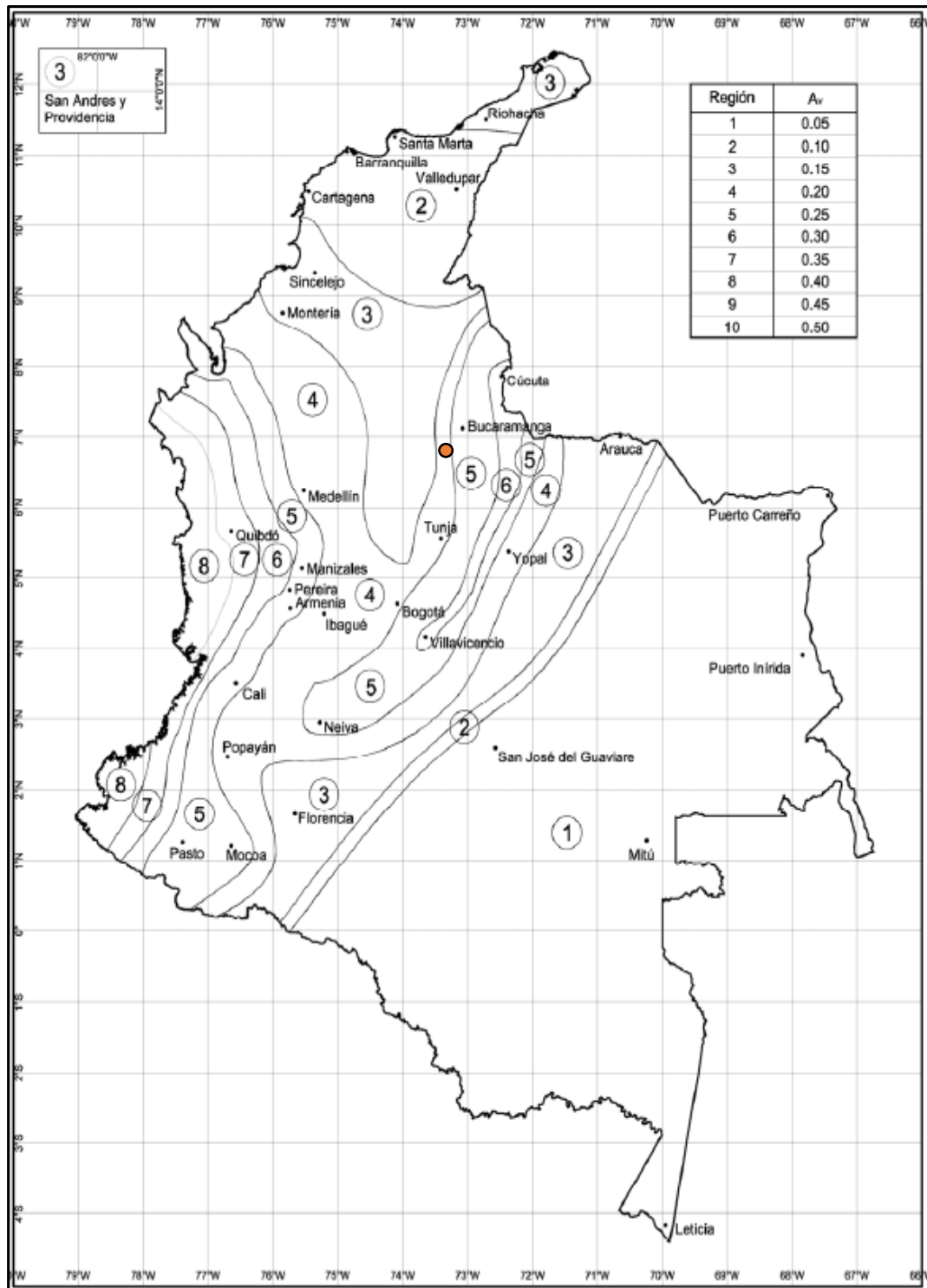
Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

Figura 4. Mapa de Valores Aa (aceleración horizontal pico efectiva).



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

Figura 5. Mapa de valores Av. (velocidad horizontal pico efectiva).



Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

3.1.2 Características del sitio de acuerdo a la norma nsr-10.

3.1.2.1 Valores Aa y Vv. Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, los parámetros sísmicos de diseño para el municipio de San Vicente de Chucurí son los siguientes:

Tabla 1. Parámetros pseudoestáticos para el municipio de San Vicente de Chucurí, Santander.

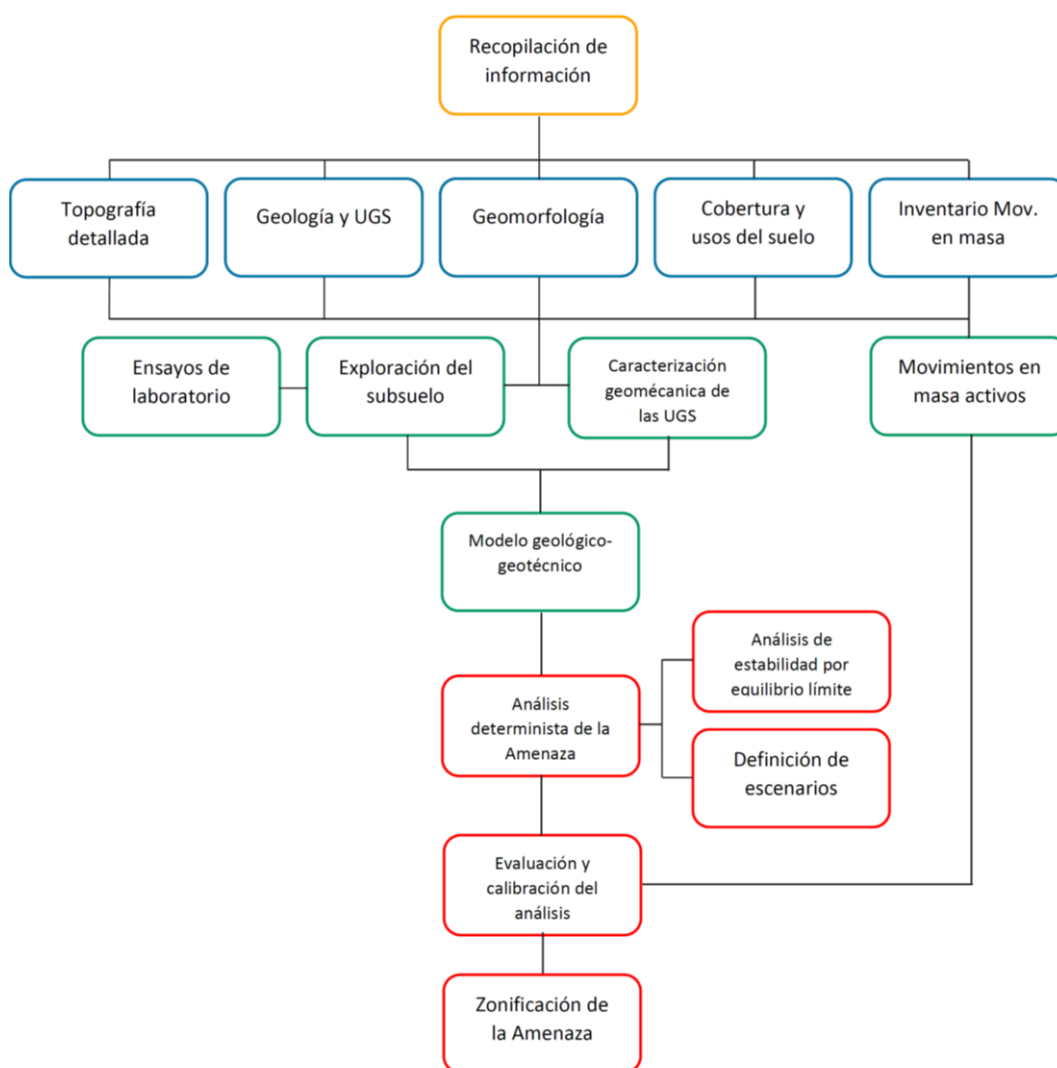
Municipio	Código Municipio	Aa	Av	Zona de Amenaza Sísmica
San Vicente de Chucurí	68689	0,20	0,20	Intermedia

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

4 METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en el presente documento, se estructuraron cuatro fases metodológicas teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1077 de 2015 y en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Figura 6. Esquema metodológico.



Fuente: Modificado de SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Bogotá D.C., 2015.

4.1 FASE I: Recopilación de información del área de interés.

Inicialmente se expone una revisión bibliográfica del contexto regional y de los antecedentes asociados a la zona de estudio. En esta etapa se reúne, se analiza y se procesa toda la información existente contenida en el Plan Básico de Ordenamiento del Municipio, estudios regionales, técnicos o informes técnicos, cartografía base disponible, información de bases de datos institucionales y de redes de monitoreo de amenazas existentes, tales como:

- Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Vicente de Chucurí aprobado mediante Acuerdo Municipal No. 022 de 2003
- Revisión Excepcional del Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Vicente de Chucurí, concertada con la Corporación Autónoma de Santander mediante Resolución No. 386 del 8 de Mayo de 2017.
- Plancha geológica 120 Bucaramanga (INGEOMINAS, 1977, versión digital (2010) en formato PDF, escala 1:100.000).
- Plancha geológica 119 Barrancabermeja (INGEOMINAS, 1985, versión digital (2009) en formato PDF, escala 1:100.000).
- Memoria explicativa de las planchas 120 Bucaramanga y 109 Rio Negro, del cuadrángulo H-12 Bucaramanga (INGEOMINAS, 1973, documento en formato PDF).
- Memoria explicativa de las planchas 119 Barrancabermeja, (INGEOMINAS, 1979, documento en formato PDF).

4.2 FASE II: De campo.

Esta fase comprende todas aquellas labores que se realizan para obtener datos e información directamente del área de trabajo que permita caracterizar geológica, geomorfológica y geotécnicamente la zona; y en donde se toma como insumo importante el levantamiento topográfico a escala 1:1000 del predio Yariguies III que se realizó como labor externa a este proyecto.

4.2.1 Caracterización geológica. Se recolecta la información para realizar un mapa de geología para ingeniería, cuyo enfoque está directamente relacionado en la identificación y caracterización de cada una de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) presentes en el área de estudio.

Las UGI se delimitan teniendo en cuenta que representen alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área y espesores mínimos cartográficos, de acuerdo a la escala de trabajo y con base en la definición de unidades litoestratigráficas (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Como base para la identificación y caracterización de las UGI, se clasifican los materiales de acuerdo a su origen (tabla 2) y una vez identificadas preliminarmente por su origen y litología, se asocia una nomenclatura teniendo en cuenta la tabla 3.

Tabla 2. Unidades geológicas para ingeniería según su origen.

ORIGEN DE LA UGI	TIPO DE UGI
Derivadas de roca <i>In situ</i>	Roca inalterada Saprolito Suelo residual
Depósitos aluviales	Aluviones recientes o de lecho de río Llanuras aluviales Abanicos o conos aluviales Terrazas aluviales Depósitos fluvio-torrenciales
Depósitos lacustres y paludales	Planicie lacustrina, artesa lagunar, plano anegadizo
Depósitos de ladera, de vertiente o coluviales	Coluviones Talus Flujos (de lodo, tierra y de escombros) Derrubios de pendiente
Depósitos costeros	Deltas, barras, playas, etc.
Depósitos volcánicos	Tefras Surges Flujos de piroclastos Ignimbritas Flujos de lodos volcánicos Lahares Cenizas Coladas de lava

Depósitos eólicos	Dunas, medanos Loess Cenizas volcánicas
Depósitos glaciares	Morrenas y tillitas Fluvioglaciares, valle glacial, abanicos de lavado
Depósitos antrópicos	Rellenos sanitarios o de basuras Rellenos de excavaciones Escombreras o botaderos

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Bogotá D.C., 2015.

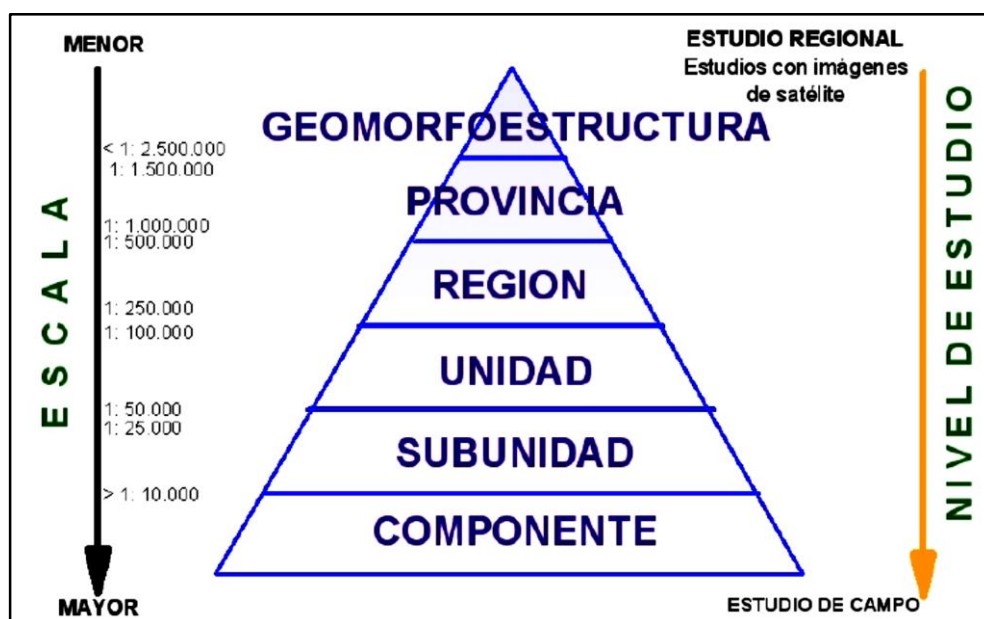
Tabla 3. Nomenclatura de las Unidades Geológicas para Ingeniería.

NOMENCLATURA SUGERIDA	NOMBRE DE LA UGI	NOMENCLATURA SUGERIDA	NOMBRE DE LA UGI
SUELOS			
Sa	Suelo antrópico	Stcba	Suelo transportado de ceniza y bloque altamente meteorizado
Sale	Suelo antrópico de llenos de escombros	Stct	Suelo transportado de cono de talus
Sra	Suelo residual de arenisca	Stta	Suelo transportado de terraza alta
Srl	Suelo residual de lutita	Sttm	Suelo transportado de terraza media
Sta	Suelo transportado aluvial	Sttb	Suelo transportado de terraza alta
Stca	Suelo transportado coluvial antiguo	Stf	Suelo transportado fluviotorrencial
Stco	Suelo transportado coluvial	Stfl	Suelo transportado de flujo de lodo
Stcbm	Suelo transp de ceniza y bloque moderadamente meteorizado	Stfv	Suelo transportado fluviovolcánico
ROCAS			
Rmda	Roca muy dura de arenisca	Rdi	Roca dura de ignimbrita
Ria	Roca intermedia de arenisca	Rbari	Roca blanda arenosa de ignimbrita
Rbl	Roca blanda de lutita	Rbai	Roca blanda arcillosa de ignimbrita
Rmbl	Roca muy blanda de lutita	Rbe	Roca blanda de esquisto

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Bogotá D.C., 2015.

4.2.2 Caracterización geomorfológica. Para el propósito del análisis geomorfológico en el presente estudio, se utilizó la metodología del ITC de Holanda; con modificaciones y jerarquización geomorfológica adoptada por Ingeominas (2011), la cual relaciona las escalas de trabajo con la génesis de las geoformas asociadas a los diferentes ambientes morfogenéticos y cuya aplicación es variada de acuerdo a los objetivos de trabajo.

Figura 7. Esquema de jerarquización geomorfológica.



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA y ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería e Ingeominas. 2001.

En la zona de estudio correspondiente al predio Yariguies III del Municipio de San Vicente de Chucurí, la escala de trabajo utilizada fue 1:1000, de tal manera que el análisis geomorfológico corresponde al nivel de componentes geomorfológicos.

Para la realización de la cartografía geomorfológica se usó la nomenclatura la establecida en la guía metodológica para estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo del Servicio Geológico Colombiano (2015). La cual se basa en los

parámetros geomorfológicos, que son la morfología, morfometría, morfogénesis y la morfodinámica, brindando información lo más completa del tipo de terreno y propiedades que presenta.

4.2.2.1 Morfometría: Es el conjunto de técnicas, procedimientos y métodos, utilizados para determinar atributos que configuran el relieve y con base a ellos, conocer el sistema de relaciones espaciales que caracterizan a las formas del terreno. La unidad de referencia del análisis morfométrico es la pendiente del terreno, también se tiene en cuenta la longitud y la forma de la misma. Para el análisis morfométrico se utilizó la clasificación del terreno según su pendiente (Tabla 4), propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

Tabla 4. Clasificación del terreno según su pendiente

INCLINACION (PORCENTAJE)	DESCRIPCION	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL
0 – 3 %	Plano	Muy blanda
3 – 7 %	Ligeramente Plano	Blanda
7 – 12 %	Moderadamente Inclínada	Moderadamente blanda
12 – 25 %	Empinado	Moderadamente resistente
25 – 50 %	Muy Empinado	Muy Resistente
50 – 75 %	Escarpada	Extremadamente Resistente
75 – 100 %	Muy Escarpada	Completamente Resistente

Fuente: LEIVA, O. MOYA, H. GONZALES, G. Y CARVAJAL, J. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D. C. 2012. p. 90.

4.2.2.2 Morfogénesis: Para la cartografía de las unidades morfológicas se tuvo en cuenta la propuesta de glosario para ambientes denudacional, estructural y fluvial, hecho por el Servicio Geológico Colombiano del año 2015 y expuesta en la tabla 5, donde se describen cada una de las geformas para cada uno de los ambientes.

Tabla 5. Nomenclatura para elementos geomorfológicos.

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA	
ESTRUCTURAL-FUNDACIONAL	Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre rocas y suelos, generando expresiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.	Gancho de falla	Sgf	
		Lomo de presión	Slp (Sle)	
		Cerro estructural	Sce	
		Charco de falla (Sag Pond)	Scf	
VOLCÁNICA-DENUDACIONAL	Son geogormas desarrolladas por estructuras volcánicas y su actividad asociada a materiales arrojados por los mismos, los cuales se encuentran sometidos a procesos denudacionales de clima tropical.	FLUVIO-VOLCÁNICA	Superficie de abanico	Va
			Escarpe de abanico	Ve
		SUBHORIZONTALES A INCLINADOS	Lomo residual	Vlr (Dlr)
			Cimas anchas	Vca (Dca)
			Colina residual	Vcr (Dcr)
			Superficie plana o sub-horizontal	Vlpf(Dlp)
			Ladera suave	Vls (Dls)
			Ladera moderada	Vlm (Dlm)
		Ladera inclinada a escarpada	Vle (Del)	
		DENUDACIONAL	Estas geoformas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en zonas de clima tropical; caracterizadas por erosión, depositación y movimientos en masa.	Microcuencas denudacionales
Depósitos de lavado	Ddl			
Depósitos de ladera o coluviales	Dco			
FLUVIAL	Son geoformas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de las corrientes fluviales. Incluyen cauces actuales de las corrientes y niveles de terrazas dejadas por sedimentación de cauces, incisión y eventos fluvio – torrenciales.	Cauce o lecho actual del río	Fca	
		Nivel de terraza bajo	Ftb	
		Nivel de terraza medio	Ftm	
		Nivel de terraza alto	Fta	
		Escarpe de terraza	_____Fet_____	
		Cono de deyección	Fcd	
ANTROPOGÉNICO	Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías.	Cantera	Ac	
		Llenos mixtos	Allm	
		Llenos de escombros	Alle	
		Botadero de escombros	Abe	
		Terrazas y conos explanados con llenos	Atcer	
		Ladera terraceda	Alt	

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Guía metodológica para

estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Bogotá D.C., 2015.

4.2.2.3 Morfodinámica: Establece los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o unidades del terreno. La caracterización morfodinámica permite la identificación de los procesos denudativos (erosión y fenómenos de remoción en masa) que han ocurrido en cierta área determinada, los cuales han contribuido en su evolución, y permite tener una prospectiva sobre la estabilidad futura del terreno (INGEOMINAS 2004).

La clasificación de los diferentes tipos movimientos en masa se realizó con base a la tabla de clasificación de movimientos en masa propuesta por Varnes (1978).

En el área de estudio no se encontraron indicios procesos morfodinámicos de ningún tipo.

4.2.3 Caracterización de la cobertura de tierras. Para la caracterización y delimitación de las diferentes coberturas de tierras presentes en el área de estudio, se usa la nomenclatura establecida en el proyecto CORINE LAND COVER (1990) y que ha sido adaptada por Colombia por el IDEAM (2010) (tabla 6); dicha metodología permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes satelitales que son validadas durante las visitas de campo.

Tabla 6. Clasificación de coberturas de tierras adaptada para Colombia.

1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3 BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. BOSQUES
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1 Zonas industriales, comerciales y redes de comunicación	3.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.1. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuerto	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto inundable
1 Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1 Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3 Bosque fragmentado
1 Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
	3.2.1.1. Herbazal denso
	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme arbolado
	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable no arbolado
	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable arbolado
	3.2.1.1.2. Arracachal
	3.2.1.1.2. Helechal
	3.2.1.2. Herbazal abierto
	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
	3.2.2.1. Arbustal denso
	3.2.2.2. Arbustal abierto
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
	3.3.1. Zonas arenosas naturales
	3.3.2. Afloramientos rocosos
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
	3.3.4. Zonas quemadas
	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
	4 ÁREAS HÚMEDAS
	4.1. Áreas húmedas continentales
	4.1.1. Zonas pantanosas
	4.1.2. Turberas
	4.1.3. vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2. Áreas húmedas costeras
	4.2.1. Pantanos costeros
	4.2.2 Salitral
	4.2.3. Sedimentos expuestos en baja mar
	5 SUPERFICIES DE AGUA
	5.1. Aguas continentales
	5.1.1. Ríos (50m)
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
	5.1.3. Canales
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
	5.2. Aguas marítimas
	5.2.1. Lagunas costeras
	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
2 TERRITORIOS AGRÍCOLAS	
2.1. Cultivos transitorios	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	
2.1.2. Cereales	
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	
2.1.4. Hortalizas	
2.1.5. Tubérculos	
2.2. Cultivos permanentes	
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.2. Caña	
2.2.1.3. Plátano y banano	
2.2.1.4. Tabaco	
2.2.1.5. Papaya	
2.2.1.6. Amapola	
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	
2.2.2.2. Café	
2.2.2.3. Cacao	
2.2.2.4. Viñedos	
2.2.2.5. Coca	
2.2.3. Cultivos arbóreos	
2.2.3.1. Otros cultivos permanente arbóreos	
2.2.3.2. Palma de aceite	
2.2.3.3. Cítricos	
2.2.3.4. Mango	
2.2.4. Cultivos agroforestales	
2.2.5. Cultivos confinados	
2.3. Pastos	
2.3.1. Pastos limpios	
2.3.2. Pastos arbolados	
2.3.3. Pastos enmalezados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
2.4.1. Mosaico de cultivos	
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Leyenda nacional de cobertura de la tierra.

Metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Bogotá: IDEAM. 2010.

4.3 FASE III: Exploración del suelo.

Esta fase incluye todas aquellas actividades exploratorias del suelo compuestas por ensayos SPT a percusión, así como la extracción de apiques manuales de suelo inalterado y la realización líneas de refracción sísmica que permitan tener información directa e indirecta de las propiedades mecánicas del suelo que conforma el área de estudio.

4.3.1 Exploración geotécnica. Con el propósito de determinar las características del subsuelo propias de la zona, es de vital importancia recopilar la mayor información posible de la estructura del suelo, para ellos se estructuró la siguiente metodología para realizar la exploración de suelo y del subsuelo de la zona de estudio.

4.3.1.1 Ubicación en planos de la exploración geotécnica. La exploración geotécnica se efectuó en puntos estratégicos con el fin de caracterizar los suelos encontrados sobre el área de influencia directa del proyecto. En esta actividad se registraron las coordenadas planas de la ubicación de los sondeos y apiques propuestos.

4.3.1.2 Ejecución de ensayos de campo. Una vez definidos los puntos de la exploración geotécnica, se efectuaron los ensayos de campo, compuestos por ensayos SPT a percusión, así como la extracción de apiques manuales de suelo inalterado.

4.3.1.3 Realización de ensayos de laboratorio. A las muestras obtenidas en campo se les realizaron los siguientes ensayos de laboratorio: Humedad Natural, Peso Específico, Granulometría, Límites de Atterberg y ensayos de Corte directo realizado a las muestras inalteradas extraídas. Cabe aclarar y resaltar que dichos ensayos fueron realizados por ALICON & ING S.A.S.

4.3.2 Exploración sísmica. La metodología empleada para la exploración sísmica del subsuelo está dividida en las siguientes etapas: diseño, adquisición, procesamiento e interpretación.

4.3.2.1 Diseño. En esta etapa se planifica el levantamiento sísmico donde es importante el aprestamiento de información para conocer la viabilidad de la longitud del tendido sísmico la cual garantizará la profundidad necesaria. Se realiza geología de superficie para entender el entorno y las velocidades que se puedan esperar durante el procesamiento.

4.3.2.2 Adquisición. Una vez realizado el diseño, se hace el trabajo de campo. Se verifica la posición de las líneas en campo y se realiza el tendido sísmico. Se toma registro de muestras geológicas, de suelos, si hay presencia de ríos, ruido ambiental y registro fotográfico, entre otros, para la realización de un buen procesamiento.

4.3.2.3 Procesamiento. Se hace un pre-procesamiento mediante el software USB-Seismograph de la compañía PASI donde se determinan los primeros arribos y se hace uso de filtrado si es necesario para la eliminación de algún ruido obtenido en el registro de velocidades. Posteriormente, se realiza este procedimiento en el programa Pickwin de la compañía Geometrics, para obtener las tomografías sísmicas.

4.3.2.4 Interpretación: En esta última etapa, se miran las velocidades obtenidas, las cuales se agrupan y se correlacionan con la información geológica obtenida en campo. Estas velocidades se correlacionan siguiendo la norma D-5777 para Refracción sísmica.

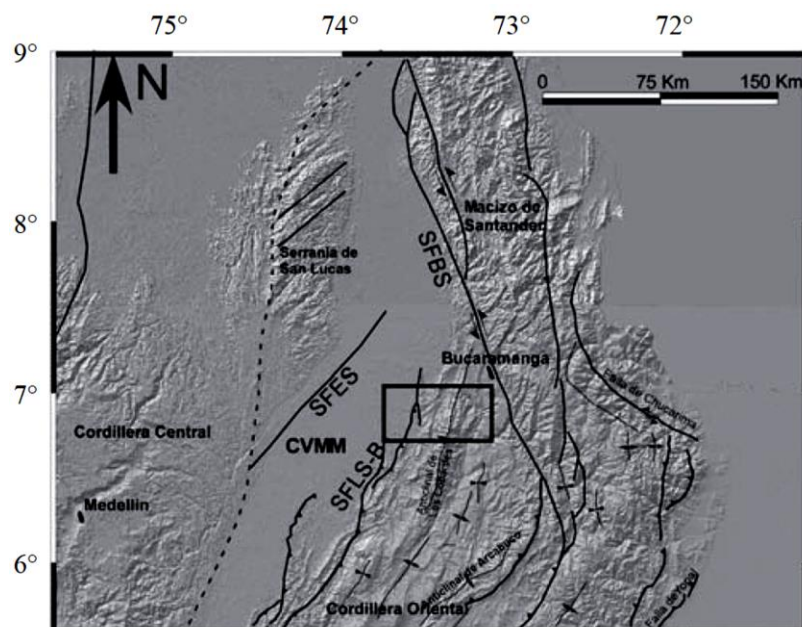
4.4 FASE IV: De resultados y elaboración del informe.

A partir de la información obtenida de las anteriores fases, se realizan los respectivos modelamientos de estabilidad de taludes en el software Slide V. 5.0, con el fin de realizar la zonificación de la amenaza por movimientos en masa teniendo en cuenta los factores de seguridad de los taludes bajo tres escenarios distintos. Finalmente, se proceda a la integración de los resultados y a la elaboración del presente documento.

5 GEOLOGÍA REGIONAL

La geología del municipio de San Vicente de Chucurí se encuentra directamente relacionada y es inherente a la geología de la Cuenca Sedimentaria del Valle Medio del Magdalena (CVMM) y a la de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental Colombiana, la cual hace referencia a la depresión geomorfológica que separa las Cordilleras Central y Oriental de Colombia. Desde el punto de vista geológico, el VMM se trata de una cuenca intracordillerana basculada hacia el oriente, con tendencia homoclinal, perturbada por algunos pliegues y fallas (Pérez y Valencia, 1977; en Mojica y Franco, 1990). Los límites estructurales del VMM los constituyen: al Norte, el sistema de fallas de Espíritu Santo (S.F.E.S); al Noreste, el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta (S.F.B.S.M); al Sureste, el sistema de fallas Bituima y La Salina (S.F.B.S) y al Oeste, la Serranía de San Lucas y la Cordillera Central (Barrero, et al., 2007, en Jiménez et al, 2016) (figura 8).

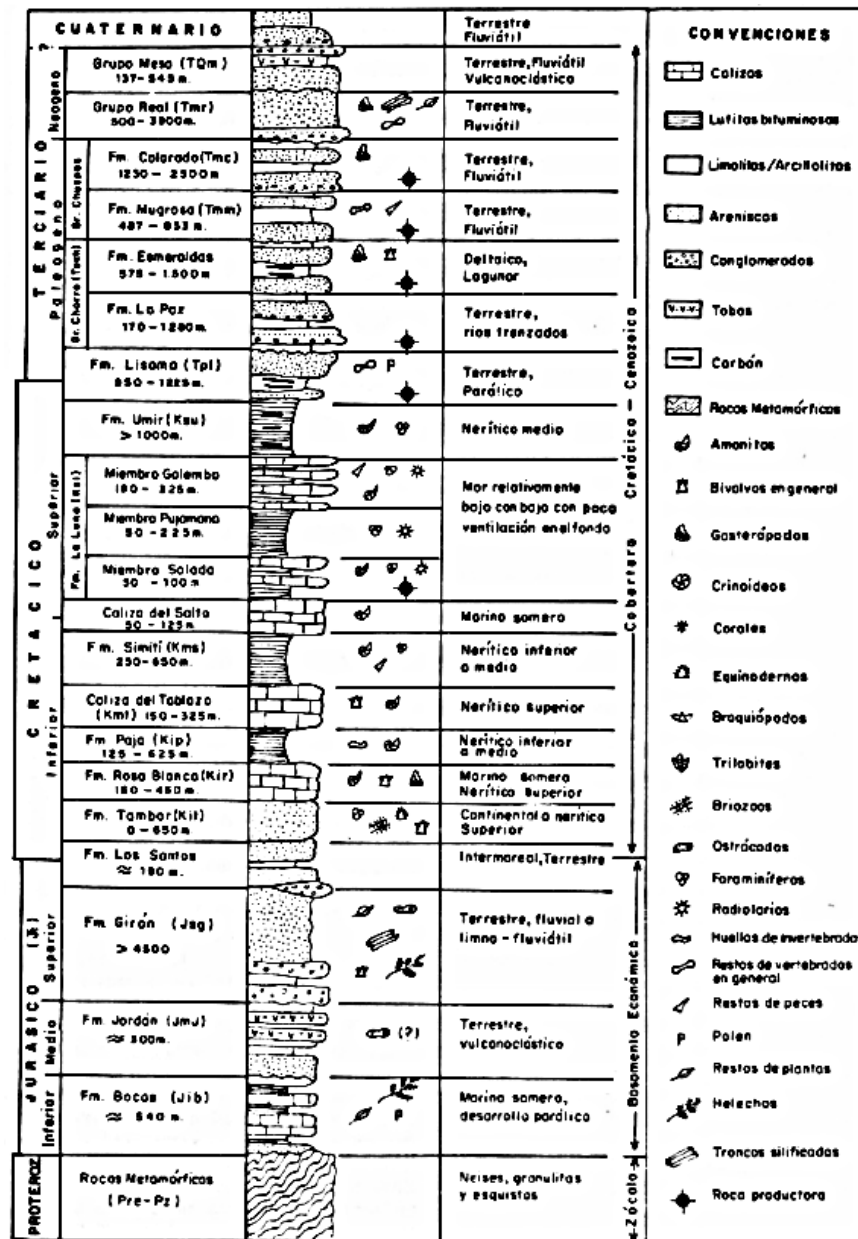
Figura 8. Modelo de Elevación Digital (DEM) donde se muestran los límites estructurales de la CVMM.



FUENTE: JIMENEZ, G., et al. Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías del basamento en el Valle Medio del Magdalena. En: Ciencias de la Tierra. Abril-junio, 2016, vol.40 no.155.,p p. 312 – 319.

De manera general, la estratigrafía del VMM consiste de un basamento ígneo metamórfico de edades desde el Precámbrico al Paleozoico Inferior. Este basamento se encuentra suprayacido por una secuencia de rocas sedimentarias que van desde el Jurásico Tardío hasta el reciente (Schamel, 1991, Moreno, et al., 2011, Sarmiento L.F Rolón, 2004). Las principales características de la secuencia sedimentaria se pueden resumir como:

Figura 9. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca del VMM.



Fuente: MOJICA, J. y FRANCO, R. Estructura y Evolución Tectónica del Valle

Medio y Superior del Magdalena.- Geología. Colombiana. 1990. vol. 17. pp. 41-64.

Las rocas de edad Jurásico- Cretácico Inferior (Berriasiano) pertenecen a rocas volcano-sedimentarios en un sistema fluvial estructuralmente controlado (Formaciones Girón, Arcabuco-Los Santos) (Etayo-Serna, 1968; Fabre, 1983 en Jiménez et al, 2016). Estas unidades están siendo suprayacidas por depósitos de rocas sedimentarias siliciclásticas y calcáreas del Cretácico temprano en una plataforma marina somera, que fue más amplia que el actual VMM (Grupo basal conformado por las formaciones Cumbre, Rosablanca, Paja y Tablazo).

Las unidades litoestratigráficas de edad Albiano a Maastrichtiano corresponden a rocas de ambientes marinos someras acumuladas en una plataforma afectada por los cambios del nivel del mar (Formaciones Simití y La Luna), (Rolón, 2004, en Jiménez et al, 2016).

Las Formaciones estratigráficas de edad Cretácico Superior a Paleoceno están conformadas por rocas siliciclásticas marinas a paludales (Formaciones Umir y Lisama) depositadas en ciclos regresivos-transgresivos (Rolón, 2004, en Jiménez et al, 2016).

Y finalmente, las rocas de edad Paleógeno- Neógeno corresponden a rocas continentales depositadas en un ambiente fluvial y rocas clásticas lacustres (Formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real) (Caballero, et al., 2010; Rolón, 2004, en Jiménez et al, 2016).

Regionalmente, el Municipio de San Vicente de Chucurí está conformado por unidades litoestratigráficas asociadas netamente a rocas sedimentarias que datan desde Jurásico Superior en el sureste del municipio con la Formación Girón, hasta el Neógeno con la Formación Grupo Real dispuesto en el oeste del territorio municipal; y que se encuentran infrayaciendo a depósitos cuaternarios, predominantemente, de origen aluvial y coluvial (figura 10).

5.1.1 Formación Girón (JG). Inicialmente, Hettner (1892) define una secuencia litológica particular constituida por areniscas rojas, con manchas blancas y verdes, junto con lodolitas pardo – moradas y calizas rojas a las cuales denomina “Jironschichten” o “Jironsandtein”(Julivert, 1968) que traduce Estratos de Girón, este nombre fue asignado por la cercanía al municipio de Girón, Santander (Osorio, 2016).

La sección tipo de la Formación Girón fue fijada en el Rio Lebrija por Langenheim (1959), quién dividió dicha sección en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m), uno intermedio lodoso (1.250 m) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m (Royero y Clavijo, 2001). Sin embargo, Cediel (1968), describió y midió un total de 4.840 m y lo dividió en ocho conjuntos litológicos (A-H), que corresponden a las formaciones Girón (Conjuntos A-G) y Los Santos (H) (Osorio, 2016).

Litológicamente, la Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomeráticos, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm (Royero y Clavijo, 2001). El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre fluvial (Mojica y Villarroel, 1984; Royero y Clavijo, 2001).

Pons (1982) mediante un estudio palinológico, establece la edad de la Formación Girón entre el Jurásico Superior y el Cretácico inferior (Royero y Clavijo, 2001). La Formación Girón reposa en discontinuidad estratigráfica sobre las Formaciones Bocas y Jordán e infrayace concordantemente a la Formación Los Santos (Tambor) (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.2 Formación Los Santos (Kils – K1ls). Esta formación fue inicialmente denominada Formación Tambor por Hedberg (1931), para definir una sucesión de areniscas que aflora en el Cañón del Río Lebrija a lo largo del ferrocarril de Bucaramanga a Puerto Wilches, entre los kilómetros 92 y 93 (Cediel, 1968).

Fue Cediel (1968) quien le asignó por primera vez el nombre de Formación los Santos y propuso su sección tipo en el camino del Roto, que comunica la población de Los Santos con la población de Jordán; posteriormente fue redefinido por Laverde (1985) en su sección tipo. La Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (Cediel, 1968; Etayo y Rodríguez, 1985).

Litológicamente, la Formación Los Santos está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas de color rojo grisáceas y cuarzo areniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. En la localidad tipo, el espesor es de 218 m. Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas (Clavijo, 1985; Laverde y Clavijo, 1985; Laverde, 1985).

El contacto inferior con la Formación Girón, para algunos autores es discordante (Julivert, 1958; Langenheim, 1959; Navas, 1963) y para otros es transicional a concordante (Cediel, 1968; Clavijo, 1985; Laverde y Clavijo, 1985; Pinto, J., et al., 2008). El contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Cumbre (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.3 Formación Rosablanca (Kir - K1r). Morales et al., (1958) da a conocer que originalmente la Formación Rosablanca fue descrita por Wheeler (1929), años más tarde Toussaint (1996) comenta un espesor variable para la formación de unos 100 metros al norte de Bucaramanga y de 425 metros en la zona del Río Sogamoso, en su sección tipo.

Zamarreño (1963) realizó la estratigrafía y descripción petrográfica de la Formación Rosablanca que aflora en el cañón del Río Sogamoso a la altura de la quebrada Lagunetas, al W de la Mesa de Los Santos. La sucesión tienen unos 318 metros de espesor y está constituida por un conjunto de calizas masivas con margas y shales intercalados y un nivel arenoso en la parte alta, también diferenció niveles petrográficos de base a techo (dolomías o calizas dolomíticas, micrita, micrita fosilífera, esparita, intramicrita, biomicrita a micrita fosilífera, intramicrita, micrita fosilífera, ortocuarcita y biomicritas) que le permitieron identificar que las condiciones de depósito de esta sucesión no fueron constantes.

Según Royero y Clavijo (2001), esta unidad litoestratigráfica está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso, con oolitos, ostrácodos y dolomías; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. En la parte inferior presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas. El espesor varía de 150 a 425 m.

Los contactos estratigráficos de esta unidad con la infrayacente Formación Cumbre y la suprayacente Formación Paja son concordantes. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (Bürgl, 1954; Etayo y Rodríguez, 1985).

5.1.4 Formación Paja (Kip - K1p). Inicialmente fue definida por Wheeler (1929). Su localidad tipo está en la quebrada la Paja, donde esta corriente entra al río Sogamoso 1 km aguas arriba del puente en El Tablazo (Ward et al., 1973). El espesor de esta formación varía entre 125 y 625 metros (Renzoni (1968).

Según Morales et al., (1958), la Formación Paja está constituida predominantemente por shales arcillosos a limosos, negros y micáceos,

ligeramente calcáreos y delgadamente laminados, con laminillas delgadas de yeso. También la conforman lutitas y shales gris oscuros a azulosos, fosilíferos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, con algunas intercalaciones de shales grises, localmente arenosos, calcáreos, fosilíferos, localmente limosos a arenosos, con intercalaciones de areniscas gris amarillentas, de grano fino, también pequeñas intercalaciones de calizas grises, localmente arenosas, fosilíferas (Royero y Clavijo, 2001).

El ambiente de sedimentación es variante a lo largo de la secuencia estratigráfica, de acuerdo con Etayo Serna (1979), para la parte baja se interpreta ambientalmente la acumulación de lodolitas terrígenas en sectores muy tranquilos bajo condiciones anóxicas, Forereo y Sarmiento (1985) interpretan el desarrollo de llanuras de mareas salinas, entre ambientes supramareales e intramareales; y para el nivel superior de esta formación, Patarroyo y Moreno – Murillo (1997) la salinidad disminuye y puede ser interpretado como un avance del nivel del mar o restricción en las condiciones del medio.

A la Formación Paja se le asigna una edad del Barremiano inferior a Aptiano Inferior (Toussaint, 1996; Sarmiento y Rojas, 1985; Royero y Clavijo, 2001), y además le definen un límite estratigráfico con su unidad suprayacente, la Formación Tablazo, como un contacto concordante (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.5 Formación Tablazo (Kit – K1t). Según Morales et al. (1958), la localidad tipo de la Formación Tablazo, se ubica en el sitio El Tablazo, donde la carretera Bucaramanga - San Vicente de Chucurí atraviesa el Río Sogamoso; allí presenta un espesor de 150m y se encuentra constituida por capas macizas de caliza extremadamente fosilíferas y margas, las primeras predominando en su parte superior y las últimas en la inferior. Apunta además que las margas son muy calcáreas y que las calizas son macizas, de textura gruesa, extremadamente fosilíferas, opacas y de color gris azulado.

Litológicamente, esta unidad litoestratigráfica consiste en calizas gris a negras, fosilíferas, localmente glauconíticas y arcillosas de color negro, con niveles intercalados de arcillolitas grises a gris azulado, calcáreas, fosilíferas, en capas medianas a gruesas, con intercalaciones de areniscas grises, grano fino a medio, arcillosas, levemente calcáreas, en capas delgadas y su espesor varía entre 150 y 325 m (Royero y Clavijo, 2001).

El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas y se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití (Royero y Clavijo, 2001). Su edad se estima y es considerada del Aptiano superior – Albiano inferior, por comparación con las Formaciones supra e infrayacentes, ya que no se reportan amonitas en la localidad tipo (Sarmiento et al., 2015).

5.1.6 Formación Simití (Kis – K1s). Según Morales et al. (1958), la Formación Simití agrupa el conjunto de afloramientos expuestos en la Ciénaga de Simití, donde establece su localidad tipo (Sarmiento et al., 2015).

En la sección tipo, su espesor es de 410 m y está constituida por arcillolitas negras laminadas, carbonáceas y localmente calcáreas y concrecionales. Las concreciones son comúnmente fosilíferas y localmente contienen aceite liviano en las cámaras de las amonitas. Las concreciones son más numerosas hacia el

tope de la unidad donde alcanzan un tamaño de 3m en su máxima dimensión (Morales et al., 1958; en Moreno y Sarmiento, 2002).

Para Morales et al. (1958), el contacto de la Formación Simití con la Formación Tablazo es claro y neto, para Mantilla et al. (2006 b), el contacto estratigráfico entre las Formaciones Simití y Paja es una paraconformidad.

La Formación Simití registra mayoritariamente ambientes tranquilos de costa afuera, con el esporádico establecimiento de ambientes costeros de aguas poco profundas (Moreno y Sarmiento, 2002). Su edad se ha establecido como Albiano superior – Cenomaniano (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.7 Formación La Luna (Ksl – K2l). Originalmente fue descrita por A. Garner en 1926 (en Julivert *et al.*, 1968) y su nombre fue usado primero en la Serranía de Perijá, en la parte noroeste del Estado de Zulia, Venezuela (Hedberg, 1931; Morales et al., 1958; Ward et al., 1973); y a causa de su amplia extensión regional, este nombre ha sido conservado en Colombia nororiental (Morales *et al.*, 1958).

En el Valle Medio del Magdalena, la Formación La Luna se subdivide en los miembros de la Salada, Pujama y Galembó, que fueron designados primero en un informe inédito de O.C. Wheelers por las quebradas Salada y Pujama y el Cerro del Galembó, todos los cuales se encuentran cerca de río Sogamos (Ward et al. 1973).

La Formación La Luna aflora principalmente en la cuenca del Valle Medio del Magdalena hacia el oriente del departamento de Santander, donde ocupa un área de 34.000 km² limitada al oriente por el sistema de Falla La Salina, al occidente la Falla Mulatos-Morales (Ingeominas, 2001), y presenta un espesor total de hasta 575 m (Pacheco- Sintura et al., 2014)

Según Royero y Clavijo (2001), esta unidad está constituida por calizas gris oscuras, arcillosas, lutitas grises a negras, calcáreas, en capas delgadas, lutitas gris oscuras con delgadas intercalaciones de calizas arcillosas, concreciones de calizas con fósiles, que alcanzan más de dos metros de diámetro y capas delgadas de chert negro y también capas fosfáticas hacia la parte superior.

La depositación de esta secuencia obedece a uno de los eventos anóxicos mundiales que tuvieron lugar durante el cretáceo superior, más precisamente entre el Coniaciano-Turoniano-Santoniano (ANH, 2007), evento que permitió la acumulación de grandes cantidades de materia orgánica (Rey et al., 2004).

Estratigráficamente, el contacto de la Formación La Luna con la infrayacente Formación Simití es concordante. Entre las formaciones La Luna y Umir existe una ligera discontinuidad estratigráfica (Morales *et al.*, 1958).

5.1.8 Formación Umir (Ksu – K2u). Según Taboada (1965) el nombre Umir fue usado por primera vez por L. G. Huntley (1917) (en Ward *et a.*, 1973) para designar la secuencia expuesta en la Quebrada Umir, a 3 kilómetros del oeste del Cerro Umir, extremo suroeste de del Cuadrángulo H – 12, considerada como sección tipo. Posteriormente fue redefinida por T. A. Link (Informe inédito) (Morales et al., 1958). Durán et al., (1976) dividió esta formación en tres miembros: inferior, medio y superior.

La secuencia litoestratigráfica de esta unidad fue descrita por Morales et al., (1958) de la siguiente manera: La parte inferior de la formación se compone de lutitas en láminas delgadas, de color gris oscuro, gris azulosa a negro, con delgadas laminas carbonáceas y micáceas; caracterizadas por capas delgadas, lentes y pequeñas concreciones ferruginosas. La parte superior consta de lutita blanda, gris oscura, en capas delgadas con numerosas laminas de carbón, laminas delgadas de mineral de hierro, arenisca de grano fino y limolita.

Esta secuencia es ligeramente inconforme sobre la Formación La Luna y se encuentra concordantemente con la Formación Lisama (Ward *et al.*, 1973). Según Morales *et al.* (1958), con base al contenido fósil como foraminíferos y amonitas encontrados en esta unidad, a la Formación Umir se le asigna una edad Campaniano – Maestrichtiano y posiblemente Daniano (en Ward *et al.*, 1973). Su ambiente de depositación es nerítico, con un espesor para esta formación entre 1.000 y 1.400 m (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.9 Formación Lisama (Tpl-E1I). Originalmente fue descrita en un documento inédito por T. A. Link (en Morales *et al.*, 1958) y publicada por primera vez por Wheeler (De Porta *et al.*, 1974) (en Royero y Clavijo, 2001). La sección tipo se encuentra en la quebrada Lisama, y está situada en la parte nororiental de la Concesión de Mares (Morales *et al.*, 1958).

Litológicamente corresponde a lutitas abigarradas, alternadas con areniscas grises, verdosas y pardas, de grano fino a medio y algunas capas delgadas de carbón. El depósito de estos sedimentos ocurrió en un ambiente bajo condiciones lagunares deltáicas (Royero y Clavijo, 2001) y su espesor alcanza hasta los 1.225 m (Morales *et al.*, 1958).

Con la infrayacente Formación Umir presenta un contacto normal y transicional, y su contacto con la Formación superior, Formación la Paz, está determinado por una discordancia regional bien marcada (Royero y Clavijo, 2001). Se le asigna una edad del Paleoceno (Van Der Hammen, 1958; Ward *et al.*, 1973).

5.1.10 Formación La Paz (Tel-E2I). Según Morales *et al.*, 1958, los autores de esta unidad son los geólogos de la Tropical Oil Company y su sección tipo está en la angostura del río Lebrija, por la vía férrea, debajo de Vanegas (en Royero y Clavijo, 2001).

A la base de la Formación La Paz se encuentra un nivel basal de conglomerados que varía de espesor y textura, marca la discordancia del Eoceno temprano. Se trata de conglomerado de guijarros y guijas con clastos bien redondeados principalmente de cuarcita y chert y en mínima proporción arenitas cuarzosas y limolita roja, el cual reposa en discordancia erosiva sobre niveles de arcillolitas varicoloreadas de la Formación Lisama (Caballero et al., 2010).

Encima del Conglomerado Basal, existe un nivel de lodolitas denominado el "Toro Shale", identificado hacia el flanco W del Sinclinal de Nuevo Mundo, es un nivel de limolitas silíceas gris claro con huellas de raíces y moteado morado oscuro, de extensión local descrito por Morales et al., (1958), que representa facies finas de planicie de inundación que fueron alteradas por procesos pedogenéticos y corresponde a la continuación de la Formación La Paz hacia el sector NW del Sinclinal de Nuevo Mundo (Caballero et al., 2010).

De acuerdo con las características litofaciales, en donde predominan las arenas con estratificación cruzada en artesa, gradación normal, estructuras de erosión y relleno y abunda amalgamación de facies arenosas indicando poco espacio de acomodación y lavado de arenas con poca representación de depósitos lodosos o pedogenéticos de planicie se infiere, para la Formación La Paz, un ambiente sedimentario fluvial trenzado a meandriforme y hacia el sur facies proximales aluviales.

La Formación La paz alcanza su espesor máximo en el área del río Sogamoso, Taborda (1965) menciona 1.280 m, medidos a lo largo del río (en Ward *et al.*, 1973), y presenta algunas variaciones locales (Royero y Clavijo, 2001) como en la quebrada La Putana que solo alcanza 460 m (Ward *et al.*, 1973).

Esta unidad se encuentra dispuesta discordantemente con la Formación Lisama, unidad a la cual suprayace; y su contacto superior con la Formación Esmeraldas es concordante y transicional (Royero y Clavijo, 2001). Conforme a su posición estratigráfica, la unidad se considera del Eoceno inferior (Castro et al., 2005).

5.1.11 Formación Esmeraldas (Tee-E2e). Término utilizado por primera vez por los geólogos de la Gulf Oil Company (Morales *et al.*, 1958 en Royero y Clavijo, 2001) y su sección tipo está cerca del caserío Esmeraldas, junto al Río Sogamoso.

La Formación Esmeraldas está compuesta por intercalación de paquetes de capas de arenitas gris a gris verdoso de grano fino a medio con alto contenido de líticas y mica, gruesos niveles de arcillolitas. Las arcillolitas son varicoloreadas hacia el flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo y grises oscuras con abundante materia orgánica (shales) hacia el flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo, donde también se intercalan localmente algunos paquetes de arenitas de grano medio a grueso en capas gruesas hasta 8 m de espesor. Los niveles arenosos de esta unidad presentan buena continuidad lateral (Caballero, 2010).

El espesor se ha calculado en unos 1.200 m para esta formación; el contacto inferior con la Formación La Paz es concordante, mientras que el contacto superior está determinado por una posible discordancia con la Formación Mugrosa (Royero y Clavijo, 2001).

La unidad es del Oligoceno. Es correlacionable con la parte superior de la Formación Mirador y parte inferior de la Formación Carbonera (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.12 Formación Mugrosa Inferior y Superior (Tomi, Toms-E3mi, E3ms). El nombre de la formación Mugrosa fue dado por A. K. Gill y referenciado por Morales *et al.*, (1958) (Royero y Clavijo, 2001), refiriéndose a la parte inferior del grupo Chuspas. Su nombre fue tomado de la quebrada Mugrosa, en donde se encuentra su sección tipo (Casadiegos *et al.*, 2010).

La Formación Mugrosa es una unidad predominantemente lodosa, compuesta de lodolitas color marrón rojizo, gris, amarillento, rojo, amarillo rojizo, en niveles

métricos a decamétricos, con estratos de arenitas granuladas blancas limpias, en general no cementadas, con gradación normal y base conglomerática, en niveles métricos o centimétricos, la mayor parte están aisladas dentro de las lodolitas y con moderada continuidad lateral (Caballero et al., 2010). El ambiente de depósito se considera como continental fluvial. El espesor varía entre 500 y 800 m (Royero y Clavijo, 2001).

El contacto inferior de la Formación Mugrosa es aparentemente discordante con la Formación Esmeraldas, en tanto que el superior con la Formación Colorado es concordante. La unidad es considerada del Eoceno superior – Oligoceno inferior (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.13 Formación Colorado (Toc-N3c). El nombre de la formación Colorado fue dado por A. K. Gill y referenciado por Morales et al., (1958) (en Royero y Clavijo, 2001), tiene su sección tipo en el Río Colorado en área de la Concesión de Mares. Esta unidad corresponde a la parte superior del Grupo Chuspas (Royero y Clavijo, 2001).

La Formación Colorado consiste en areniscas de color marrón rojiza conglomerática y conglomerados marrón rojizos, lodolitas marrón rojizas y paleosuelos de calcretas con abundante costras y nódulos calcáreos; en la sección Marta el contacto se reconoce por un nivel areniscas marrones granuladas con cemento calcáreo y nódulos de Mn y encima un nivel de paleosuelo con costras calcáreas sobre arenitas y lodolitas moteadas de Mugrosa (Casadiegos et al., 2010). En el campo La Cira Infantas de la Concesión de Mares es una de las unidades más productivas de petróleo. Se considera que los sedimentos de esta unidad se depositaron bajo condiciones fluviales. El espesor es variable entre 1.200 y .500 m (Royero y Clavijo, 2001).

El contacto de esta formación es concordante con la infrayacente Formación Mugrosa y su contacto superior con su suprayacente Grupo Real es discordante.

La unidad es considerada como del Oligoceno superior al Mioceno inferior (Royero y Clavijo, 2001).

5.1.14 Grupo Real (Tmr-N1r). Según Hubach (1957), el nombre de Grupo Real fue introducido por Wheeler en un informe inédito. El nombre procede de los afloramientos que se encuentran en Bandera Real, una estación de triangulación situada al Norte del Río Opón, aproximadamente a 2 Km. al Occidente de la quebrada Real.

La sección tipo se encuentra en el área del Río Opón, donde fue descrita por Wheeler (1935) como un conjunto de rocas clásticas de 3900 m de espesor, compuesta de base a tope por 30 m de conglomerados, 500 m de areniscas conglomeráticas con fragmentos de carbón, 1300 m de shales moteadas de gris y rojo, 1100 m de areniscas donde son frecuentes los troncos carbonizados y silicificados, y hacia el tope 500 m de shales de colores rojo, gris, púrpura y pardo, intercalados con areniscas en capas delgadas. Esta secuencia termina con paquetes de areniscas conglomeráticas, que presentan estratificación cruzada, con presencia de madera carbonizada y restos de hojas.

En el área de la plancha 119 del INGEOMINAS generalmente consta de capas gruesas de areniscas conglomeráticas con fragmentos líticos de finos a guijos con estratificación cruzada, intercaladas con areniscas medias a gruesas de areniscas cuarzosas tabulares, con matriz arcillosa y lodolitas síliceas friables de color gris y morado (Memoria explicativa plancha 119 INGEOMINAS, 2008).

Según Wheeler (1935), La formación Real esta discordante sobre el grupo Chuspas de la formación Colorado y debajo de la formación Mesa. Según Morales (1956) el contacto es definido por cambio de la naturaleza de las aguas de salado a dulce. Su edad por estudios palinológicos la sitúan en el Mioceno medio o superior. Fósiles de vertebrados y plantas que van del Oligoceno superior al Mioceno superior.

5.1.15 Depósitos cuaternarios (Qt, Qtf, Qcol, Qal). Entre las principales unidades de origen transportado en el Municipio de San Vicente de Chucurí, estarían los depósitos aluviales, coluviales, coluvio-aluviales y fluviales de flujos fluviotorrenciales. Tomando como punto de referencia los depósitos aluviales de la quebrada las cruces, sobre el cual se asienta la cabecera municipal. Estos depósitos aluviales se encuentran constituidos principalmente por cantos, guijos y bloques de diferentes litologías. Entre ellas encontramos a las areniscas de la Formación Los Santos (K1ls), las calizas de la Formación Rosablanca (K1r) y algunos conglomerados de la Formación Girón (Jg).

5.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

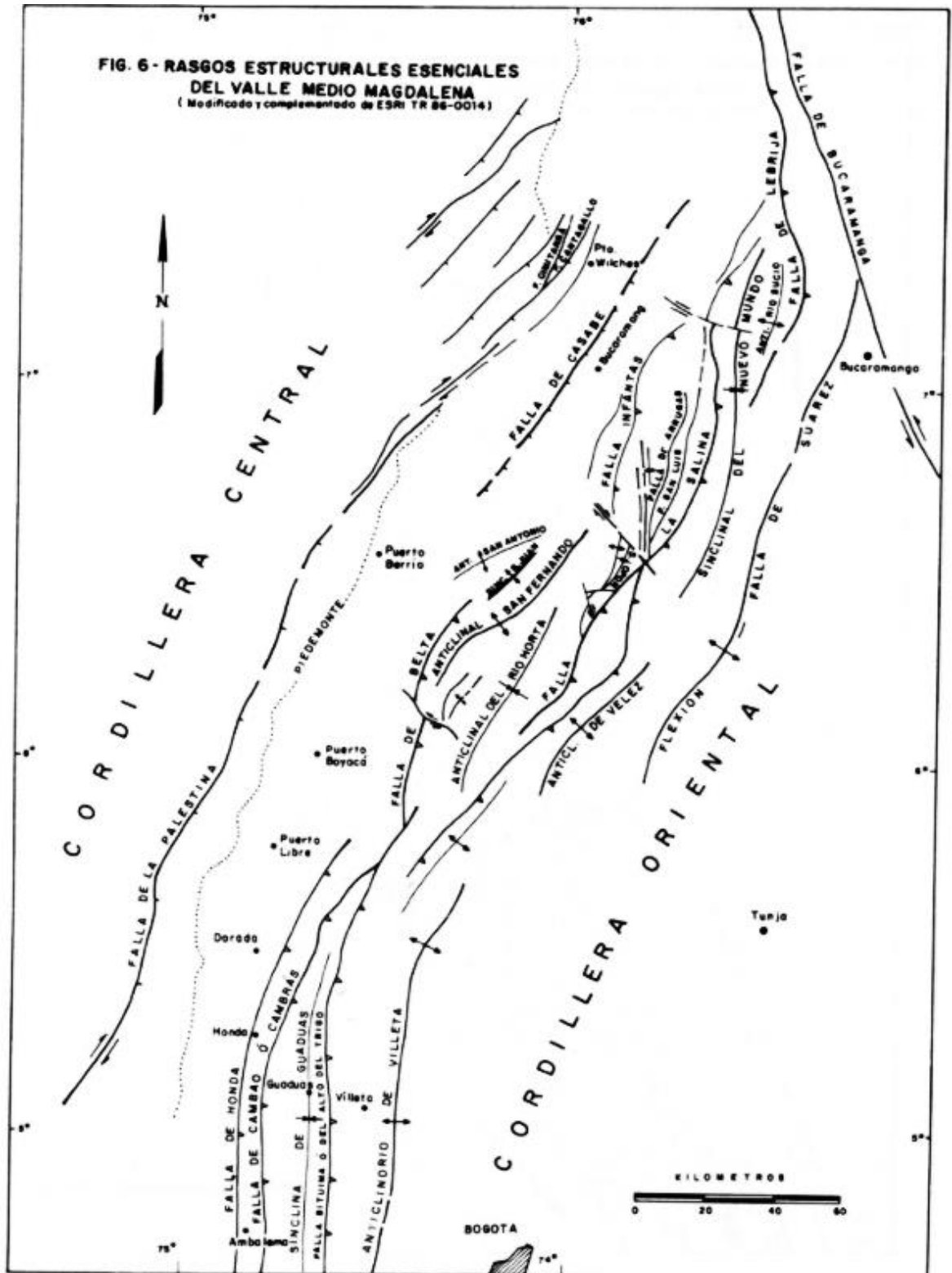
El Valle Medio del Magdalena constituye una depresión tectónica asimétrica con dos márgenes bien diferentes. Así, al occidente se tiene un borde pasivo, instalado en parte sobre materiales de la Cordillera Central, y que se caracteriza por una geometría monoclinial, con notables truncaciones de las formaciones cretácicas, que desaparecen en dirección a la cordillera bajo un progresivo recubrimiento de los sedimentos terciarios, que buzan preferencialmente hacia el oriente, pero con algunas interrupciones causadas por flexuras y fallas (Taborda, 1965; en Mojica y Franco, 1990). Por el contrario, hacia la Cordillera Oriental la deformación incrementa de manera continua y se pasa a un complicado margen compresional (Martinez, et al., 1989).

Según Dengo y Covey (1993), la geología estructural de la Cordillera Oriental se puede explicar a partir de dos estilos estructurales. El primero asociado a un despegue del basamento durante el Mioceno- Plioceno, dando como resultado retrocabalgamientos, y el segundo es el levantamiento de la cordillera oriental en el plioceno-holoceno generando fallas inversas. Estos dos estilos estructurales se sobre impusieron a grabenes del Jurásico y Cretácico temprano, cuyas fallas normales fueron parcialmente invertidas durante las etapas de deformación compresional.

El territorio Santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciables, los cuales definen tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento: un fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamiento en la región central, y el graben del Magdalena, en la región occidental (Clavijo, *et al*, 1993).

Estructuralmente la región del Departamento de Santander se encuentra localizada entre el sistema de Fallas de Bucaramanga – Santa Marta, de rumbo NW-SE, ubicada al oriente de la zona, la cual tiene comportamiento sinistral y puede estar conjugado con desplazamiento inverso, así como las Fallas de Suarez con dirección NE y la de las Salinas al occidente, la cual tiene cinemática inversa y rumbo S-N. Esta región central se caracteriza por presentar pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE-SW, con inclinaciones predominantes hacia el oriente (Royero y Clavijo, 2001).

Figura 11. Rasgos estructurales esenciales del Valle Medio del Magdalena



Fuente: MOJICA, J. y FRANCO, R. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena.- Geología. Colombiana. 1990. vol. 17. pp. 41-64.

5.2.1 Fallas. A continuación se describen las principales características de las fallas regionales, o más importantes que afectan el área de trabajo.

5.2.1.1 Falla de Bucaramanga. Según Cuellar et al., (2012), el Sistema de Fallas Bucaramanga (SFM) se ha dividido en tres sectores: -el primero al norte, correspondiente a la Falla de Santa Marta, comprende principalmente el costado occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre la costa y la población de Bosconia; -el segundo entre los Municipios de Bosconia y de Curumaní correspondiente a la Falla de Algarrobo, y -el tercero, correspondiente a la Falla de Bucaramanga, entre el Municipio de Curumaní y el extremo Noroccidental del Macizo de Santander. El SFB tiene dirección aproximada N20°W y su trazo rectilíneo se observa claramente en diferentes sensores remotos, con una extensión longitudinal de aproximadamente 600 km, si se asume un trazo único. En sentido práctico, el SFB es considerado un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral (Campbell, 1965; Boinet *et al.*, 1989; León, 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo *et al.*, 1993; Clavijo *et al.*, 1994a), cuyo desplazamiento ha sido estimado entre 40 y 240 km (Alberding, 1957; Campbell, 1965; Tschanz *et al.*, 1969, 1974; Etayo y Rodríguez, 1985; Gansser 1955; Toro 1990). Aunque algunos autores reportan para esta falla una componente de desplazamiento vertical importante (Julivert *et al.*, 1958, 1961; Ward *et al.*, 1973; París y Sarria, 1988, Royero, 1994) que permite interpretar en algunos sectores movimientos de tipo inverso con buzamientos hacia el este (de ángulo bajo a alto), y en su extremo sur cabalgamientos (Boinet, 1985; Ulloa, 1990 en Clavijo *et al.*, 1993; Cediél *et al.*, 2003). La variabilidad estimada para el desplazamiento del SFB puede originarse en diversas interpretaciones regionales que agrupan estructuras con características geológicas individuales (Ujueta, 2003).

Para la naturaleza de la Falla existen tres versiones, la primera, considera que se trata de una falla inversa de buzamiento al este y de ángulo bajo a alto. La segunda, por la cual se han inclinado casi todos los autores citados, considera que se trata de una falla de rumbo de desplazamiento lateral izquierdo y la

tercera plantea la existencia de dos fallas diferentes, en lugar de una sola falla (Polson and Henao, 1968; en Cuellar et al., 2012).

5.2.1.2 Falla del Suarez. La Falla Suárez ha sido descrita por Julivert (1958) como una fractura con vergencia al este de orientación general NE-SO que al sur presenta un carácter de flexión. Esta falla se ha trazado sobre una distancia de 110 km desde el pueblo de la Paz en el Sur hasta el sector de Vijagual al norte a unos kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, donde converge con la falla de este mismo nombre (Diederix *et al.*, 2008).

Julivert y Tellez (1963) le atribuyen un periodo de activación a la Falla del Suárez contemporáneo o posterior a los depósitos cuaternarios, colocando como evidencia la verticalización e3l plano de falla sobre la margen izquierda del río de Oro. Diederix *et al.* (2008) reporta que la Formación Girón ha cabalgado sobre sedimentos del abanico de Bucaramanga y en algunos sitios incluso sobre depósitos de escombros recientes derivados de la Formación Girón y presumiblemente de edad Holocena. Lo anterior evidencia la actividad Pleistocena y probablemente actual de la Falla Suárez.

La Falla del Suárez es una estructura inversa de alto ángulo con desplazamiento lateral izquierdo (Londoño, 1982), y sinistral (París et al., 2000; Diederix et al., 2008), que levanta su bloque oeste, con un comportamiento cambiante reflejado en el buzamiento de los estratos que varían de inclinación de 60° al norte hasta 20° en el sur (Pulido, 1979).

5.2.1.3 Sistema de fallas La Salina. Estructura de dirección general NE, con variaciones locales a NS y NW, pudiéndose reconocer su longitud desde su límite con Boyacá al sur hasta el norte del departamento de Santander (Royero y Clavijo, 2001). Constituye el límite entre el Valle medio del Magdalena y la Cordillera Oriental (Julivert, 1961). Al oriente de su trazo se presentan rocas del Cretácico superior y al occidente está en contacto con rocas terciarias (Royero y Clavijo, 2001).

5.2.2 Pliegues. A continuación se mencionan las características de los pliegues de carácter regional que afectan las formaciones geológicas pertenecientes a la zona de estudio, y los cuales se originaron principalmente durante las diferentes fases de la Orogenia Andina.

5.2.2.1 Anticlinal de los cobardes. Anticlinal de Los Cobardes fue el término empleado por Pulido (1979) para designar una estructura plegada, de orientación casi N-S, limitada por las Fallas del Suárez al Este y la Falla del Carmen al Oeste; en cuyo núcleo se expone rocas de la Formación Girón y que se extiende desde el municipio de El Guacamayo en el Sur, hasta Rionegro en el Norte.

Este anticlinal forma parte de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, es una estructura de una longitud aproximada de 80 km, ligeramente asimétrica, con su flanco oriental más inclinado que el occidental y cuyo eje presenta una dirección aproximada N10°E, (Royero y Clavijo, 2001).

5.2.2.2 Sinclinal de nuevo mundo. El Sinclinal de Nuevo Mundo es una estructura de origen regional que afecta gran parte de la secuencia sedimentaria (principalmente desde el Triásico – Jurásico hasta el Oligoceno); el eje del Sinclinal tiene dirección NE-SW y en la superficie se ubica “cerca del flanco occidental, probablemente como resultado del fuerte levantamiento a lo largo del lado oriental de la falla de la Salina, la cual es considerada como su límite occidental. Hacia el sur del sinclinal se pueden apreciar que su eje está representado por la Falla la Putana, la cual desplaza el contacto entre las Formaciones Umir y Lisama. (Ward *et al.*, 1973).

6 GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo, se describe la geología local de los suelos presentes en el área de estudio, con el objetivo de realizar la identificación y caracterización de las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) de acuerdo a la Tabla 1, en donde se realiza la homogenización de las características ingenieriles de los materiales que conforman la zona.

6.1 UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA (UGI).

De acuerdo al trabajo de campo realizado, se identificó que el predio Yariguies III, está conformado por suelos transportados de origen fluvial de tipo fluviotorrencial, sedimentos transportados y depositados por diferentes eventos fluviotorrenciales asociados principalmente a la Quebrada las Cruces.

6.1.1 Suelo Transportado fluviotorrencial (Stf). Esta unidad geológica es producto del transporte y deposición de material por flujos torrenciales de la Quebradas Las Cruces. Es un depósito no consolidado de origen aluvial dispuestos a manera de terrazas o restas de las mismas que han sido erosionadas.

De acuerdo al documento de la Revisión Excepcional del Municipio de San Vicente de Chucurí, este suelo conforma el 67,22 % del área total del perímetro urbano del municipio, y este importante porcentaje se extiende hasta el predio objeto del presente estudio, en donde se desarrolló gracias a la presencia de un valle aluvial que actúa en la microcuenca de la Quebrada Las Cruces y que recibe sedimentos y material transportados por la Quebrada Las Cruces, La Quebrada Cantarranas y demás drenajes de menor jerarquía que se encuentran en la cabecera municipal.

Figura 12. Fotografía tomada al margen derecho de la carrera 19 entre la calle 8 y el puente de Yariguies, en donde se evidencia un depósito cuaternario de origen fluviotorrencial.



Este depósito se caracteriza por presentar localmente niveles grano decreciente, de base a techo; aunque de manera general, en el predio Yariguies III se presenta de forma caótica debido a que no se alcanza a diferencia donde inicia y termina cada evento de depositación.

Figura 13. Bloques de gran tamaño observados dentro del predio de estudio y que están asociados al depósito fluviotorrencial.



A partir de la descripción de muestras extraídas en los sondeos SPT en el sitio puntual del predio, se determinó que esta masa de suelo presenta diferentes tonalidades, superficialmente presenta tonos grises, y a medida que se profundiza se tornan de pardo-amarillentos a pardo-rojizos. La matriz es de textura areno-lodosa, es decir contiene una predominancia de granos de arena y en menor proporción lodos, variando estos últimos de arcillosa a limosa en diferentes proporciones. Los granos tamaño arena varían de arenas finas a muy gruesas también en diferentes proporciones, predominando las de menor tamaño, además contienen algunos gránulos y guijos, todos estos principalmente de cuarzo y líticos alterados y moderadamente alterados de diferente origen y de varias formas; de mayor a menor orden de predominancia se encuentran redondeadas, sub-redondeadas, sub-angulares y angulares.

La matriz anteriormente descrita contiene embebidos una buena cantidad de fragmentos de rocas de diversos tamaños como guijarros, cantos y bloques con

de dimensiones variables, los más grandes llegan a medir entre 3 y 5 m, todos estos en su gran mayoría de areniscas finas a gruesas y muy gruesas, conglomeráticas y ligeramente conglomeráticas y algunos bloques de caliza, de formas redondeadas y sub-redondeadas y algunas subangulares.

Figura 14. Detalle de la composición de los bloques que se encuentran dentro del depósito fluviotorrencial, se observan areniscas conglomeráticas de grano medio a grueso con guijos de cuarzo y fragmentos líticos subredondeados y redondeados.



Se considera que la procedencia de estos materiales es lejana, ya que la composición de los bloques es similar a la litología del tope de la Formación Girón y Los Santos, unidades litoestratigráficas que afloran a kilómetros del lugar. Además el tamaño y grado de redondez de los bloques indican que estos fueron transportados por el arrastre de eventos torrenciales generados por la Quebrada Las Cruces.

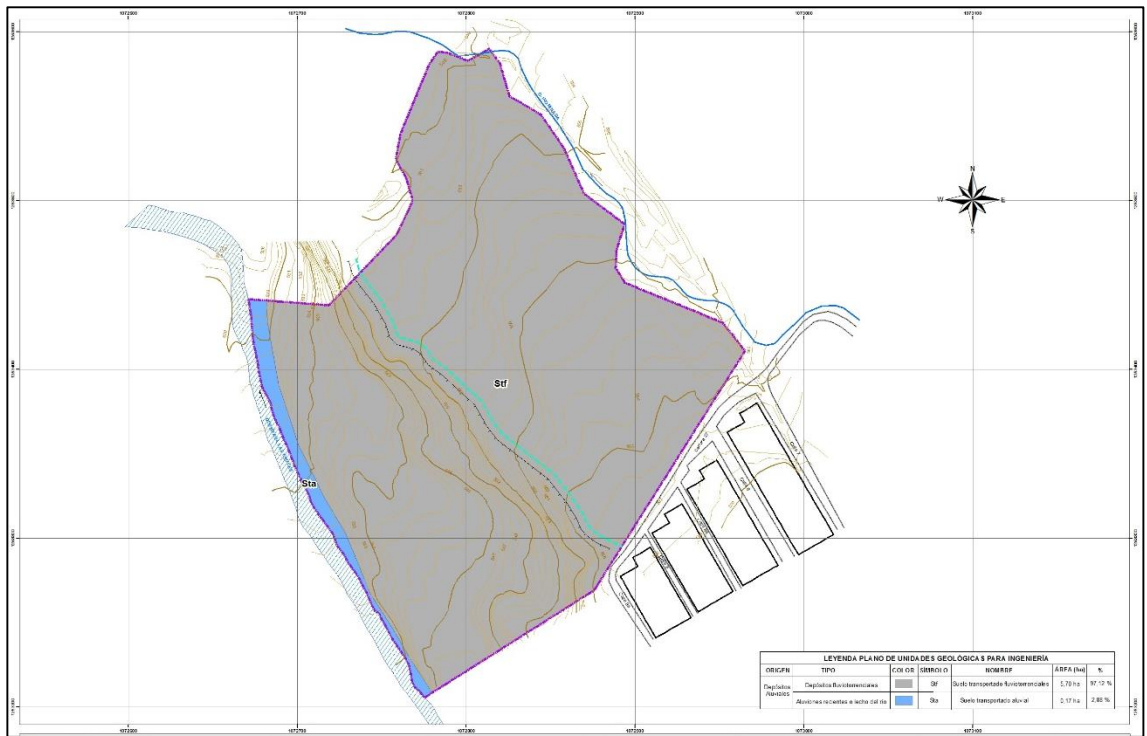
6.1.2 Suelo transportado aluvial (Sta). Corresponde al cauce actual de la quebrada Las cruces, los cual se caracterizan por transportar bloques de grandes tamaños y de diferente composición. Este se distribuye a lo largo del área de influencia directa de la quebrada en la zona urbana del municipio de San Vicente de Chucurí, y sobre el sector del predio Yariguíes III. Deposita una gran cantidad de cantos y bloques con tamaños que varían entre 50.0 cm – 3.0 m de longitud que forman depósitos clasto soportados que presentan en menor proporción una matriz areno gravosa.

Figura 15. Suelo transportado aluvial. Imágenes donde se muestra los diferentes depósitos aluviales recientes que se encuentran en el área urbana. Ala izquierda se observa el cauce de la quebrada las cruces en el sector del predio. A la derecha el suelo aluvial reciente de la quebrada Cantarranas en el sector del barrio Yariguíes II.



De acuerdo a los resultados de la exploración geológica realizada, se logró identificar que la totalidad del predio Yariguíes III está constituido por suelos transportados de origen fluvial de tipo fluviotorrencial, sedimentos transportados y depositados por diferentes eventos fluviotorrenciales asociados a la Quebrada Las Cruces.

Figura 16. Mapa a escala 1:1000 de las Unidades Geológicas Superficiales del área de estudio (Anexo A).



LEYENDA PLANO DE UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA						
ORIGEN	TIPO	COLOR	SÍMBOLO	NOMBRE	ÁREA (ha)	%
Depósitos Aluviales	Depósitos fluvio-torrenciales	■	Stf	Suelo transportado fluvio-torrenciales	5,70 ha	97,12 %
	Aluviones recientes o lecho del río	■	Sta	Suelo transportado aluvial	0,17 ha	2,88 %

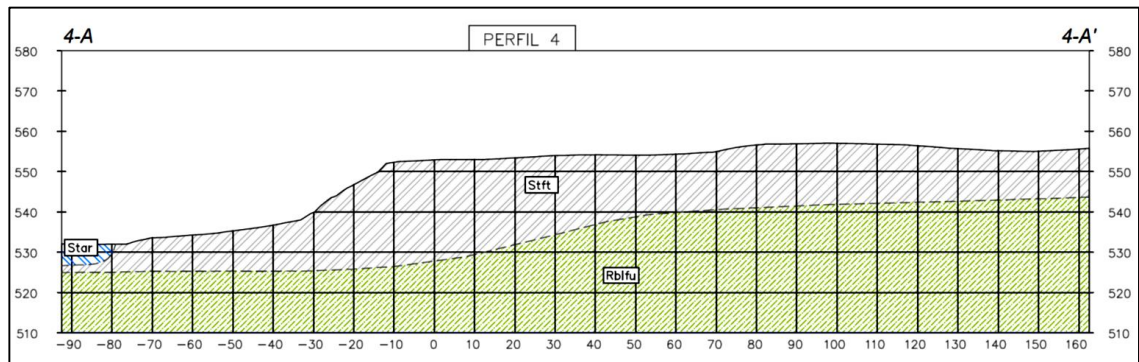
Para determinar la distribución de los materiales a profundidad se planteó una exploración geofísica, en donde se realizaron dos líneas sísmicas de refracción (Ver Capítulo 10: exploración sísmica). A partir de los resultados obtenidos en las velocidades de propagación de las ondas en estos materiales, se concluye que el espesor del depósito fluvio-torrencial en el sitio puntual donde se realizó la sísmica está aproximadamente en el orden de los 15 m de profundidad y este es variable haciéndose más espeso en dirección SW.




Además, se pudo determinar la existencia de un contacto inferido o superficie de discontinuidad irregular que separa los depósitos fluvio-torrenciales de una unidad infrayacente con velocidades de roca, la cual se asume que es una

unidad constituida por limolitas de la Formación Umir (Rblfu), unidad de roca blanda que aflora en varios sectores del casco urbano del municipio.

A continuación se muestra un perfil representativo que ilustra la distribución de estos materiales a profundidad.

Figura 17. Perfil representativo de la zona de estudio. (En el Anexo B se presentan los demás perfiles).



CONVENCIONES UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES				
ORIGEN	TIPO	NOMBRE	COLOR	SIMBOLO
Depósitos aluviales	Depósitos fluviotorrenciales	Suelo transportado fluviotorrencial		Stft
	Aluviones recientes o lecho del río	Suelo transportado aluvial reciente		Star
Derivadas de roca <i>In Situ</i>	Unidades de roca blanda	Limolitas la formacion Umir		Rblfu

7 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología como la ciencia que trata de la descripción y el estudio de la génesis, clasificación, procesos y evolución de las formas antiguas y actuales del terreno (tanto terrestres como submarinas) y su relación con las estructuras infrayacentes. Esta ciencia está enfocada al análisis de la superficie de la tierra en donde interactúan la litósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biosfera. Igualmente las geoformas por definición son la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales constituyentes de las mismas y su disposición estructural, de los procesos geomórficos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan, y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos. (Gregory, 1978; Robertson, 1990; en INGEOMINAS, 2011).

Para llevar a cabo la descripción de la geomorfología, se describen cada uno de sus parámetros: la Morfología, Morfometría, Morfogénesis y Morfodinámica. La clasificación de Unidades Geomorfológicas utilizada corresponde a la metodología empleada por el ITC de Holanda. Para su nomenclatura se usará la establecida en la guía metodológica para estudios de amenaza vulnerabilidad y riesgo del Servicio Geológico Colombiano 2015). La cual se basa en los parámetros geomorfológicos, que son la morfología morfometría morfogénesis y la morfodinámica, brindando información lo más completa del tipo de terreno y propiedades que presenta.

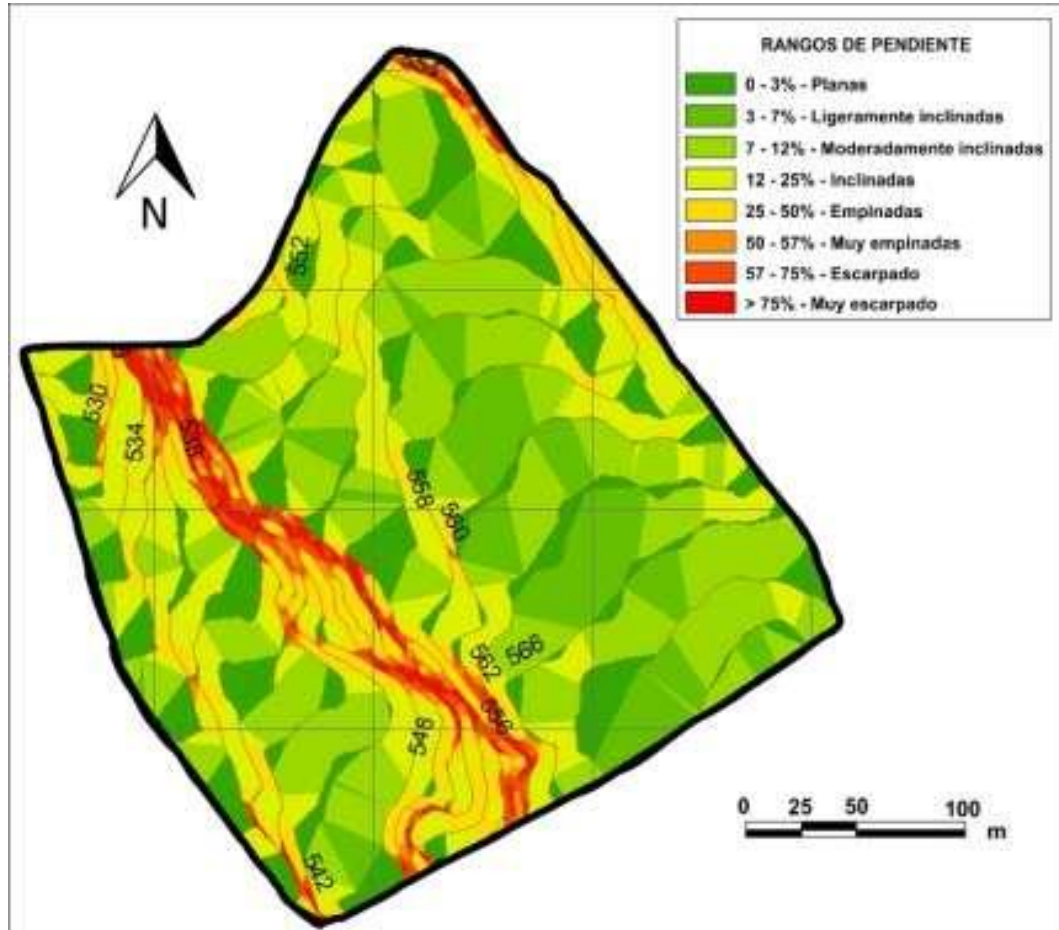
7.1 Morfología y morfometría

La morfología describe la apariencia y forma del relieve en general, y la morfometría describe los aspectos cuantitativos de las laderas de las geoformas con medidas dimensiones y valores (INGEOMINAS 2011).

El área presenta un índice de relieve bajo (30-74m), con relieve de montículos (0-49m), con laderas de forma recta sobre la superficie plana a ligeramente inclinada del predio y laderas rectas, cóncavas y convexas en diferentes puntos

asociados a los escarpes y hondonadas hacia los extremos Noroeste y Noreste del predio.

Figura 18. Plano morfométrico del área de estudio.



En la imagen anterior se muestra las unidades morfométricas (pendientes) del predio en estudio, para este se definieron ocho rangos de pendientes. Como se puede observar en el área de estudio existe un predominio de pendientes planas a inclinadas (0° - $11,25^{\circ}$) asociados a el cauce de la quebrada las Cruces y la superficie de los diferentes niveles de terraza. En menor grado se distribuyen las pendientes de empinadas a muy escarpadas (las cuales solo se restringen a los escarpes de terraza).

7.2 Morfogénesis

La morfogénesis estudia el origen y evolución de las formas del terreno, y es representada en forma de unidades geomorfológicas, por medio de polígonos o símbolos lineales o puntuales si la escala lo amerita. Principalmente se basa en la identificación del origen de la forma del terreno según el ambiente morfogenético bajo el cual estas se originaron. A continuación se describen cada una de estas geoformas:

7.2.1 Nivel de terraza alto (Fta). Son superficies planas a ligeramente inclinadas del terreno, limitadas por taludes o escarpes adyacentes a los cursos de quebradas y ríos, formados también por acumulación de material por procesos fluviales y fluviotorrenciales, que alcanzan alturas superiores a los 8 m de altura respecto al nivel base de la quebrada. Este nivel de terraza se caracteriza por un relieve muy bajo con laderas planas a moderadamente inclinadas y algunas inclinadas generalmente de forma recta con ligeras ondulaciones dándole un aspecto algo irregular junto con una leve inclinación hacia el Noroeste, esta terraza se formó como producto de la acción de la Quebrada las Cruces.

Figura 19. Nivel de terraza alto presente en el área de estudio.



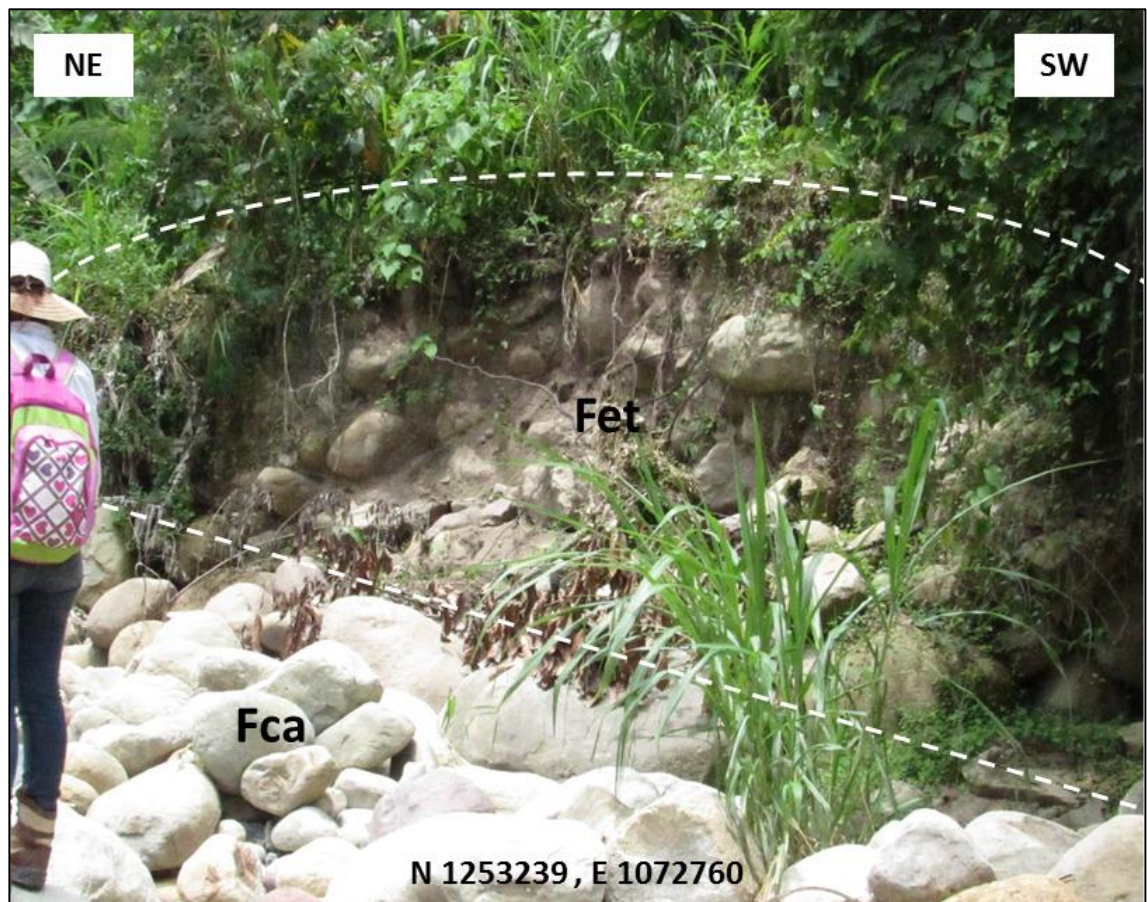
7.2.2 Nivel de terraza bajo (Ftb). Superficies del terreno de morfología plana a ligeramente inclinada limitada por un talud o escarpes adyacentes a los cursos actuales de ríos y quebradas, formados por la acumulación de material, mediante procesos fluviales o fluviotorrenciales de la Quebrada Las Cruces, dejando diferentes niveles con alturas inferiores a los 2 m. Dicha geoforma desarrolla también pendientes planas a ligeramente a moderadamente inclinadas de formas rectas ligeramente irregular, y pendientes inclinadas a escarpadas hacia los límites con la quebrada y el otro escarpe de terraza que limita el nivel de terraza alto.

Figura 20. Nivel de terraza bajo presente en el área de estudio.



7.2.3 Escarpe de terraza (Fet). Parte frontal de las terrazas que presentan una inclinación mayor a 45° como producto de la acción erosiva de las corrientes de agua. En el área de estudio se identificaron dos escarpes de terraza uno de tan solo unos 2 m de altura respecto al nivel base de la quebrada Las Cruces y otro de unos 20 m aproximadamente; ambos asociados respectivamente a los niveles de terraza bajo y alto. Estos desarrollaron laderas de formas rectas y ligeramente cóncavas.

Figura 21. Escarpe de terraza (Fet) presente en el margen de la Quebrada Las Cruces en la zona de estudio.



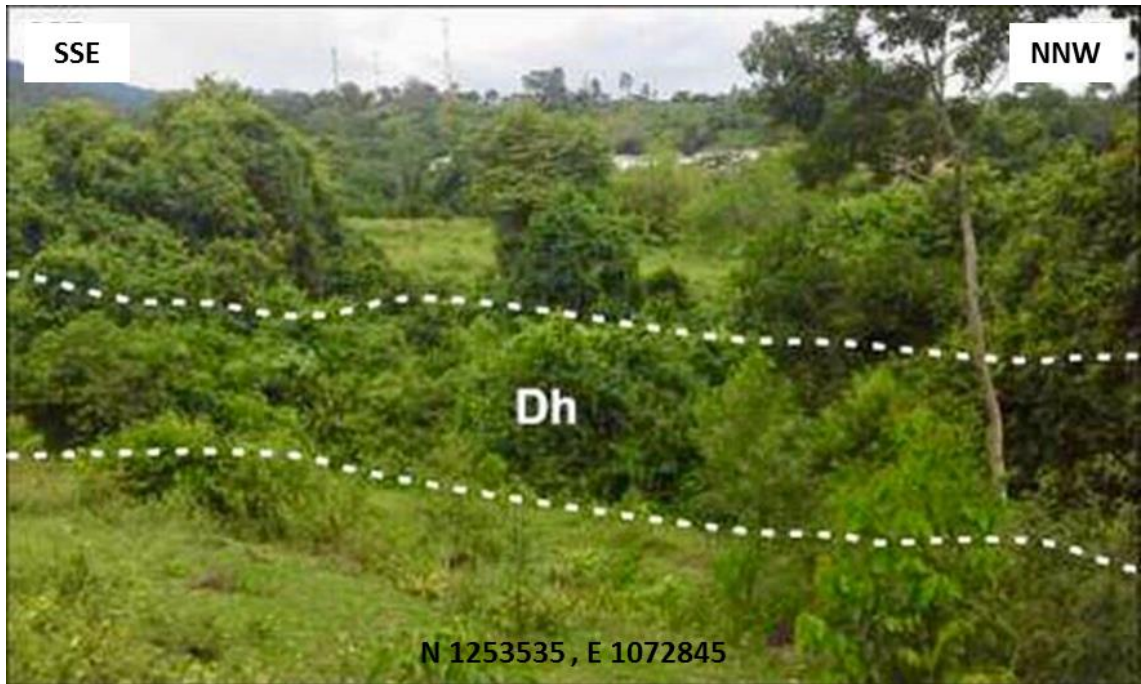
7.2.4 Cauce o lecho actual (Fca). Estas conforman el dominio del cauce actual de las corrientes de agua, incluyendo las vegas más recientes y barras torrenciales, en este caso de la quebrada Las cruces. Este presenta pendientes planas a ligeramente inclinadas de formas rectas e y algo irregulares.

Figura 22. Cauce o lecho actual de la Quebrada Las Cruces en el área de estudio.



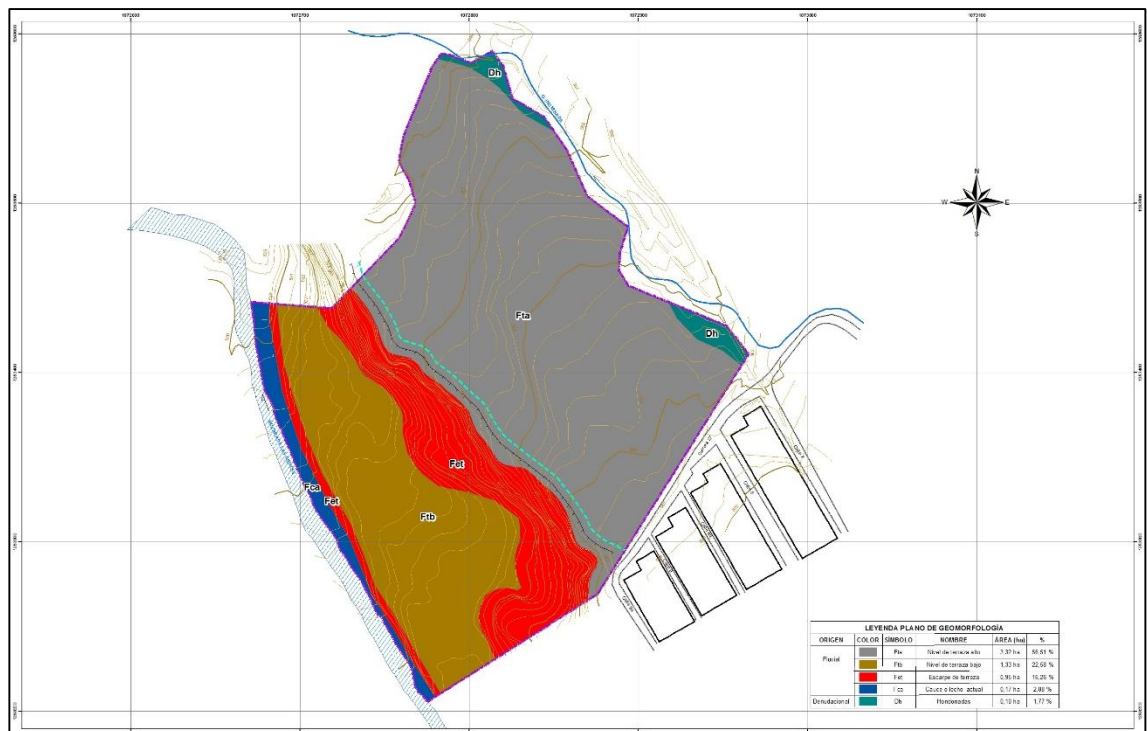
7.2.5 Hondonadas (Dh). Esta unidad se considera de origen denudacional ya que es producto directo de la erosión generada sobre la superficie del terreno constituido de depósitos fluvio-torrenciales. Estas son depresiones alargadas en dirección de la pendiente formadas por la erosión profunda, algunas de las cuales como lo es en este caso asociadas a la corriente de agua que discurre al margen Noreste del predio. Esta posee una forma irregular más pronunciada al margen derecho aguas abajo que el margen izquierdo y un ancho aproximado de 10m. En algunos puntos forma depresiones profundas de hasta 2m con pendientes inclinadas al extremo Noreste y pendientes moderadas hacia su extremo Suroeste de formas convexas y cóncavas.

Figura 23. Hondonada presente en el área de estudio.



Finalmente, se cartografiaron todas las unidades geomorfológicas (figura 24):

Figura 24. Mapa a Geomorfológico del área de estudio (Anexo C).



LEYENDA PLANO DE GEOMORFOLOGÍA					
ORIGEN	COLOR	SÍMBOLO	NOMBRE	ÁREA (ha)	%
Fluvial		Fta	Nivel de terraza alto	3,32 ha	56,51 %
		Ftb	Nivel de terraza bajo	1,33 ha	22,58 %
		Fet	Escarpe de terraza	0,95 ha	16,26 %
		Fca	Cauce o lecho actual	0,17 ha	2,88 %
Denudacional		Dh	Hondonadas	0,10 ha	1,77 %

7.3 Morfodinámica y procesos erosivos

La morfodinámica describe los procesos de deslizamientos activos o potencialmente activos que afectan determinada área, y los procesos de erosión describen la intensidad con que se ha generado sobre la superficie del terreno gracias a los agentes atmosféricos. Para la identificación de los procesos morfodinámicos, se utilizó la clasificación propuesta por Varnes (1978); y para los procesos erosivos una tabla modificada por el INGEOMINAS de Van Zuidam (1986).

Durante la visita técnica al predio en estudio no se observaron procesos morfodinámicos activos que estén afectando el terreno, pero cabe resaltar que debido a la morfología, y pendiente que presentan los escarpes de terraza al momento de intervenir el predio se pueden generar cargas desestabilizadoras que generan movimientos en masa, por ello se recomienda tener un aislamiento respecto a esas laderas y realizar obras para impedir que estos procesos sucedan.

Dentro de los procesos erosivos se considera que el predio presenta un terreno sin erosión, ya que este presenta una buena cobertura vegetal cubriendo una superficie >90% de toda el área de estudio, impidiendo que se generen procesos erosivos severos (tabla 7).

Tabla 7. Grado de erosión de acuerdo a la cobertura vegetal (Van Zuidam, 1985).

GRADO DE EROSION		
ID	COBERTURA VEGETAL	DESCRIPCION
	> 90%	Sin Erosión
	> 75%	Erosión baja
	51 - 74%	Erosión Media
	25 - 50%	Erosión Alta
	< 25%	Erosión muy Alta

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA y ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería e Ingeominas. 2001.

8 COBERTURA VEGETAL Y USOS DEL SUELO

Teniendo en cuenta el área de estudio y la escala de trabajo, se elaboró el mapa de cobertura y uso del suelo teniendo en cuenta la información que reposa en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Vicente de Chucurí y, principalmente, la información recolectada en campo. Para tal fin, se utilizó la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2010).

Dicha metodología permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes satelitales que son validadas durante las visitas de campo. En la actualidad esta metodología (CLC, 1990) se está usando en todo el territorio europeo y en gran parte de otros continentes, buscando estandarizar una clasificación de cobertura de tierras que permita comparar estadísticas de ocupación de tierras para crear líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que la adopten y además, homologar la información a nivel mundial.

Tras seguir la metodología establecida para la realización de la cartografía de la cobertura vegetal, se identificaron dos unidades de cobertura de tierras que se describen a continuación:

8.1 Bosque ripario.

Es cobertura está constituida por una franja de más de 50m de vegetación arbórea ubicada en el margen de la Quebrada las Cruces, en donde se encuentran árboles de más de 10 metros de altura.

Figura 25. Bosque ripario que se encuentra bordeando la Quebrada Las Cruces.



8.2 Pastos limpios.

El predio Yariguies III, presenta predominantemente esta cobertura de tierras, la cual está constituida por pastos estructurados en potreros con presencia de árboles distribuidos de forma dispersa con un porcentaje menor al 30 % de la cobertura en general.

Figura 26. Pastos limpios que se encuentran predominando la zona de estudio, con presencia de árboles y arbustos menores al 30 %.



Finalmente, a partir del trabajo de campo, se obtuvo el siguiente resultado de la cartografía de cobertura de tierras, las cuales se delimitaron con la ayuda de fotografías aéreas.

Figura 27. Mapa de coberturas de tierras del área de estudio (Anexo D).



LEYENDA PLANO DE COBERTURA DE TIERRAS					
ORIGEN	COLOR	NOMENCLATURA	NOMBRE	ÁREA (ha)	%
Territorios agrícolas	■	2.3.2	Pastos arbolados	3,42 ha	58,27 %
Bosques y áreas seminaturales	■	3.1.4	Bosque de galería y ripario	2,45 ha	41,73 %

Teniendo en cuenta que el Municipio de San Vicente de Chucurí cuenta con un plano de uso del terreno actualizado en la revisión excepcional de su Plan de Ordenamiento Territorial (2017), que la escala se adecúa a la que se trabajó en el presente proyecto y que en campo se corroboró que el uso del suelo no ha sufrido cambios desde la mencionada actualización, se utilizan dichos usos del predio Yariguies III como cartografía temática definitiva.

9 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Con el propósito de determinar las características del subsuelo propias de la zona de estudio, es de vital importancia recopilar la mayor información posible de la estructura geotécnica del suelo, para ello se efectuó la exploración geotécnica en 9 puntos estratégicos (figura 28) en donde se ejecutaron ensayos SPT a percusión y apiques, así como también dos líneas de refracción sísmica que se realizaron como labor externa al presente proyecto.

El plan de exploración geotécnica consistió en dos fases principales, una fase de campo y una segunda fase de ensayos de laboratorio realizados en las instalaciones de ALICON & ING S.A.S.

9.1 FASE DE CAMPO.

Tabla 8. Ensayos de campo que se realizaron en la zona de estudio.

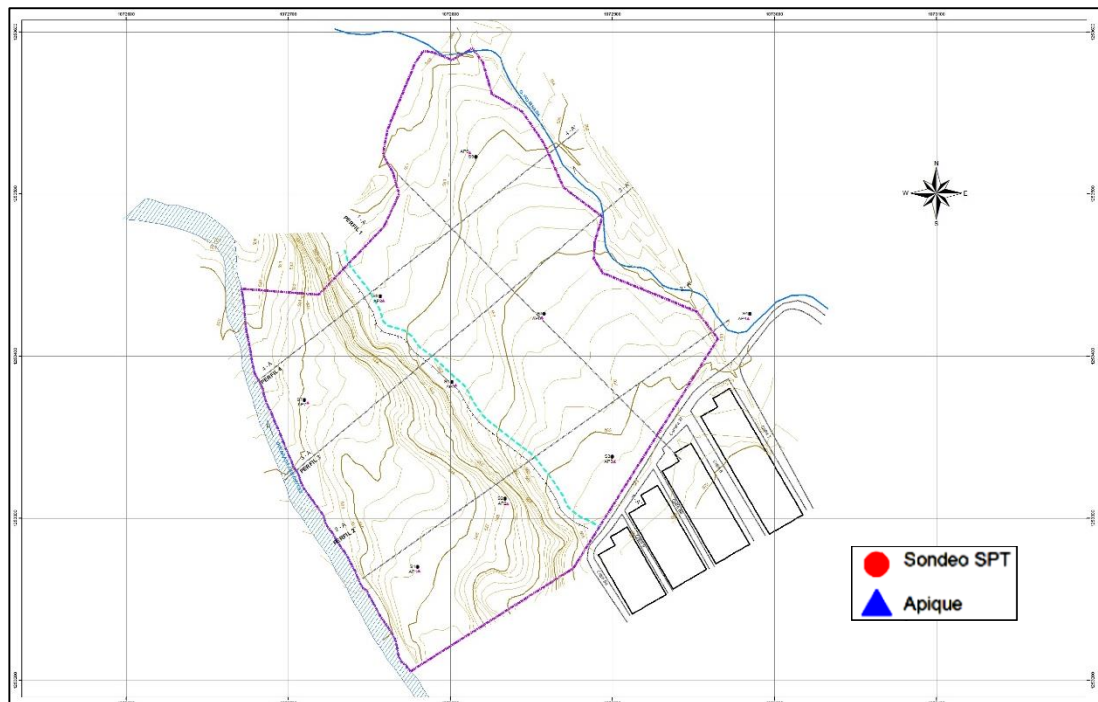
No.	Tipo de ensayo	Cant	Profundidad (m)	Norma
1	Sondeos	9	6 m	ASTM D 1586, INVE 111-07
2	Apiques	9	Prom 1.1 m	I.N.V. E – 105 – 07
3	Refracción sísmica	2	30	ASTM D5777

Dichos sondeos y apiques se realizaron en las siguientes coordenadas:

Tabla 9. Coordenadas de la exploración geotécnica.

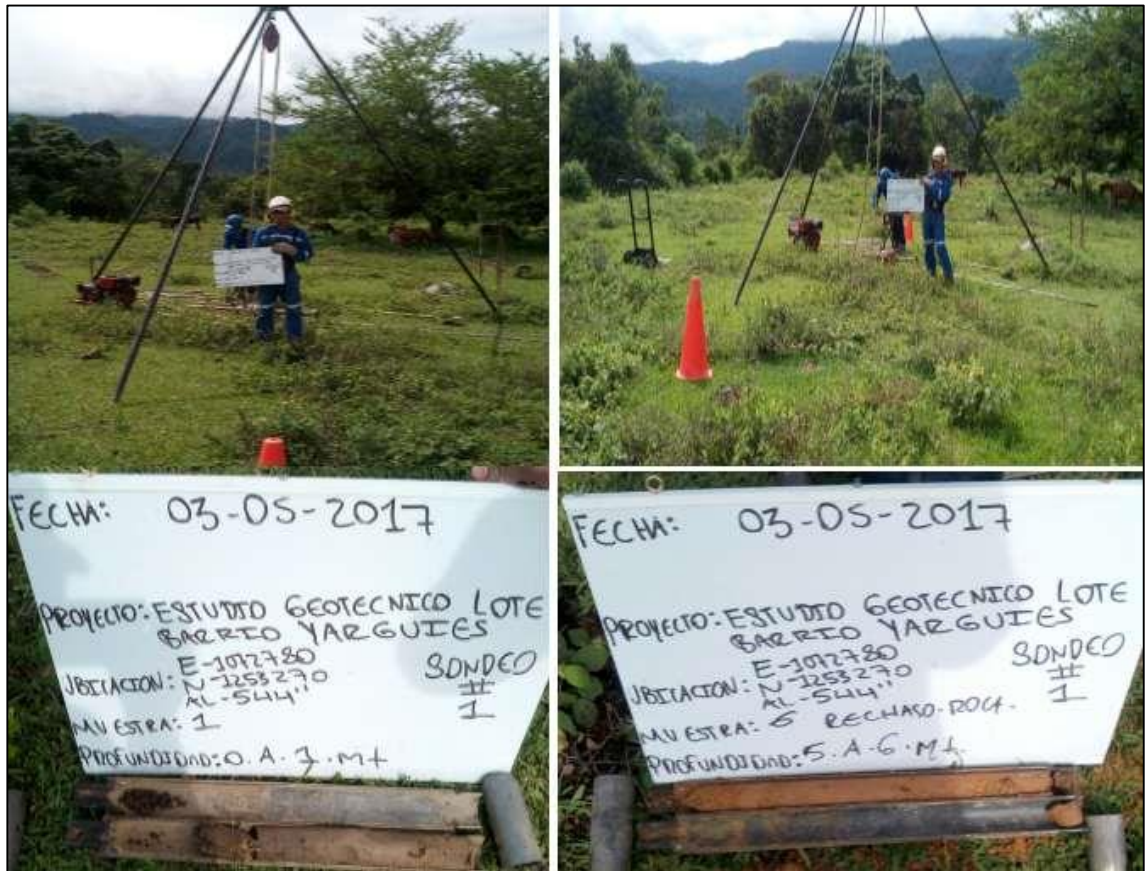
SONDEO/APIQUE	N	E
S1-AP1	1253270 m	1072780 m
S2-AP2	1253312 m	1072834 m
S3-AP3	1253338 m	1072900 m
S4-AP4	1253426 m	1072985 m
S5-AP5	1253384 m	1072801 m
S6-AP6	1253426 m	1072858 m
S7-AP7	1253373 m	1072710 m
S8-AP8	1253437 m	1072757 m
S9-AP9	1253523m	1072816 m

Figura 28. Localización de la exploración geotécnica. (Anexo E).



9.1.1 Registros de perforación SPT. El objetivo de la realización de los ensayos de perforación SPT, es determinar la resistencia a la penetración del suelo, correlacionar parámetros geotécnicos y examinar la localización espacial de los tipos de suelos identificados sobre el área de estudio y para obtener muestras lo menos alteradas posibles en cada una de las perforaciones ejecutadas para realizar ensayos de clasificación granulométrica por cada material homogéneo.

Figura 29. Registro fotográfico del sondeo No. 1 realizado en la zona de estudio.



El registro fotográfico completo de los sondeos realizados se muestra en el Anexo I y las descripciones de las muestras en el Anexo J.

En la siguiente tabla se muestran los sondeos realizados y el valor de N (golpes/pies) para cada uno de ellos:

Tabla 10. Valor de N (golpes/pies) de cada uno de los sondeos realizados.

MUESTRA	PROF (m)	N (Golpes/Pie)								
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
1	0.5	13	15	15	11	13	7	11	7	9
	1	19	15	23	15	17	8	15	8	9
2	1.5	27	25	32	21	23	17	16	18	21
	2	24	31	28	32	29	28	26	32	27
3	2.5	33	23	37	32	36	32	31	31	36

	3	37	37	30	39	33	39	37	37	34
4	3.5	31	36	39	31	34	36	37	36	40
	4	41	33	35	41	39	41	38	37	38
5	4.5	36	37	44	36	40	37	39	39	39
	5	39	39	39	35	39	47	40	43	42
6	5.5	44	85	39	35		40			79
	6			89	85					

9.1.2 Registro de apiques. Este proceso se lleva a cabo con el propósito de realizar los ensayos de corte directo y clasificación de suelos, obteniendo de esta forma parámetros geotécnicos del suelo (C_u , Y , σ), utilizando los resultados obtenidos para los análisis de estabilidad, capacidad de carga y asentamientos inmediatos esperados con el fin de realizar obras de contención según la necesidad de la zona.

Para la toma de muestras de suelo inalterada se extrajeron nueve (9) apiques superficiales a 1.1 metros de profundidad aproximadamente, con el fin de obtener parámetros geotécnicos sobre el área de estudio. A continuación se muestra el registro fotográfico del apique 5.

Para ver el registro de los apiques restantes, remitirse al Anexo K, donde se encuentra el registro fotográfico completo.

Figura 30. Registro fotográfico del apique No. 5 realizado en la zona de estudio.



En la exploración geotécnica realizada no se evidenciaron niveles freáticos superficiales.

9.2 FASE DE LABORATORIO.

La fase de laboratorio se realizó en los laboratorios de ALICON & ING S.A., en donde se efectuaron los siguientes ensayos, a partir de muestras representativas del terreno en estudio: Clasificación de suelo (tamaño de los granos), Humedad natural (contenido de agua), Límites de Atterberg (límites de consistencia), Peso específico y Corte directo (ángulo de fricción y cohesión), los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados se presentan en un resumen. Para ver los resultados completos del laboratorio ver el Anexo L.

9.2.1 Clasificación de suelos. En cualquier masa de suelo, los tamaños de los granos varían de manera considerable. Para clasificar de manera apropiada un suelo determinado se debe conocer su distribución granulométrica. Con las muestras de los sondeos ejecutados dentro del área de análisis mediante ensayos de penetración estándar (SPT) a percusión, se realizaron los estudios de laboratorio de suelos para cada material homogéneo encontrado, este proceso es realizado con el fin de obtener el tipo de suelo empleando la clasificación unificada de suelos (SUCS) donde se corroboran las muestras encontradas en campo.

Tabla 11. Ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas.

No	Tipo de Ensayo	Cant	Norma
1	Análisis granulométrico por tamizado	26	NORMAS INV-E 123, ASTM D422, AASHTO T88, NLT 104
2	Determinación del Límite Líquido, Límite plástico e índice plasticidad de los suelos	26	NORMAS INV-E 122, ASTM D 2216, NTC 1495
3	Humedad natural	26	NORMAS INV-E 122, ASTM D 2216, NTC 1495
4	Peso Específico	3	I.N.V. E - 128
5	Corte directo	9	INV E-154, ASTM D3080, AASHTO T236, NTC 1917
6	Clasificación de suelos	26	ASTM D 2487, NTC 1504

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos de laboratorio para las diferentes muestras:

Tabla 12. Clasificación granulométrica de las muestras recuperadas en los sondeos realizados.

SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LIMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S1M1	0-2	SM	14.06	NP	NP	NP	6.76	57.36	35.88
S1M2	2-4	SC	14.45	16.62	13.27	3.35	3.72	58.18	38.10
S1M3	4-6	SC	16.15	26.03	17.56	8.47	23.72	47.68	28.60
S2M1	0-2	SM	12.10	NP	NP	NP	1.60	65.00	33.40
S2M2	2-4	SC	16.86	26.59	18.37	8.21	0.04	58.32	41.64
S2M3	4-6	SM	15.88	24.95	21.37	3.57	3.80	63.00	33.20

SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LIMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S3M1	0-3	SC-SM	15.35	19.72	13.97	5.75	2.20	57.44	40.36
S3M2	3-5	SM	7.05	NP	NP	NP	3.48	80.40	16.12
S3M3	5-6	SM	15.92	22.10	20.70	1.40	1.88	51.40	46.72
S4M1	0-2	SC-SM	16.17	25.73	21.03	4.70	0.68	59.00	40.32
S4M2	2-4	SC	14.38	17.05	13.55	3.50	0.16	54.96	44.88
S4M3	4-6	SC-SM	13.57	26.56	20.40	6.15	6.20	58.60	35.20
S5M1	0-3	SC	14.64	22.44	14.48	7.96	0.16	57.88	41.96
S5M2	3-5	SC-SM	13.61	21.54	15.15	6.39	0.00	51.52	48.48
S5M3	5-6	SC	12.93	18.22	15.16	3.06	4.48	58.60	36.92
S6M1	0-3	SM	15.01	NP	NP	NP	0.48	60.08	39.44
S6M2	3-6	SC-SM	14.66	22.04	17.31	4.73	0.40	54.32	45.28
S7M1	0-3	SC-SM	16.98	23.31	19.12	4.19	0.80	58.92	40.28
S7M2	3-5	SM	8.55	NP	NP	NP	7.84	67.12	25.04
S7M3	5-6	SC	8.89	18.64	17.86	0.78	8.28	53.08	38.64
S8M1	0-2	SM	11.79	NP	NP	NP	0.04	75.24	24.72
S8M2	2-3	SC	15.87	22.55	15.47	7.08	0.68	60.84	38.48
S8M3	3-6	SC	12.33	19.43	11.03	8.40	11.60	57.84	30.56
S9M1	0-1	SM	14.77	NP	NP	NP	0.48	62.68	36.84
S9M2	1-4	SC-SM	17.95	25.98	19.36	6.62	0.48	55.44	44.08
S9M3	4-6	SM	8.02	NP	NP	NP	5.00	84.04	10.96
Valores Máximos			17.95	26.59	21.37	8.47	23.72	84.04	48.48
Valores Promedios			13.77	22.19	16.95	5.24	3.65	60.34	36.00
Valores Mínimos			7.05	16.62	11.03	0.78	0.00	47.68	10.96

De acuerdo a los resultados de clasificación granulométrica obtenidas sobre todo el predio, utilizando la carta de plasticidad de Casagrande y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), se resalta lo siguiente:

- Se observa que el material predominante sobre todos los puntos de extracción de muestra de suelo, la presencia principalmente de arenas, clasificándose de acuerdo a la plasticidad encontrada, como arenas arcillosas (SC) y arenas limosas (SM).

- De acuerdo a los valores promedios generales de las muestras totales analizadas de la exploración geotécnica, observamos que se identifican promedios generales de 60.34% de arenas (materiales friccionantes) y valores promedios generales de finos del orden de 36 %.
- Se evidenciaron límites líquidos entre 16.62% y 26.59%, límites plásticos entre 11.03% y 21.37% e índices de plasticidad entre 0.78% y 8.47%, que representan materiales con plasticidad baja a media.
- Respecto a humedades naturales del terreno, estas oscilan entre 7.05% y 17.95%, representando categóricamente humedades bajas, indicando un terreno bien drenado.

9.2.2 Potencial de Expansión. Las arcillas tienen la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo humedad según las condiciones ambientales. Los daños que presentan las edificaciones cimentadas superficialmente en estos suelos se manifiestan progresivamente mediante fisuramientos, agrietamientos y giros de conjunto de los muros y elementos estructurales, a causa de movimientos desiguales de sus cimientos. Los criterios de laboratorio más aceptados para el reconocimiento de los suelos expansivos basados en altos valores del límite líquido, del índice de plasticidad, contenido de partículas coloidales y bajos valores del límite de contracción. Estos criterios deben verificarse en el laboratorio mediante ensayos de las propiedades índices correspondientes y de expansión en el consolidómetro.

Tabla 13. Potencial de expansión.

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm ²	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 – 30	50 – 63	6 – 12	23 – 45	18 – 37	> 100
Medio	10 – 20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

Teniendo en cuenta los resultados de granulometría y límites de consistencia, se identificaron valores máximos de límite líquido del orden de 26.59%, y valores máximos de índice plasticidad de 8.47%, encontrándonos en el rango de potencial de expansión bajo, según la tabla anterior que rige la norma NSR-10.

9.2.3 Ensayo de corte directo. La finalidad de los ensayos de corte directo, es determinar la resistencia de una muestra de suelo (ángulo de fricción y cohesión), sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga, para identificar geotécnicamente los diferentes materiales que afloran en la zona.

El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra colocada a velocidad controlada, donde generalmente se ensayan 3 o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento de la muestra en estudio, junto a las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

A continuación se muestran los resultados del ángulo de fricción y cohesión presentes en la zona de estudio, para una condición no consolidada no drenada de los apiques extraídos en campo. En el Anexo M se muestran los resultados completos de cada uno de los ensayos de corte directo ejecutados.

Tabla 14. Resumen de los parámetros obtenidos de los ensayo de corte directo.

No. APIQUE	COHESIÓN (kPa)	ANGULO DE FRICCIÓN (°)	PROFUNDIDAD (m)
AP1	26.70	23.70	1.10
AP2	31.60	19.70	1.10
AP3	24.90	23.50	1.10
AP4	10.00	39.80	1.20
AP5	22.90	21.40	1.20
AP6	23.10	25.90	1.20
AP7	24.50	35.70	1.10
AP8	9.80	33.40	1.20
AP9	18.40	20.00	1.20

10 EXPLORACIÓN SÍSMICA

Los métodos geofísicos, son una herramienta eficaz en la fase de exploración geotécnica para poder visualizar la disposición de los materiales en profundidad y transversalmente, en este capítulo se allegan los resultados obtenidos durante la exploración geofísica realizada a la zona de estudio mediante el método de refracción sísmica.

El objeto del estudio geofísico realizado durante este proyecto, se orienta principalmente, en obtener información del perfil estratigráfico teniendo en cuenta las variaciones del suelo en profundidad de acuerdo a los cambios de velocidades que esté presente. La fase de exploración geofísica contó con la realización de dos (2) líneas de refracción sísmica, con una longitud de 63 metros cada una.

Una vez obtenida la información durante la fase de exploración, se procede a realizar la fase del post proceso de la información la cual permite conocer el Tiempo de Retraso (Delay Time), el Tiempo de Reciprocidad (Reciprocal Time) y el Tiempo de Intercepción (Intercept Time) de las ondas a través del software SeisImager 2D utilizado para la interpretación, proceso y modelamiento de refracciones sísmicas.

10.1 LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN SÍSMICA.

Las líneas sísmicas S1 y S2 se ubicaron como muestra la figura 31. Dichas líneas se realizaron en el centro del predio con una longitud de 63 m cada una, usando un espaciado entre geófonos de 3 m. y 3 golpes para la adquisición.

Figura 31. Localización de las líneas de refracción sísmica.



Para las líneas se realizaron en 3 disparos, se tomó un disparo de control antes del primer geófono, en la mitad del tendido y otro disparo después del geófono 22 (en la tabla 15 y 16 se observa la ubicación del geófono final e inicial para cada línea sísmica).

Tabla 15. Coordenadas de cada geófono para la línea S1.

LABEL	Este	Norte
GEO1	1072825	1253423
GEO22	1072874	1253467

Tabla 16. Coordenadas de cada geófono para la línea S2.

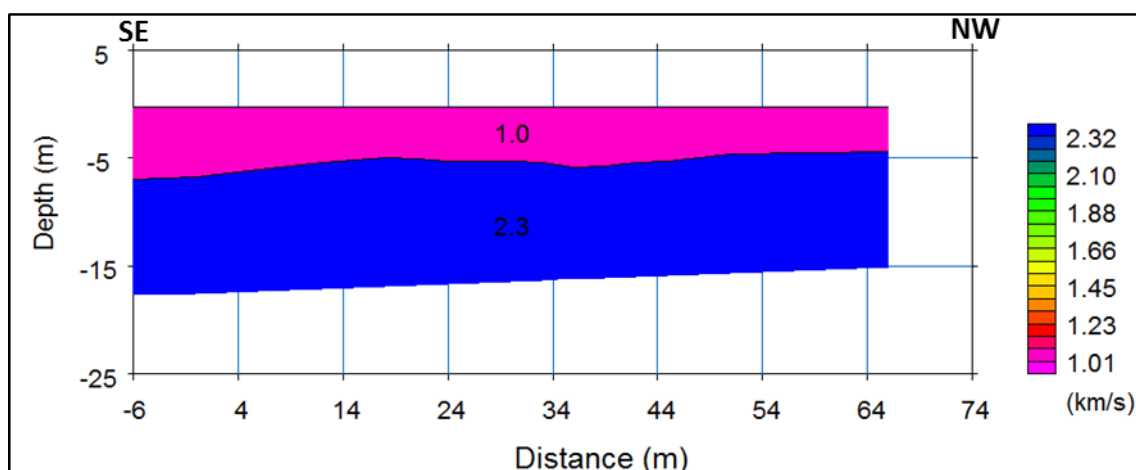
LABEL	Este	Norte
GEO1	1072839	1253458
GEO22	1072892	1253419

10.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REFRACCIÓN.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del procesamiento de los datos adquiridos en cada una de las líneas de refracción sísmica realizadas:

10.2.1 Resultados de la línea de refracción sísmica S1. El resultado de la tomografía obtenido del procesamiento de los datos, permite concluir que, a la profundidad alcanzada en la exploración con la línea S1, existen dos capas o materiales litológicos diferentes, evidenciadas en el contraste bien definido de dos velocidades de ondas P distintas que se hallaron con la refracción sísmica y que se presentan a continuación en las figuras 32 y 33, las cuales se resumen en la tabla 17:

Figura 32. Resultado de las velocidades de onda p.



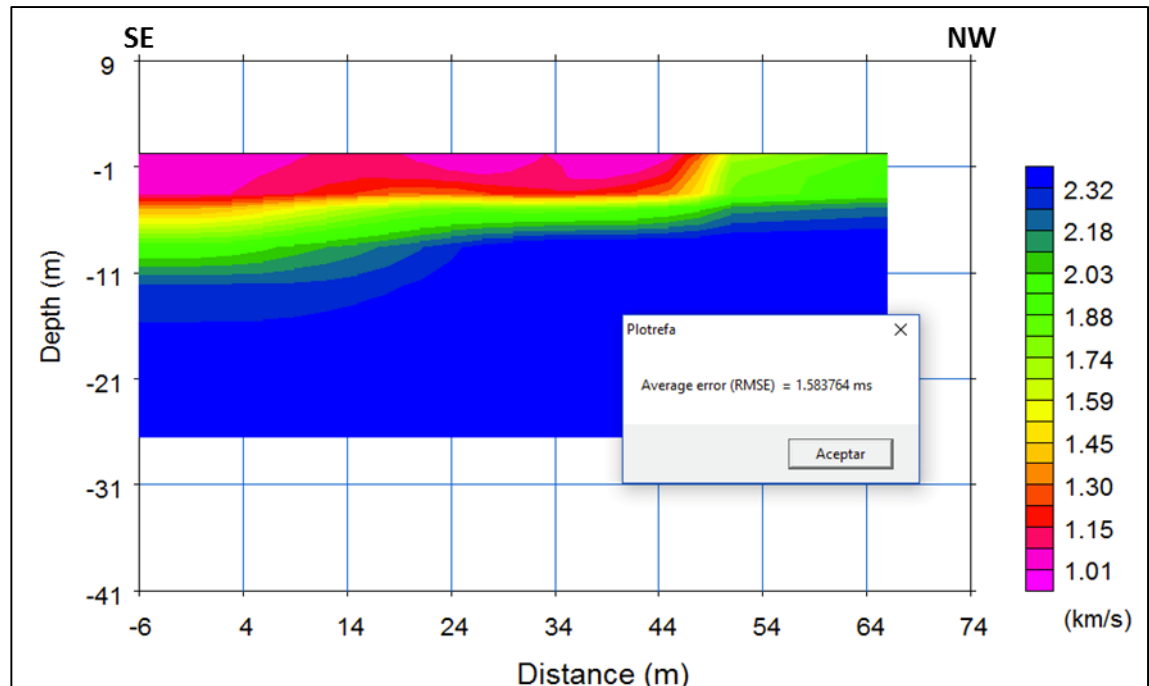
Según la norma ASTM D5777, la geología y los ensayos de laboratorio de las muestras de campo, las velocidades que corresponden con la capa 1 son correlacionables con depósitos aluviales de origen fluvio-terrestres o suelos no consolidados, que por estar formado por bloques de roca en una matriz arenosa, muestra este comportamiento.

Tabla 17. Velocidades y espesores de la Línea de refracción sísmica 1.

LÍNEA S1		
CAPA	VELOCIDADES (m/s)	ESPESOR (metros)
1	1000	5 - 6
2	2300	> 13

En la tomografía (figura 33) de la líneas S1, se observa la capa de colores rosado de velocidades 1000 m/s con un espesor de cinco a seis metros, estas velocidades correlacionadas con los ensayos de laboratorio se atribuyen a una capa de matriz arenosa (S). Infrayaciendo a esta se encuentra una segunda capa con una velocidad de 2300 m/s, la cual corresponde con velocidades de roca de acuerdo a la norma ASTM D5777, que por asociaciones de campo se trata de areniscas y lodolitas de la Formación Umir.

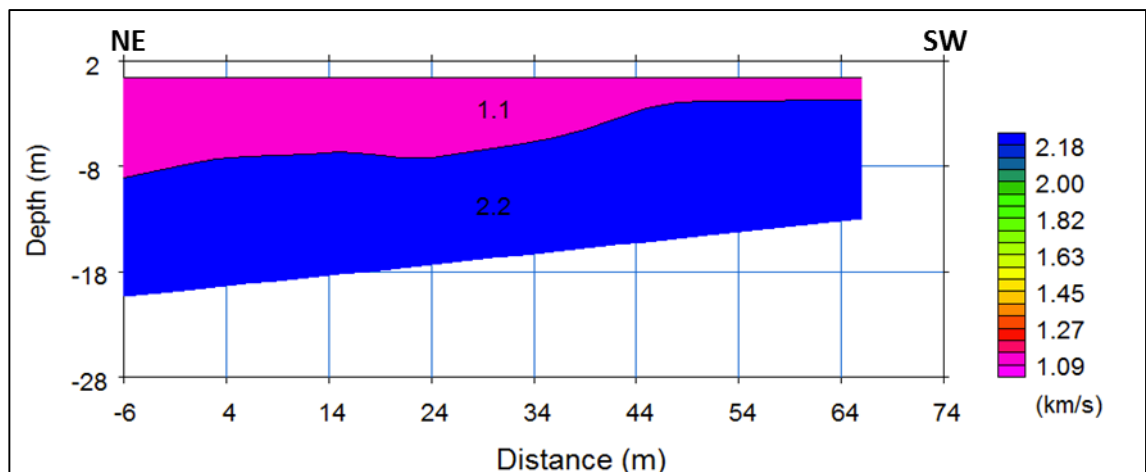
Figura 33. Resultado de la inversión de velocidades – Modelo Tomografía.



Se obtuvo una profundidad máxima de exploración de 23 metros. El error obtenido RMSE (**Root-Mean-Square Error**) encontrado fue de 1.58 msec lo que se interpreta como una buena aproximación.

10.2.2 Resultados línea de refracción sísmica S2. El resultado de la tomografía obtenida del procesamiento de los datos adquiridos en el tendido de la refracción sísmica S2, al igual que la línea S1, permite concluir que se encontraron dos grupos de velocidades de ondas P (figura 34), lo cual se le atribuye a la presencia de dos capas o materiales litológicos; en donde la primera capa presenta un incremento del espesor a medida que se aproxima en dirección NE.

Figura 34. Resultado de las velocidades de onda p en la línea S2.



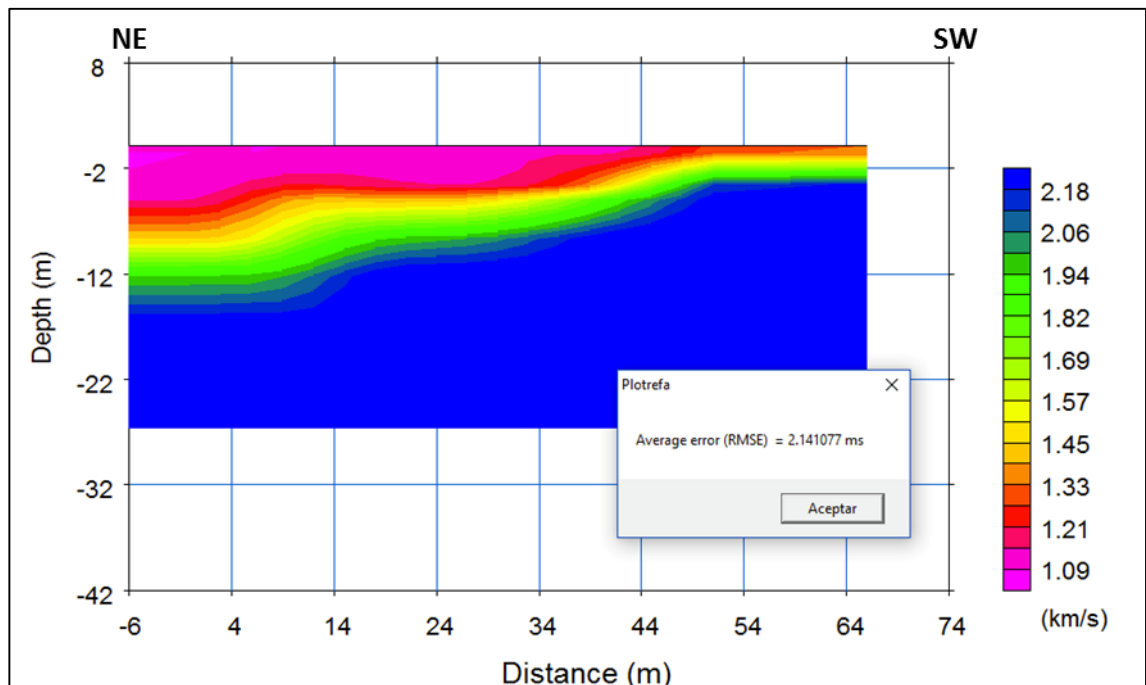
Según la norma ASTM D5777, la geología y los ensayos de laboratorio de las muestras de campo, las velocidades que corresponden con la capa uno son correlacionables con depósitos aluviales, estas velocidades intermedias corresponden normalmente con sedimentos arenosos saturados, las cuales se correlacionan con la composición predominante de este depósito, el cual son bloques de roca de gran tamaño que se encuentran en una matriz arenosa.

Tabla 18. Velocidades y espesores de la Línea de refracción sísmica 2.

LÍNEA S2		
CAPA	VELOCIDADES (m/s)	ESPESOR (metros)
1	1100	Max 8
2	2200	> 8

En la siguiente tomografía (figura 35), se observa la capa de colores rosado de velocidades de 1100 m/s con un espesor de máximo ocho metros, estas velocidades correlacionadas con los ensayos de laboratorio se atribuyen a una capa de matriz arenosa (S). Infrayaciendo a esta esta se encuentra una segunda capa con una velocidad de 2200 m/s, la cual corresponde con velocidades de roca de acuerdo a la norma ASTM D5777, que por asociaciones de campo se trata de areniscas y lodolitas de la Formación Umir.

Figura 35. Resultado de la inversión de velocidades – Modelo Tomografía en la línea S2.



Se obtuvo una profundidad máxima de exploración de 23 metros. El error obtenido RMSE (**Root-Mean-Square Error**) encontrado fue de 2.14 msec lo que se interpreta como una buena aproximación.

Finalmente, cabe aclarar que tanto para la línea S1 y S2, puede existir una o más capas con velocidades menores entre las mostradas anteriormente, debido a que el ensayo de refracción sísmica radica en que sólo es posible detectar estratos con rigideces progresivamente mayores con la profundidad que tengan

un contraste de velocidad bien definido, a esto se le conoce como “bright spot” o “punto ciego”.

11 EVALUACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO PARA DETERMINAR LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.

Para efectuar la evaluación de un modelo representativo de la zona en estudio se deben involucrar tanto aspectos geológicos (variación en profundidad de los diferentes depósitos) como geotécnicos (caracterización geomecánicas de los diferentes materiales presentes).

El modelo geológico geotécnico es aquel que relaciona la geología local con los modelamientos geotécnicos de laderas o taludes; a partir de este modelo, los resultados de los sondeos SPT y los conocimientos geológicos del sector, se define la distribución de los materiales en profundidad de acuerdo a diferentes criterios para caracterizar el tipo de falla que podría presentarse y la manera de como analizar el deslizamiento. Teniendo los materiales distribuidos en profundidad y definidas las propiedades geotécnicas, se recomiendan las obras pertinentes con el fin de garantizar la estabilidad de estas laderas para condiciones críticas de ascenso del nivel freático y aceleración sísmica.

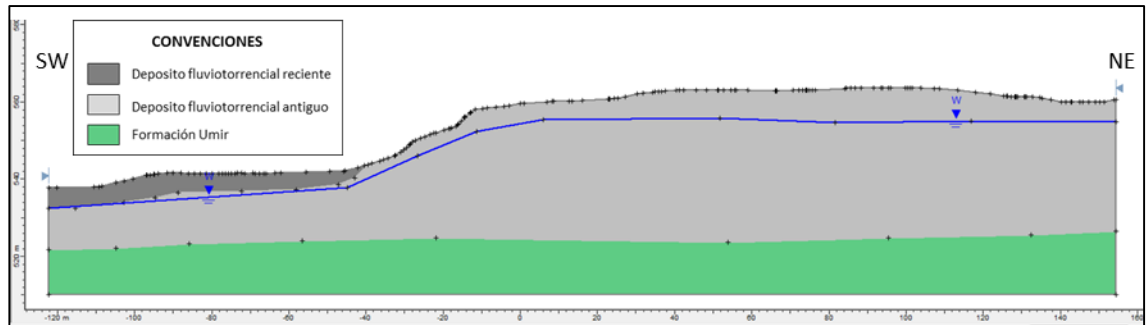
En este capítulo se presentan los trabajos realizados para determinar la amenaza y por ende la identificación de la inestabilidad ante fenómenos de movimientos en masa sobre el terreno para implantar las obras urbanísticas, implementando metodologías determinísticas y probabilísticas para la obtención de las superficies de falla que afecten la integridad el proyecto.

11.1 MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la fase de exploración geológica se concluye que la totalidad del predio donde se desarrollará el proyecto urbanístico Yariguíes III está constituido por suelos transportados de origen fluviotorrencial, producto del transporte y depositación de sedimentos transportados por la quebrada Las Cruces y demás drenajes del área. Estos suelos constan de una matriz de textura areno-lodosa, de colores grises a pardo-amarillentos y pardo-rojizos, la cual contiene en mayor proporción granos de arena de tamaños

variados que van de arenas finas a muy gruesas con gránulos de fragmentos de cuarzo y líticos de formas que van de redondeadas a angulares.

Figura 36. Perfil geológico-geotécnico.



11.2 FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DEL TERRENO.

La estabilidad de la ladera que se ubica sobre la parte oeste del predio, hacia el costado donde se localiza la quebrada Las Cruces, está condicionada por una serie de factores que desde el punto geológico, geomorfológico y físico, se puede llegar a producir deslizamientos como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen del terreno, dichos factores pueden variar el comportamiento propio de la zona en estudio, y se presentan a continuación:

- Ladera inclinada adyacente a la zona propuesta a urbanizar, con pendiente de $\text{aprox } 30^\circ$ y altura de la ladera de 20 metros.
- Modificaciones antrópicas del terreno durante el proceso constructivo.
- La infiltración de agua en el terreno podría detonar un movimiento en masa.
- Un aumento de los periodos de lluvias.
- Sismo de gran magnitud y superficial favoreciendo la amplificación sísmica por el tipo de materiales.

11.3 PARÁMETROS GEOMECÁNICAS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN.

Los parámetros geomecánicos se establecieron a partir de los resultados de los ensayos de campo por medio de los SPT a percusión, los ensayos de laboratorio por medio del ensayo corte directo efectuado a las muestras extraídas de los apiques y correlaciones con el ensayo SPT en el software Dynamic Probing efectuada por ALICON & ING S.A.S. (Anexo O), para determinar las desviaciones estándar con cantidades de datos necesarios para ejecutar la desviación. A continuación se presentan los parámetros geomecánicos utilizados en el modelamiento de estabilidad de taludes en el software SLIDE V 5.0:

Tabla 19. Propiedades geotécnicas sobre perfil 1.

TIPO SUELO	PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PARAMETRO EXTRAIDO DE LA MUESTRA
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL ANTIGUO	COHESIÓN	(KN/m ²)	23.1	3.97	Apique 6
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	25.9	4.5	
	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m ³)	17.5	0.6	

Figura 37. Perfil 1 modelado en SLIDE V 5.0

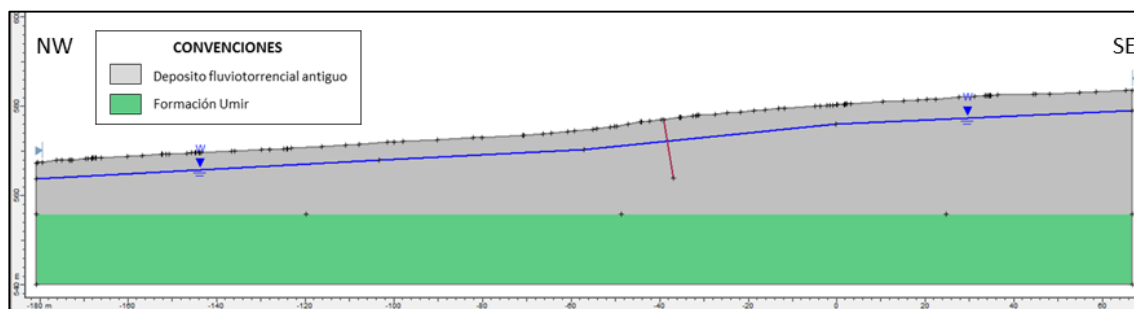


Tabla 20. Propiedades geotécnicas sobre perfil 2.

TIPO SUELO	PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PARAMETRO EXTRAIDO DE LA MUESTRA
SUELO TRANSPORTADO	COHESIÓN	(KN/m ²)	24.9	3.97	Apique 3
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	23.5	4.5	

FLUVIO TORRENCIAL ANTIGUO (parte alta)	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17.5	0.6	Apique 1
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL	COHESIÓN	(KN/m2)	26.7	3.97	
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	23.7	4.5	
FLUVIO TORRENCIAL RECIENTE (parte baja)	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17.5	0.6	

Figura 38. Perfil 2 modelado en SLIDE V 5.0

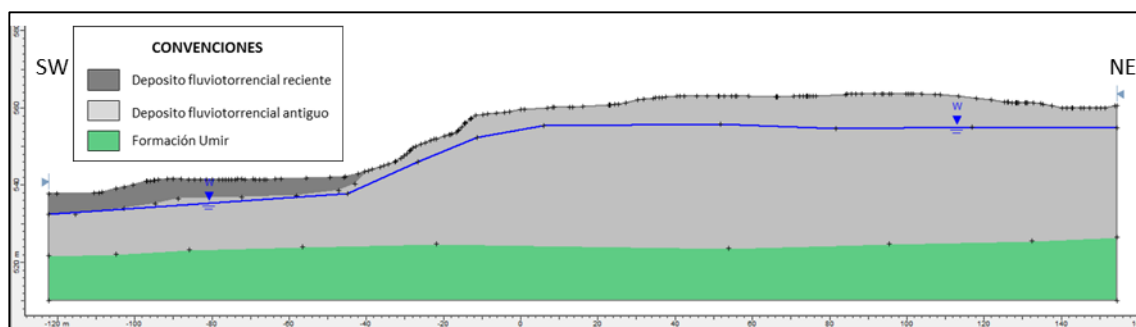


Tabla 21. Propiedades geotécnicas sobre perfil 3.

TIPO SUELO	PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PARAMETRO EXTRAIDO DE LA MUESTRA
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL ANTIGUO (parte alta)	COHESIÓN	(KN/m2)	22.9	3.97	Apique 5
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	21.4	4.5	
	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17.5	0.6	
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL RECIENTE (parte baja)	COHESIÓN	(KN/m2)	24.5	3.97	Apique 7
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	35.7	4.5	
	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m3)	17.5	0.6	

Figura 39. Perfil 3 modelado en SLIDE V 5.0.

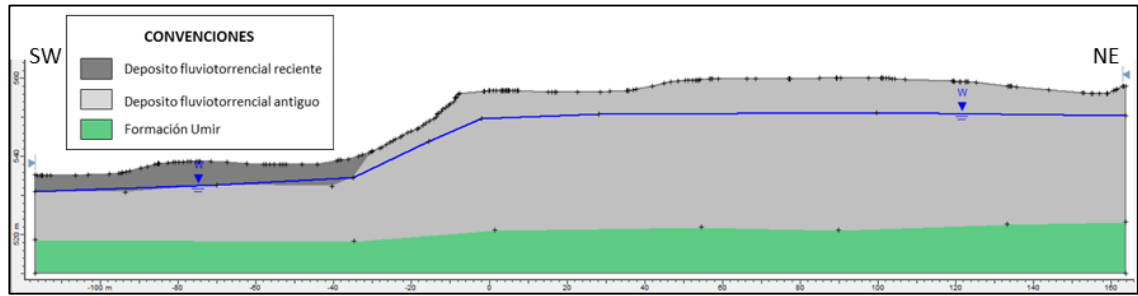
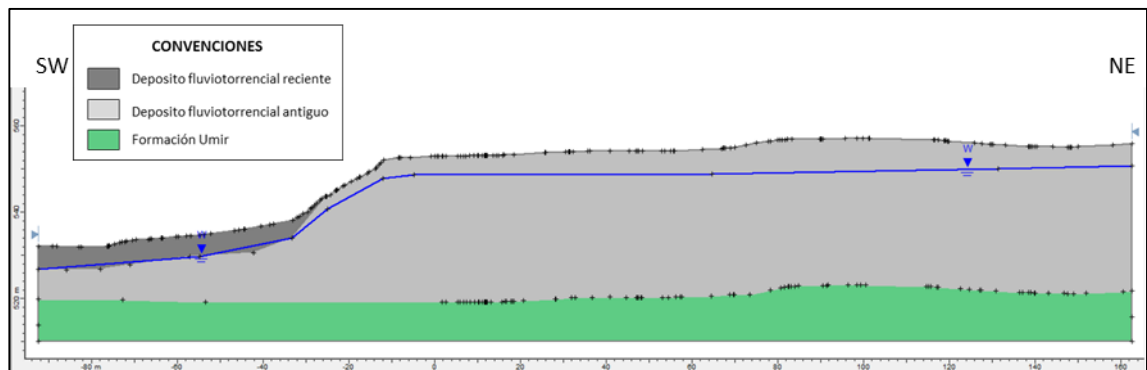


Tabla 22. Propiedades geotécnicas sobre perfil 4.

TIPO SUELO	PARÁMETRO	UNIDAD	MAGNITUD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PARAMETRO EXTRAIDO DE LA MUESTRA
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL ANTIGUO (parte alta)	COHESIÓN	(KN/m ²)	9.8	3.97	Apique 8
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	33.4	4.5	
	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m ³)	17.5	0.6	
SUELO TRANSPORTADO FLUVIO TORRENCIAL RECIENTE (parte baja)	COHESIÓN	(KN/m ²)	24.5	3.97	Apique 7
	ANGULO DE FRICCIÓN	GRADOS (°)	35.7	4.5	
	PESO ESPECIFICO SECO	(KN/m ³)	17.5	0.6	

Figura 40. Perfil 4 modelado en SLIDE V 5.0.



11.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EMPLEANDO METODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE.

Los métodos de equilibrio límite, analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable, y consisten en comparar las fuerzas tendentes al movimiento con las fuerzas resistentes que se oponen al mismo a lo largo de una determinada superficie de rotura. Se basan en la selección de una superficie teórica de rotura en el talud; el criterio de rotura de Mohr-Coulomb; y la definición de un factor de seguridad (Sanhueza y Rodríguez, 2013).

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas. Generalmente, los métodos son iterativos y cada uno ofrece diferentes grados de precisión.

11.4.1 Limitantes del método. Los análisis de límite de equilibrio tienen algunas limitaciones entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Se basan solamente en la estática.

Como los métodos de límite de equilibrio se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones, en muchos casos, no son realistas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos esfuerzos no realistas, generalmente ocurren en algunas tajadas del análisis y no significa que el factor de seguridad general sea inaceptable (Suarez, 2002).

- Suponen los esfuerzos uniformemente distribuidos.

Debe tenerse cuidado cuando existan concentraciones de esfuerzos debidos a la forma de la superficie de falla o a la interacción de suelo-estructura (Suarez, 2002).

- Utilizan modelos de falla muy sencillos.

El diseño de taludes utilizando solamente la modelación con métodos de límite de equilibrio es completamente inadecuado si los procesos de falla son complejos, especialmente cuando están presentes los procesos de “creep”, la deformación progresiva, el flujo, la rotura por fragilidad, la licuación y otras formas de deterioro de la masa del talud (Suarez, 2002).

- Generalmente se asume el material como isotrópico.

La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema, asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares. Sin embargo, el mecanismo de falla en los materiales residuales donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como las formaciones aluviales y coluviales anisotrópicas, requiere de nuevos enfoques y del estudio de las superficies de falla no simétricas (Suarez, 2002).

- Presiones de poros.

Las condiciones de presión de poros son generalmente obtenidas de las características de las aguas subterráneas y pueden especificarse para los análisis utilizando los siguientes métodos (Suarez, 2002).

Sin embargo, el método es aplicado debido a que este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación; analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Ejecuta un análisis con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua, y el tipo de falla que se evidencia en campo se puede modelar a partir de este método, asumiendo superficies de falla circular, esta superficie de falla es característica de los movimientos analizados sobre los perfiles geológicos seleccionados para el predio en estudio, establecidos como zonas críticas.

11.4.2 Concepto de Superficie de Falla. El termino superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o la rotura del talud, sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

En los métodos de equilibrio límite el factor de seguridad se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto, este valor representa un promedio del valor total de la superficie de falla.

11.4.3 Factor de seguridad (F.S.). El factor de seguridad se emplea para conocer cuál es el factor de amenaza frente a una posible falla del talud, este factor se puede presentar como la relación calculada entre la resistencia al corte real del material en el talud, y los esfuerzos cortantes críticos que tratan de producir la ruptura, a lo largo de una superficie supuesta.

F.S. = Resistencia al corte / Esfuerzo cortante

En superficies circulares, en donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes, la expresión es la siguiente:

F.S. = Momento actuante / Momento resistente

De esta manera se procede a estudiar un cuerpo libre, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para establecer el equilibrio. Al calcular la fuerza resistente, se compara con la fuerza disponible o resistente proporcionada por el suelo o la roca y se obtiene con esto un Factor de Seguridad.

El criterio de estabilidad asumido para el predio, parte de los factores de seguridad establecidos en la NSR-10. Para cada perfil geológico se determinan intervalos para los diferentes factores de seguridad obtenidos en los análisis de estabilidad del talud para movimientos en masa, adoptándose los factores de

seguridad especificados en el título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10. En dicho título, se encuentra la tabla H.2.4-1 que muestra los factores de seguridad mínimos directos para garantizar la estabilidad del terreno.

Tabla 23. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

De acuerdo a la tabla anterior se asume la condición de taludes – condición Pseudo estática- agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño, para los cuales se recomienda un factor de seguridad mínimo de diseño de 1.05 para garantizar la estabilidad del talud; y para la condición estática y agua subterráneas normal, se deben garantizar factores de seguridad superiores a 1.5. En ningún caso el factor de seguridad básico mínimo (FSBM) podrá ser inferior a 1.0.

11.5 ANALISIS DE ESTABILIDAD.

Para determinar la estabilidad interna por movimientos en masa situados en el área de estudio, se implementa el modelo geológico-geotécnico basado en la caracterización geológica. Para obtener los factores de seguridad y sectorizar

una amenaza de acuerdo a la normatividad vigente NSR-10. Para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Cálculo de factores de seguridad determinísticos y probabilísticos utilizando el software SLIDE V 5.0 de la firma ROCSCIENCE, para diferentes escenarios, terreno en condiciones naturales y con cargas proyectadas.
- Identificación de la inestabilidad de la ladera para los diferentes escenarios planteados.
- Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite que analiza la superficie de falla circular, esta superficie de falla es característica del movimiento analizado, también se utilizara la teoría de Bishop simplificada para la definición de los factores de seguridad.
- Para la determinación de los modelos, se asumen escenarios críticos, que contemplan el ascenso del nivel freático y una carga sísmica pseudoestática que se encuentra definida por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10 para el municipio de San Vicente de Chucurí dentro del departamento de Santander. Los escenarios empleados se definen a continuación:

11.5.1 Tipos de escenarios para análisis de estabilidad.

Escenario 1. Terreno en condiciones naturales sin ser intervenido, para análisis estáticas y aumento nivel freático.

Escenario 2. Terreno en condiciones naturales sin ser intervenido, para análisis pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático.

Escenario 3. Terreno intervenido con las respectivas obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención + implantación urbanística, para condiciones pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático.

11.6 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ANTE DESLIZAMIENTO.

Por medio del análisis de estabilidad de taludes, se realizó el modelamiento de las cuatro secciones mostradas anteriormente en la figura 29, donde se tomaron en cuenta los perfiles más críticos, que se ubicaron cerca de la exploración geotécnica y con el fin de simular el caso más extremo. En el software SLIDE V 5.0 de la firma ROSCIENCE se analizó la estabilidad general por medio del equilibrio límite, determinando los factores de seguridad de falla.

Para la determinación de estos factores de seguridad se asumió el método de equilibrio límite por la teoría de Bishop y Morgenstern, ya que este método es adecuado para el análisis de fallas circulares, las cuales son representativas dentro del área de influencia del proyecto. En las siguientes figuras se muestra los resultados de estabilidad para los perfiles modelados.

11.6.1 Resultados de la estabilidad escenario 1. Para el análisis del escenario 1 se define una superficie de falla local circular a lo largo de la cual ocurre un movimiento en la ladera, teniendo en cuenta como hipótesis que se producen deslizamientos de forma moderada sin provocación aparente. A continuación se presentan los resultados de estabilidad para condiciones estáticas del terreno en estado actual sin intervención urbanística:

En las siguientes imágenes se exponen los resultados de cada perfil por el método de Bishop simplificado, el análisis de estabilidad de cada uno de los perfiles por los métodos de Janbu simplificado, Spencer y Morganstern – Price, se muestran en su totalidad en el Anexo N.

Figura 41. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.

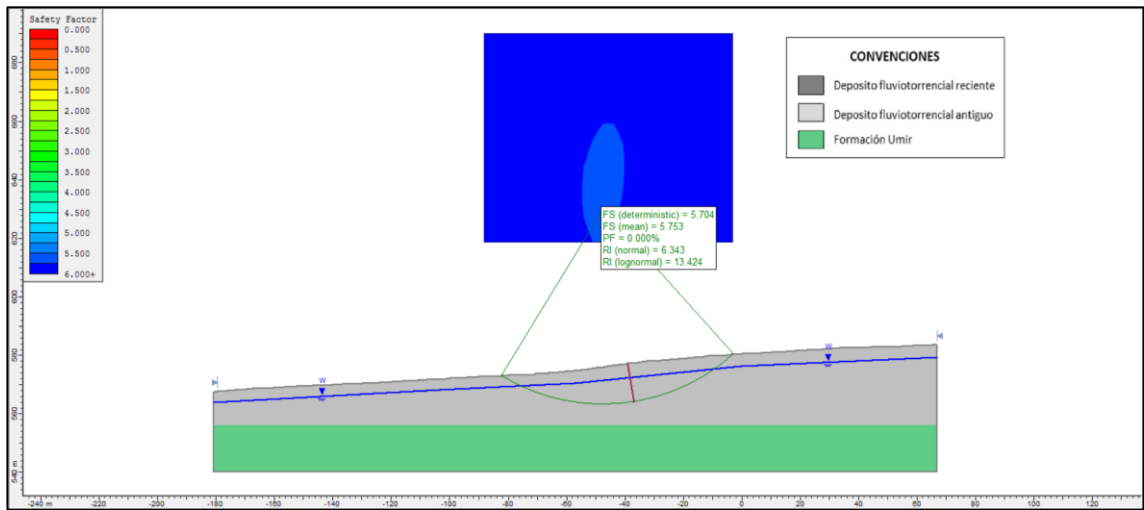
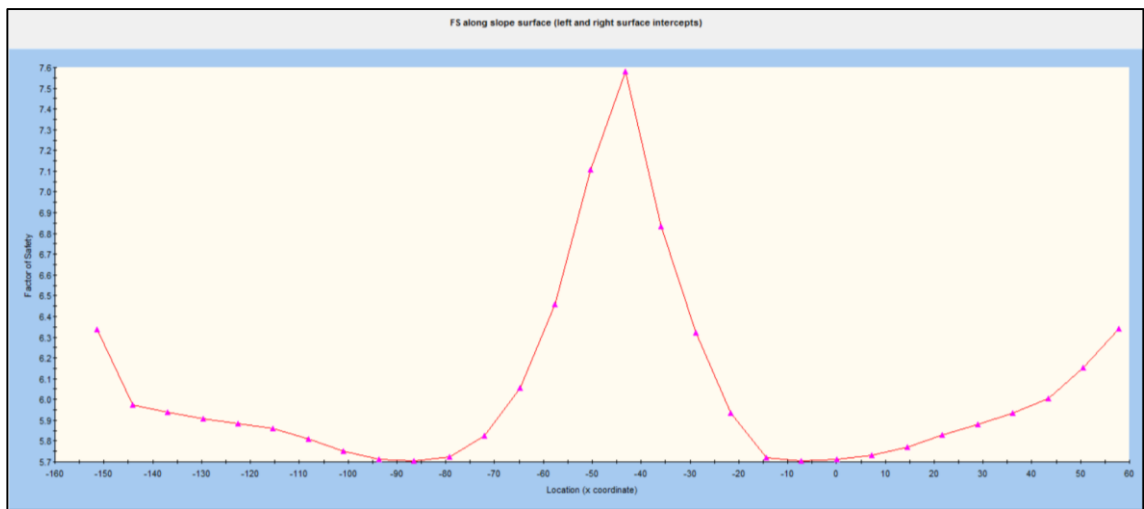


Figura 42. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.



De las figuras 41 y 42 mostradas anteriormente, se puede concluir que sobre el perfil 1, en condiciones naturales, bajo circunstancias estáticas y considerando un aumento nivel freático, el terreno es estable, con un FS mayor a 5.7 a lo largo de la superficie de falla, de acuerdo a lo contemplado en la NSR-10 (Tabla 23).

Figura 43. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.

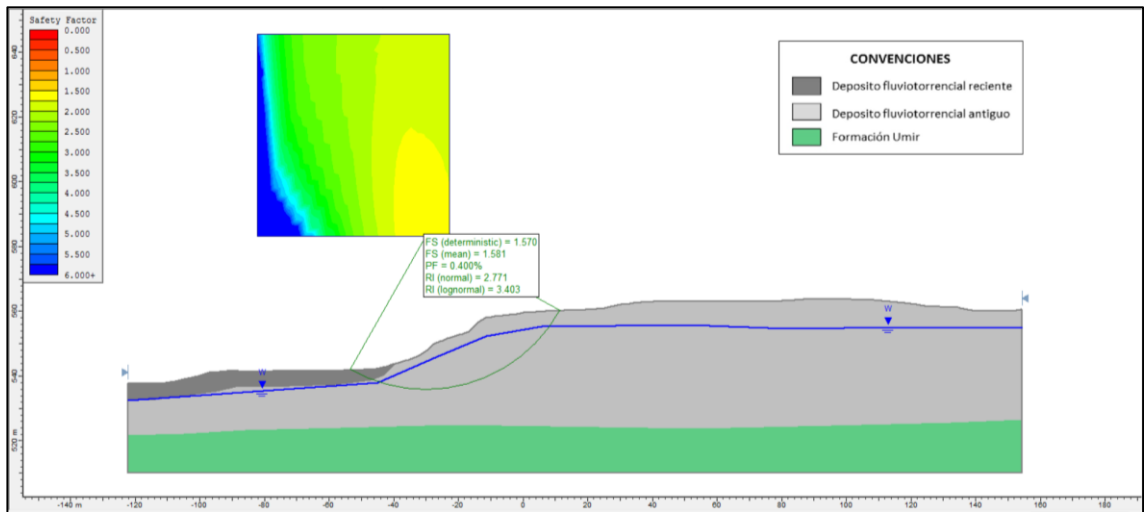
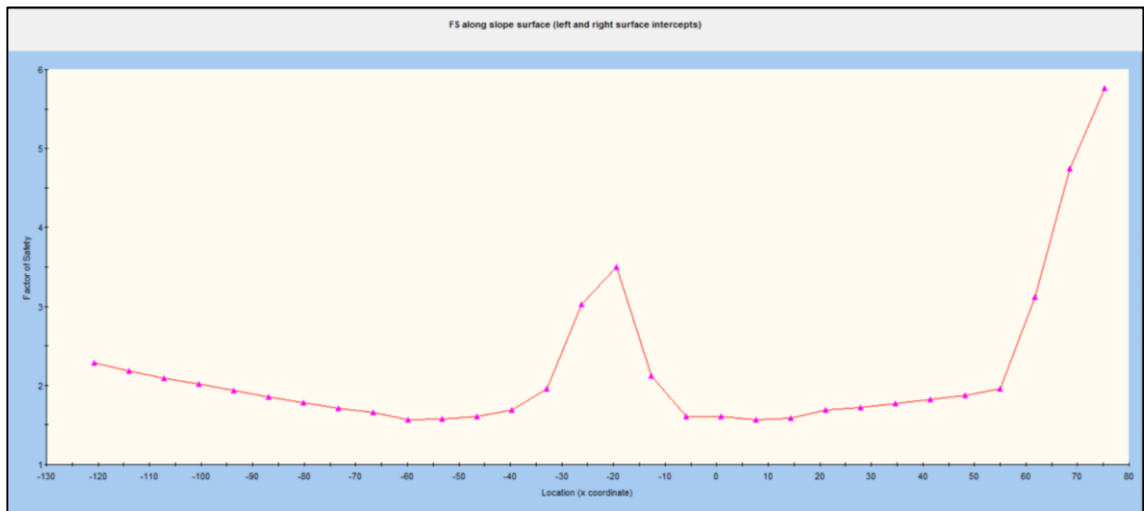


Figura 44. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 2 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.



De acuerdo a las figuras 43 y 44 mostradas anteriormente, se puede concluir que sobre el perfil 2, en condiciones naturales, bajo circunstancias estáticas y considerando un aumento nivel freático, el terreno es estable, con un FS mayor a 1.5 a lo largo de la superficie de falla, según a lo establecido en la NSR-10 (Tabla 23).

Figura 45. Modelo de estabilidad del perfil 3 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.

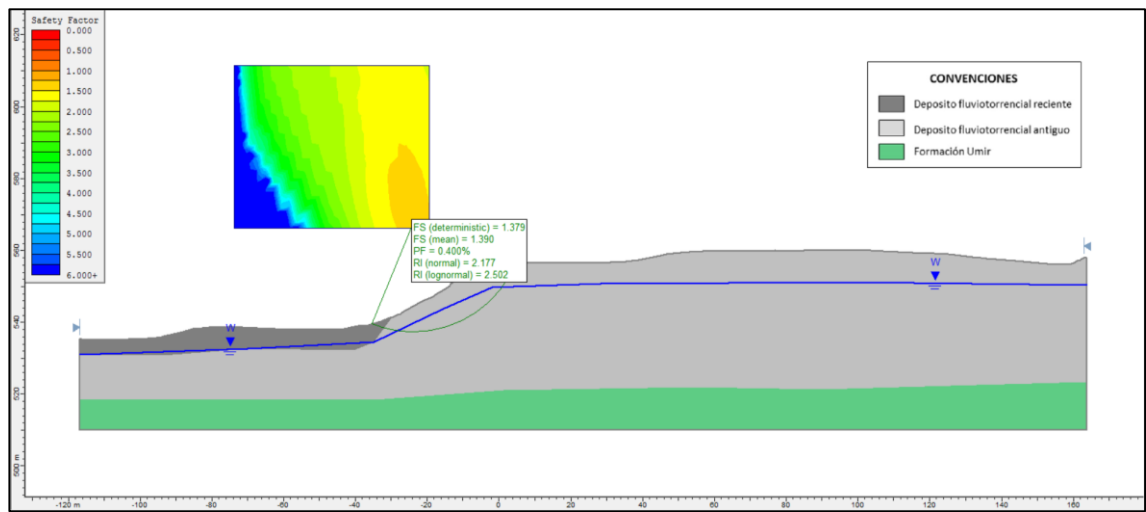
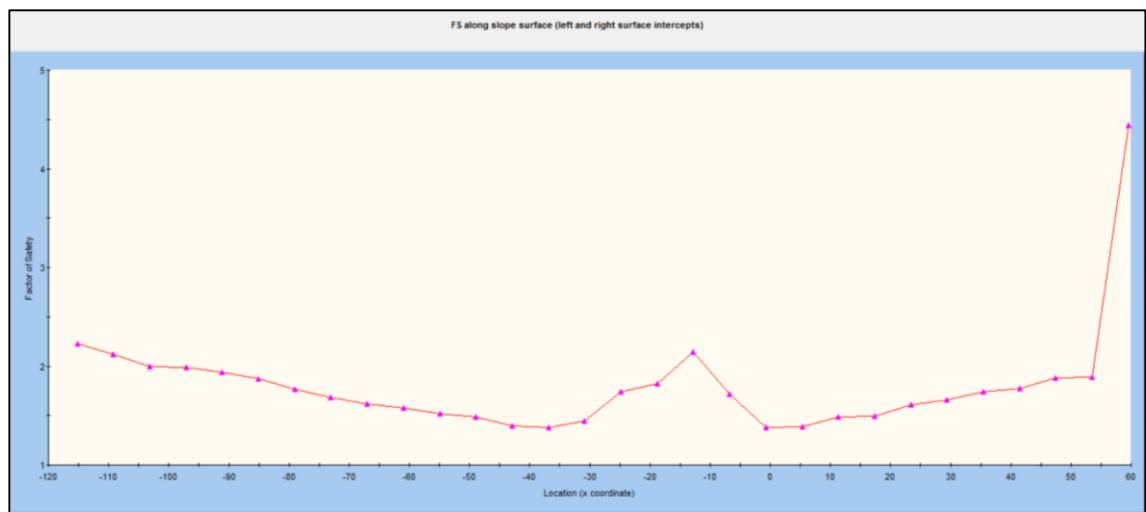


Figura 46. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.



Según las figuras 45 y 46 mostradas anteriormente, se puede concluir que sobre el perfil 3, en condiciones naturales, bajo circunstancias estáticas y considerando un aumento nivel freático, el terreno es estable, con un FS mayor a 1.379 a lo largo de la superficie de falla; y según lo determinado en la NSR-10 (Tabla 23), al presentar un FS inferior a 1.5, el talud es inestable, pero presenta un FS superior a 1 que es el valor del FSBM que mínimo que admite dicha norma.

Figura 47. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.

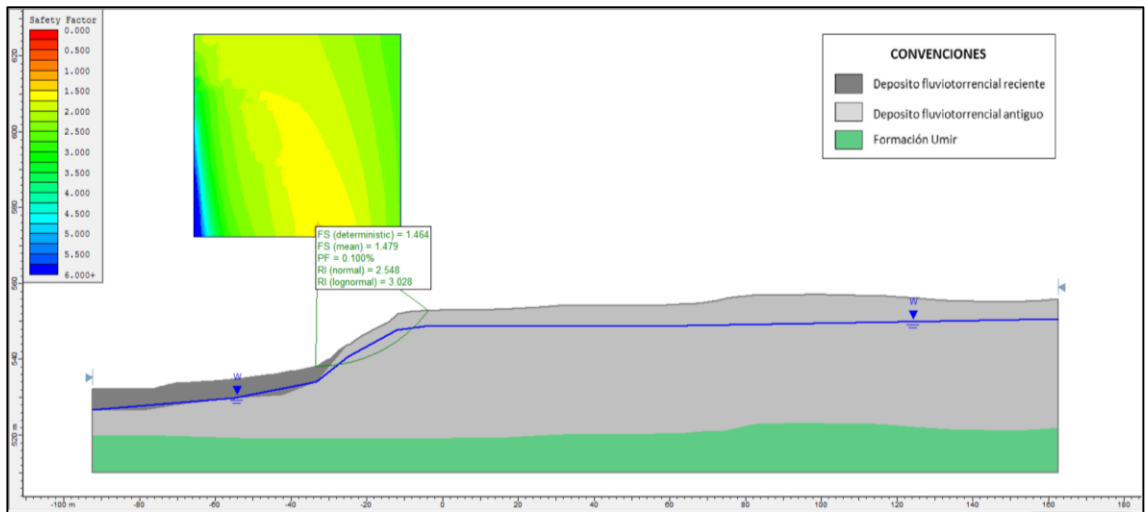
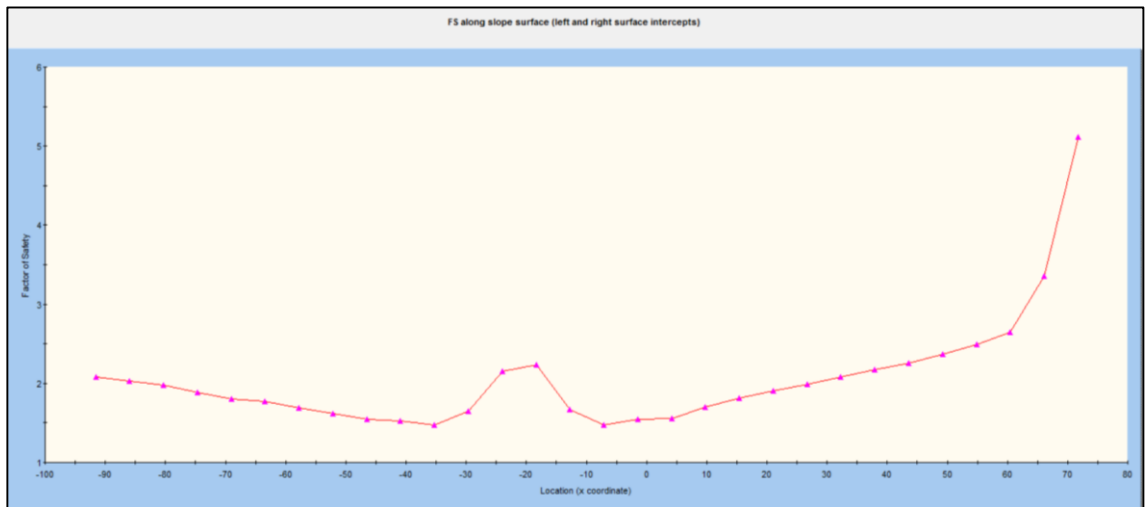


Figura 48. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 1. Realizado en SLIDE V 5.0.



De conformidad con los resultados obtenidos en las figuras 47 y 48, se puede concluir que sobre el perfil 4, en condiciones naturales, bajo circunstancias estáticas y considerando un aumento nivel freático; el terreno presenta un FS de 1.464 a lo largo de la superficie de falla, el cual es inferior al FS 1.5 que garantiza una estabilidad del terreno, pero que está por encima del valor del FSBM permitido por la NSR-10 que es 1.

Tabla 24. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 1.

ESCENARIO 1								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF
BISHOP SIM.	5.704	0.00%	1.570	0.40%	1.379	0.40%	1.464	0.10%
JANBU SIM.	5.294	0.00%	1.431	1.20%	1.243	5.20%	1.379	0.50%
SPENCER	5.704	0.00%	1.571	0.20%	1.395	0.20%	1.466	0.00%
MORGANSTERN - PRICE	5.704	0.00%	1.569	0.30%	1.382	0.30%	1.469	0.10%

11.6.2 Resultados de la estabilidad escenario 2. Posteriormente se requiere observar el comportamiento de la ladera en condiciones naturales (sin intervención de la urbanización) para un escenario Pseudo-estática (0.1g) y aumento del nivel freático, para identificar posibles superficies de falla que puedan afectar las viviendas sobre la parte alta de la ladera y recomendar las obras pertinentes que mitiguen cualquier amenaza por movimientos en masa que puedan ser inducidas por eventos críticos como lluvias intensas y a su vez la ocurrencia de un sismo.

Figura 49. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.

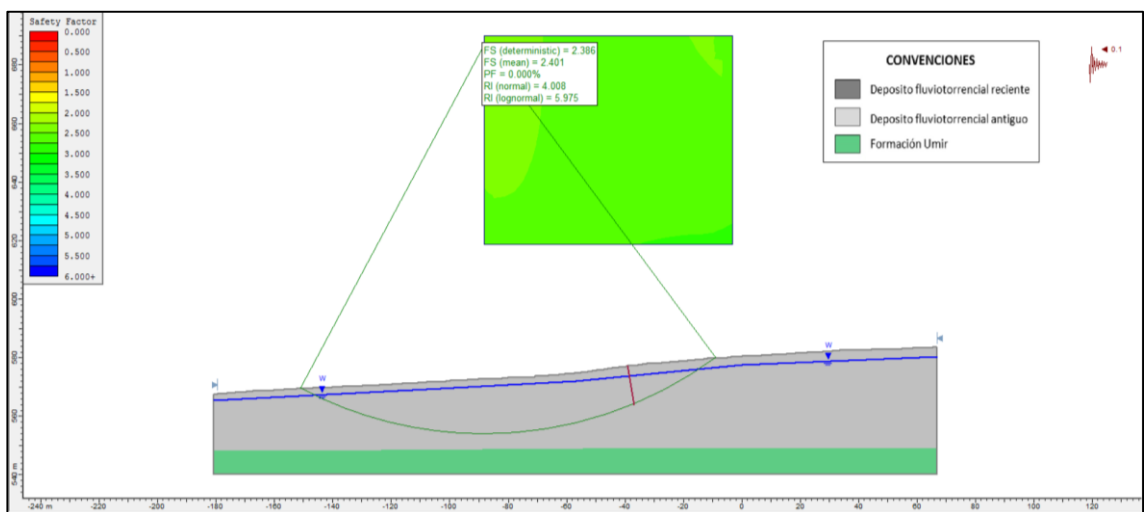
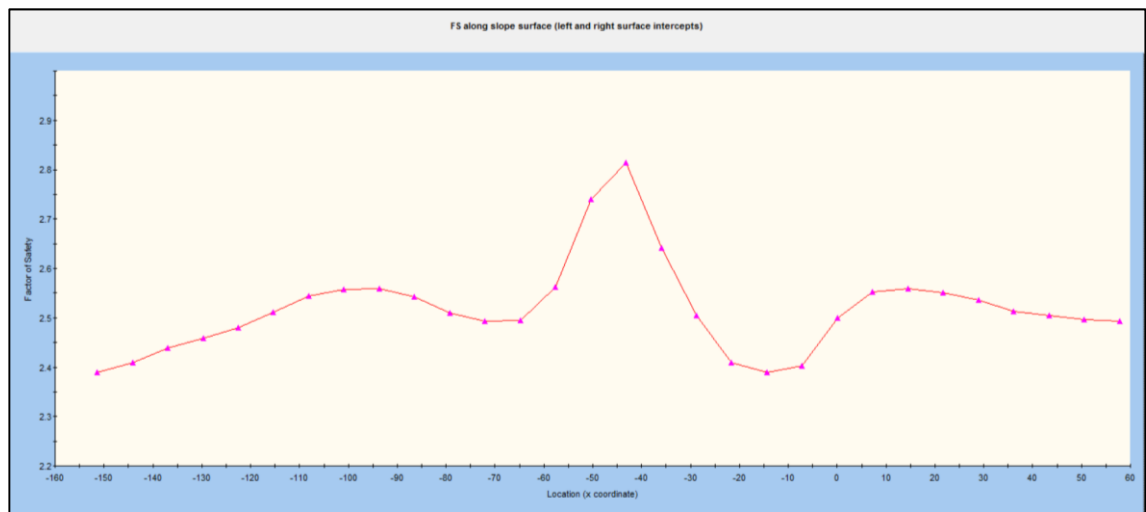


Figura 50. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.



De acuerdo a las figuras 49 y 50, se tiene que sobre el perfil 1, en entornos naturales sin ser intervenido con la construcción de la urbanización Yariguies III, para condiciones pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático; presenta un FS de 2.386 a lo largo de la superficie de falla; que aunque se encuentra dentro del rango considerado por la NSR-10 (Tabla 23) como un FS estable, se debe considerar que este disminuyó ampliamente respecto al obtenido en el escenario 1, en donde se obtuvo un FS de 5.704.

Figura 51. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.

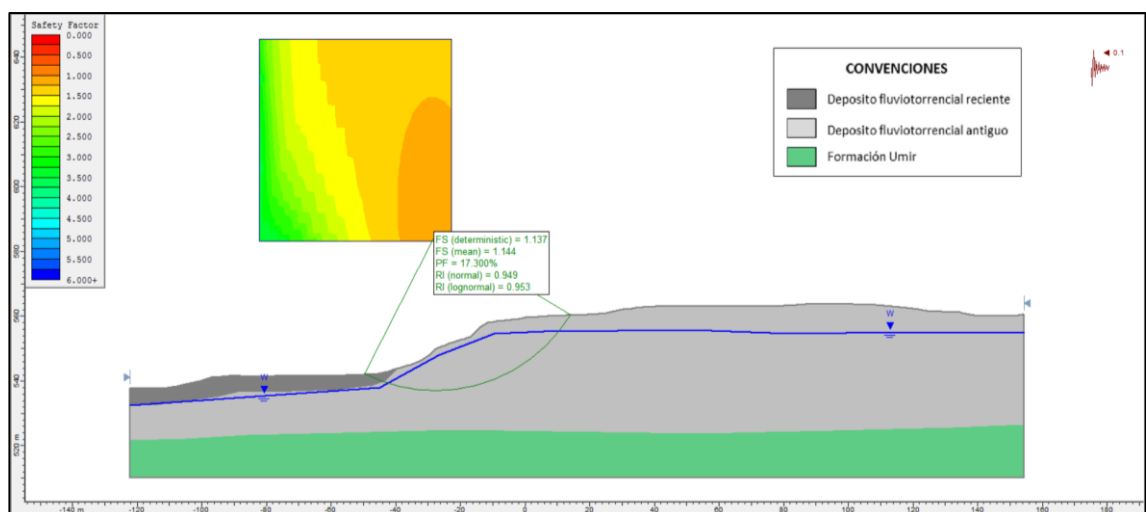
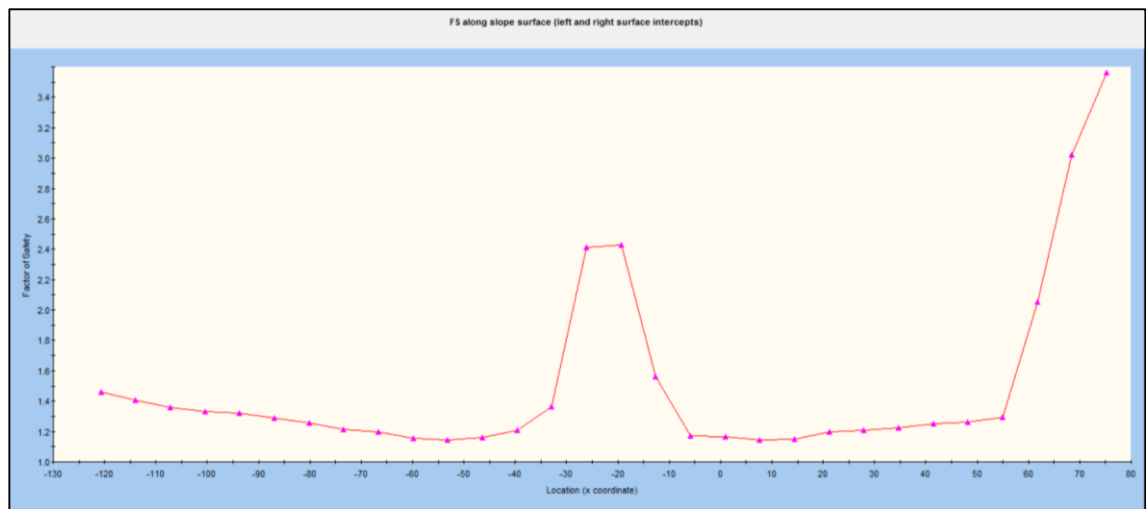


Figura 52. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 2 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.



De las figuras 51 y 52 mostradas anteriormente, se tiene que sobre el perfil 2, en entornos naturales sin ser intervenido con la construcción de la urbanización Yariguies III, para condiciones pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático; el terreno presenta un FS de 1.137 a lo largo de la superficie de falla.

Figura 53. Modelo de estabilidad del perfil 3 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.

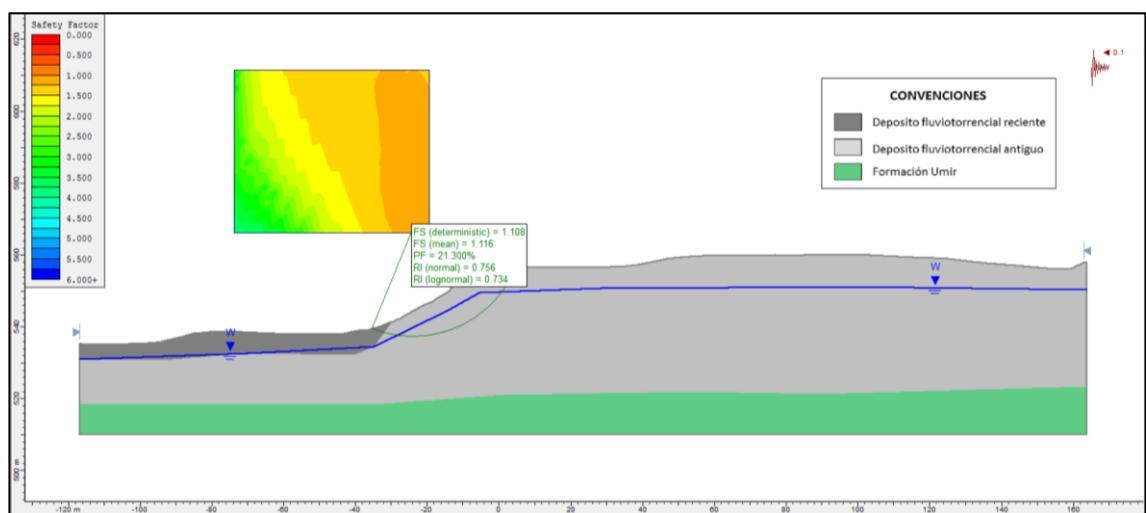
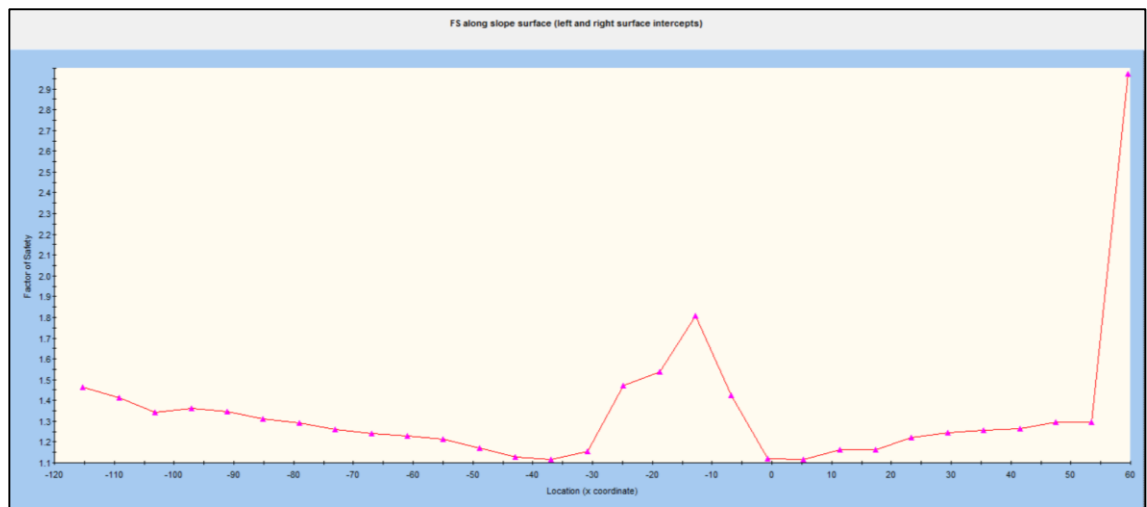


Figura 54. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.



Según los resultados obtenidos y mostrados en las figuras 53 y 54, se puede concluir que sobre el perfil 3, en entornos naturales sin ser intervenido con la construcción de la urbanización Yariguies III, para condiciones pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático; el terreno presenta un FS de 1.108 a lo largo de la superficie de falla.

Figura 55. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.

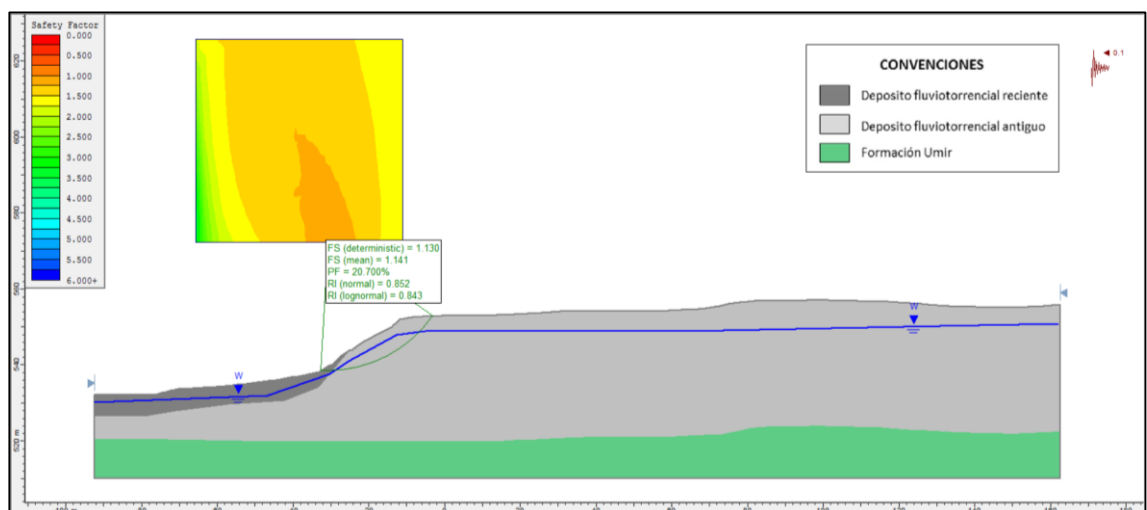
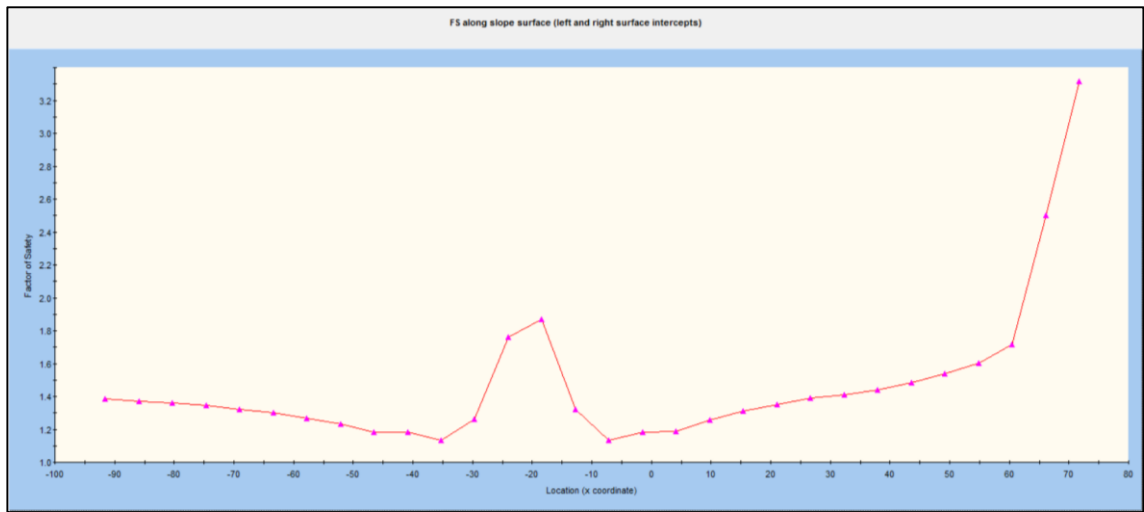


Figura 56. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 2. Realizado en SLIDE V 5.0.



De acuerdo a las figuras 55 y 56, se tiene que sobre el perfil 3, en entornos naturales sin ser intervenido con la construcción de la urbanización Yariguies III, para condiciones pseudoestáticas (0.1g) y aumento nivel freático; el terreno presenta un FS de 1.130 a lo largo de la superficie de falla.

Tabla 25. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 2.

ESCENARIO 2								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF
BISHOP SIM.	2.386	0.00%	1.137	17.30%	1.108	21.30%	1.130	20.70%
JANBU SIM.	2.226	0.00%	1.021	41.00%	0.983	52.60%	1.050	32.40%
SPENCER	2.386	0.00%	1.144	15.20%	1.138	16.20%	1.140	17.10%
MORGANSTERN - PRICE	2.389	0.00%	1.146	15.60%	1.116	20.30%	1.135	18.00%

Luego de establecer un escenario crítico, se obtiene que para una condición sísmica, de acuerdo a la norma NSR-10 para el municipio de San Vicente de Chucurí, y asumiendo un aumento del nivel freático, los factores de seguridad disminuyen considerablemente con respecto a los factores de seguridad en condiciones estáticas o normales del escenario 1.

11.6.3 Resultados de la estabilidad escenario 3. Finalmente se evalúa el terreno intervenido por la implantación urbanística en zonas aptas para construir, con las obras de mitigación y prevención requeridas para general margen de seguridad aceptable. La propuesta consiste implantando baterías de drenes de penetración sub-horizontal sobre el escarpe para extraer los niveles freáticos con el fin de incrementar los esfuerzos efectivos dentro de la masa de suelo y conducir las aguas superficiales por medio de cunetas flexibles en saco suelo cemento para evitar que se infiltren al sub-suelo.

Figura 57. Modelo de estabilidad del perfil 1 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.

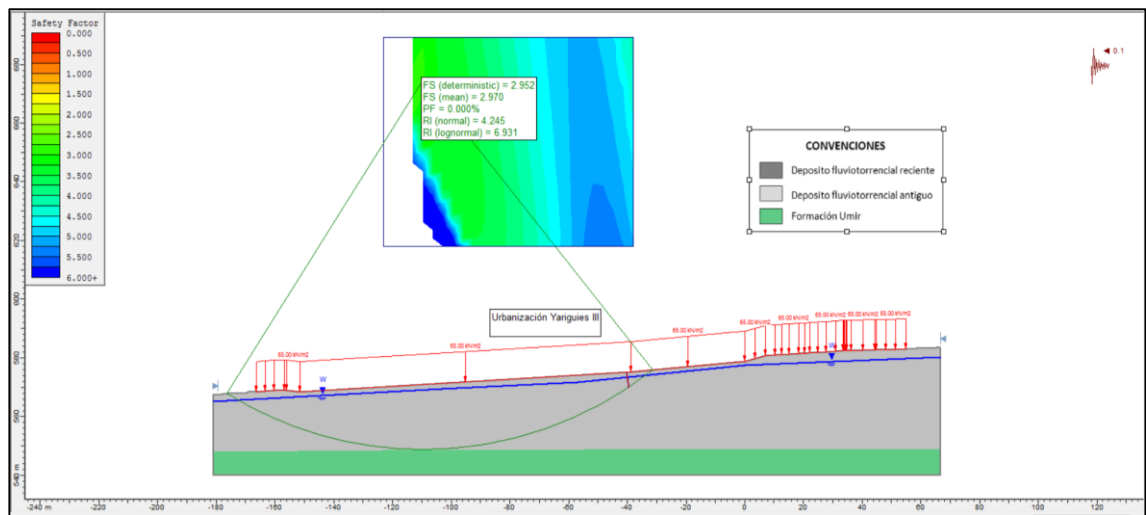
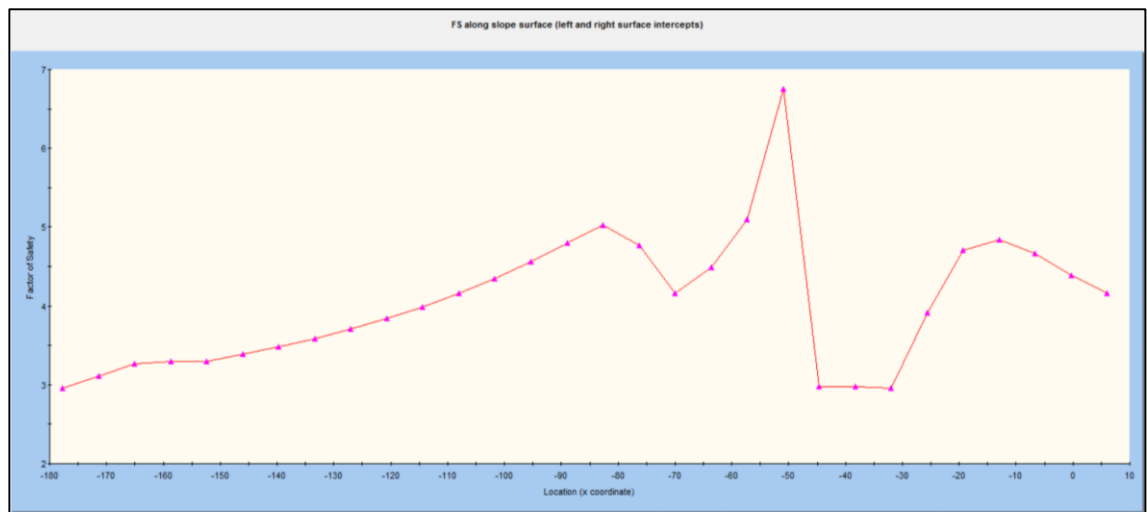


Figura 58. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 1 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.



De acuerdo a las figuras 57 y 58, se encontró que sobre el perfil 1, para condiciones pseudoestáticas (0.1g), el aumento nivel freático y la intervención de la urbanización Yarigües III y las respectivas obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención, el talud presenta un FS de 2.952 a lo largo de la superficie de falla, que resulta ser mayor al que se obtuvo en el escenario 2 sin ningún tipo de obras; y que permite la dar cumplimiento a los valores establecidos por NSR-10 (Tabla 23), como un FS estable.

Figura 59. Modelo de estabilidad del perfil 2 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.

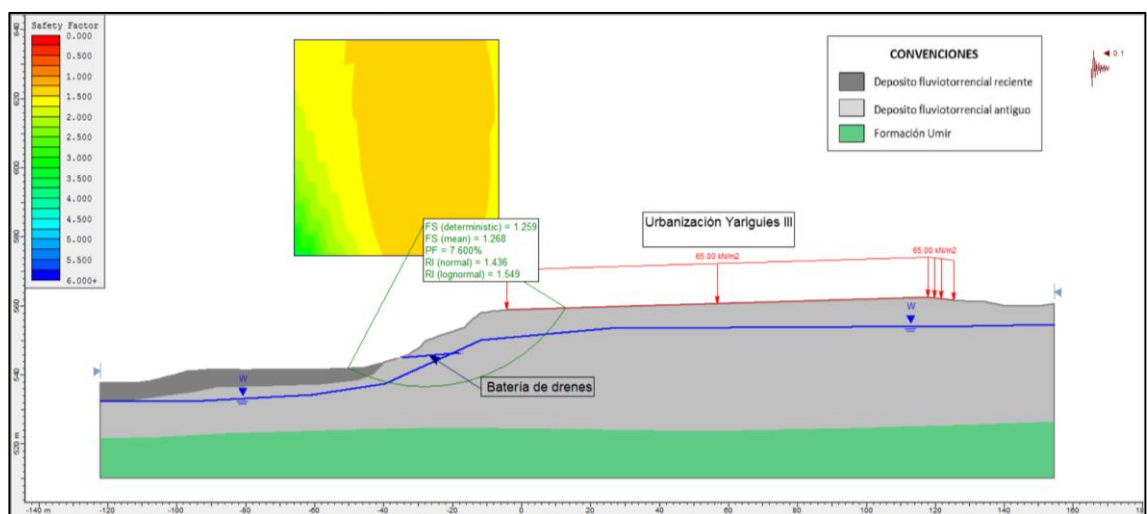
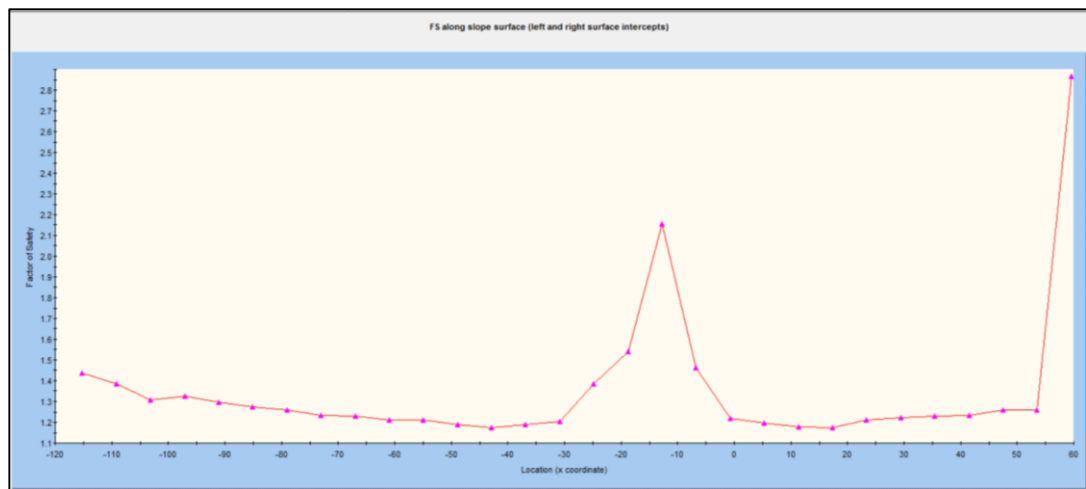


Figura 62. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 3 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.



De las figuras 61 y 62 mostradas anteriormente, se tiene que sobre el perfil 3, para condiciones pseudoestáticas (0.1g), el aumento nivel freático y la intervención de la urbanización Yariguies III y las respectivas obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención, el talud presenta un FS de 1.158 a lo largo de la superficie de falla, que resulta ser mayor al que se obtuvo en el escenario 2 sin ningún tipo de obras; y que permite la dar cumplimiento a los valores establecidos por NSR-10 (Tabla 23), como un FS estable.

Figura 63. Modelo de estabilidad del perfil 4 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.

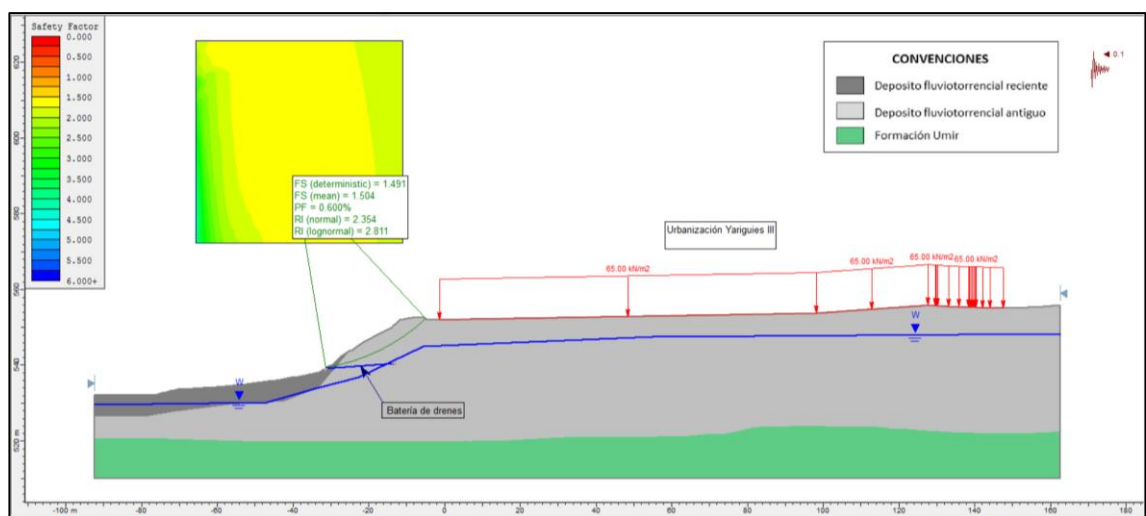
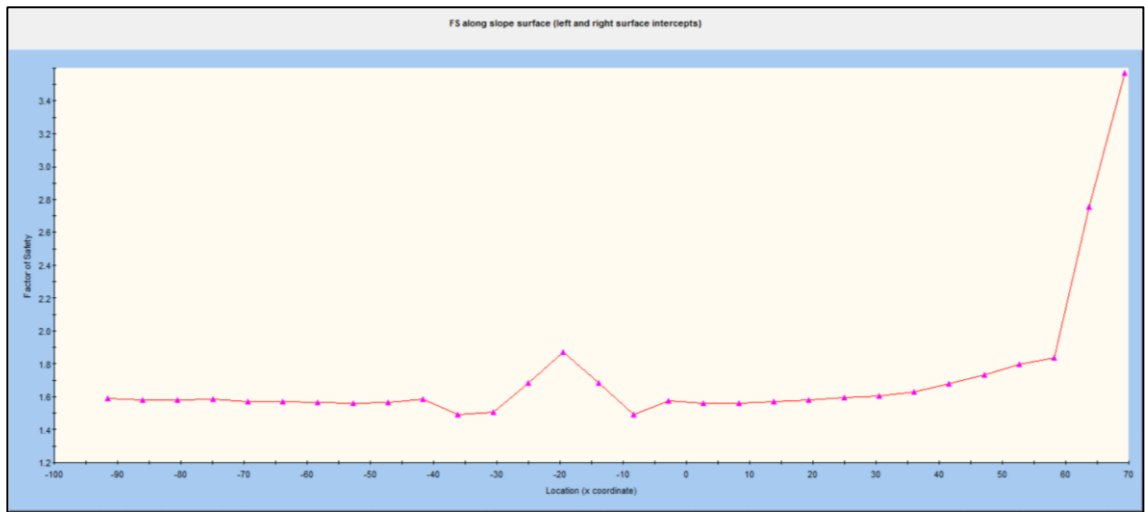


Figura 64. Factor de seguridad a lo largo de la superficie del perfil 4 bajo condiciones del escenario 3. Realizado en SLIDE V 5.0.



Según los resultados obtenidos en las figuras 63 y 64, se tiene que sobre el perfil 3, para condiciones pseudoestáticas (0.1g), el aumento nivel freático y la intervención de la urbanización Yariguies III y las respectivas obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención, el talud presenta un FS de 1.491 a lo largo de la superficie de falla, que resulta ser mayor al que se obtuvo en el escenario 2 sin ningún tipo de obras; y que permite la dar cumplimiento a los valores establecidos por NSR-10 (Tabla 23), como un FS estable.

Tabla 26. Resumen de los factores de seguridad del Escenario 3.

ESCENARIO 3								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF	F.S	PF
BISHOP SIM.	2.651	0.00%	1.298	5.70%	1.246	8.50%	1.488	0.50%
JANBU SIM.	2.472	0.00%	1.135	19.70%	1.102	20.66%	1.338	2.10%
SPENCER	2.652	0.00%	1.30	4.80%	1.262	6.40%	1.486	0.40%
MORGANSTERN - PRICE	2.657	0.00%	1.30	5.30%	1.249	8.30%	1.488	0.50%

Los factores de seguridad obtenidos a partir del modelo geológico-geotécnico son aceptables debido a que se encuentran por encima del mínimo permisible según la norma NSR-10 siendo este de 1.2 (pseudoestático) encontrándose en

amenaza baja por fenómenos de movimientos en masa garantizando la estabilidad general. A continuación se mencionan las recomendaciones pertinentes:

- Batería de drenes de penetración sub-horizontal, ubicados sobre la ladera adyacente a la zona a urbanizar.
- Cunetas flexibles en saco suelo cemento
- Se recomienda que la superficie a urbanizar tenga una inclinación mínima del 2% que escurran las aguas hacia la parte Norte y Oeste del predio, captando las aguas por medio de la cuneta flexible en saco suelo-cemento ubicada en la corona de la ladera.
- Se recomienda dejar un aislamiento de las estructuras de mínimo 15 metros desde la cabeza del talud.

12 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

De acuerdo a la ley 1523 de 2012, define la Amenaza como el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.

En este capítulo se presenta el trabajo realizado para determinar la amenaza por fenómenos de movimientos en masa, implementándose metodologías determinísticas que consisten en la modelación geológica geotécnica de la zona de estudio con parámetros únicos obtenidos de los ensayos de laboratorio, para la determinación de la amenaza, se sectorizan los factores de seguridad obtenidos de acuerdo a la categorización de la amenaza.

12.1 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA.

De acuerdo a la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10. Se define en el capítulo H los factores de seguridad mínimos para garantizar la estabilidad de laderas, que son función del tipo de modelamiento y las cargas asumidas. En el presente documento se puede observar que se asume un escenario crítico de ascenso máximo de nivel freático y carga pseudoestática, que se asume como 2/3 de la aceleración pico horizontal que se encuentra sectorizada en esta misma norma en el título A.

A partir de los diferentes escenarios planteados y de sus respectivos modelos de estabilidad, y según en concordancia con lo establecido en la NSR-10, se realiza la zonificación de la amenaza de la siguiente forma:

Tabla 27. Categorización de la amenaza.

CATEGORIA	DESCRIPCIÓN	FS Pseudoestático	FS Estático
AMENAZA BAJA	Son terrenos geológicamente estables, donde las amenazas por fenómenos de movimientos en masa son mínimas o no existen.	FS>1.2	FS>1.5
AMENAZA MEDIA	Pertenece a terrenos clasificados como relativamente inestables, en los cuales, para adelantar la construcción de obras urbanísticas, es necesaria la ejecución previa de trabajos que preserven su estabilidad p se establezcan condiciones para el manejo del terreno, orientados a conservar o mejorar su estabilidad natural.	1.05<FS<1.2	1.2<FS<1.5
AMENAZA ALTA	Esta clasificación pertenece a terrenos clasificados como inestables, sobre los cuales no se debe adelantar ninguna obra de construcción, debido a que presentan riesgos muy altos para la vida y bienes de la comunidad, además su recuperación resulta ser muy compleja o demasiada costosa. Estas áreas se deben destinar a zonas verdes, reforestación o tratamientos especiales a largo plazo.	FS<1.05	FS<1.2

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

Además se consultó la Resolución 227 de 2006, para la definición de la categorización de la amenaza.

Tabla 28. Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS. Para escenario estático.

CATEGORÍA DE AMENAZA	CONDICIÓN EXTREMA
AMENAZA ALTA	F.S. < 1.2
AMENAZA MEDIA	1.2 < F.S. < 1.5
AMENAZA BAJA	F.S.>1.5

Fuente: Resolución 227 de 2006.

Tabla 29. Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS para escenario pseudoestático.

CATEGORÍA DE AMENAZA	CONDICIÓN EXTREMA
AMENAZA ALTA	F.S. < 1.05
AMENAZA MEDIA	1.05 < F.S. < 1.2
AMENAZA BAJA	F.S.>1.2

Fuente: Resolución 227 de 2006.

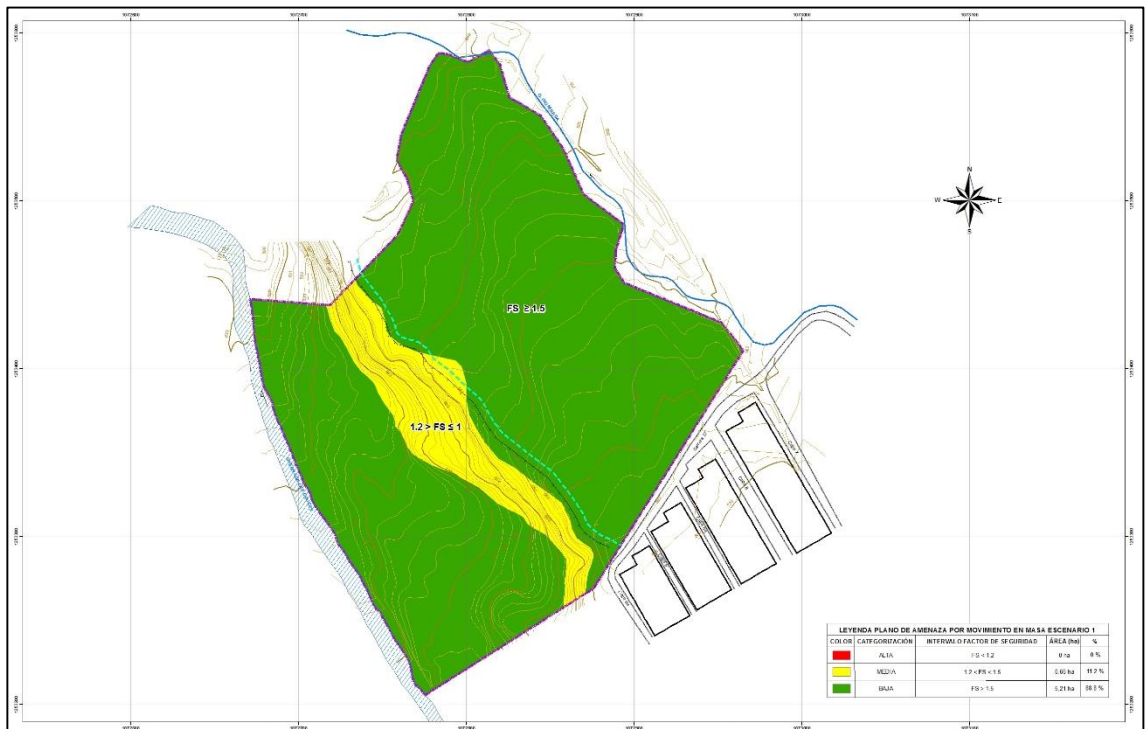
12.2 RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 1.

A partir del modelamiento de estabilidad en condiciones estáticas, para el terreno en estado actual sin intervención del proyecto, se obtienen los resultados del nivel de amenaza para el escenario 1, y exponiendo el siguiente mapa:

Tabla 30. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 1.

ESCENARIO 1								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	5.704	Baja	1.570	Baja	1.379	Media	1.464	Media
JANBU SIM.	5.294	Baja	1.431	Media	1.243	Media	1.379	Media
SPENCER	5.704	Baja	1.571	Baja	1.395	Media	1.466	Media
MORGANSTER N - PRICE	5.704	Baja	1.569	Baja	1.382	Media	1.469	Media

Figura 65. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 1 (Anexo F).



LEYENDA PLANO DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA ESCENARIO 1				
COLOR	CATEGORIZACIÓN	INTERVALO FACTOR DE SEGURIDAD	ÁREA (ha)	%
	ALTA	$FS < 1.2$	0 ha	0 %
	MEDIA	$1.2 < FS < 1.5$	0.66 ha	11.2 %
	BAJA	$FS > 1.5$	5.21 ha	88.8 %

Del plano de amenaza para el escenario 1 cabe resaltar que en la parte alta del predio en donde se propone urbanizar se encuentra en amenaza baja ya que el terreno es semi-plano, recomendando explanarlo por lo menos 1.5 metros, donde se identifica estrato de suelo competente para cimentar las estructuras.

Sobre el escarpe se observa amenaza media debido a la fuerte pendiente que presenta la geomorfología del terreno, aproximadamente.

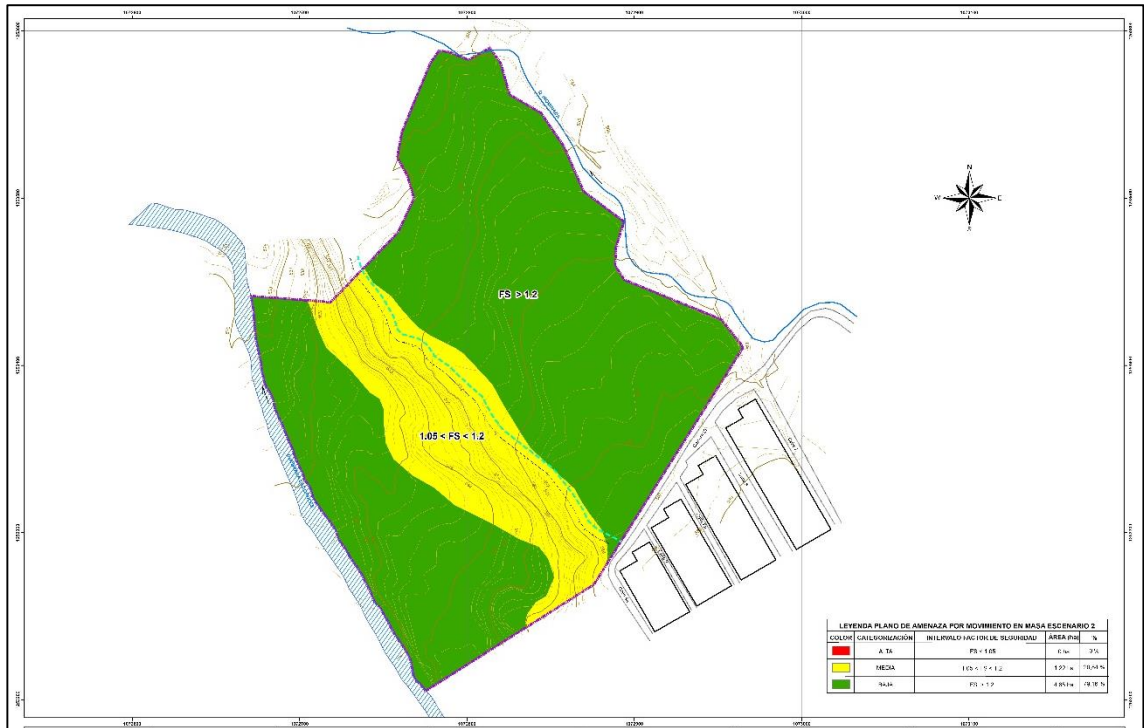
12.3 RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 2.




Teniendo en cuenta la carga sísmica pseudoestática que se encuentra definida por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10 para el municipio de San Vicente de Chucuri dentro del departamento de Santander, en los modelos de estabilidad por movimiento en masa, se identificó el siguiente mapa de amenaza escenario 2:

Tabla 31. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 2.

ESCENARIO 2								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	2.386	Baja	1.137	Media	1.108	Media	1.130	Media
JANBU SIM.	2.226	Baja	1.021	Alta	0.983	Alta	1.050	Alta
SPENCER	2.386	Baja	1.144	Media	1.138	Media	1.140	Media
MORGANSTER N - PRICE	2.389	Baja	1.146	Media	1.116	Media	1.135	Media

Figura 66. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 2 (Anexo G).



LEYENDA PLANO DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA ESCENARIO 2				
COLOR	CATEGORIZACIÓN	INTERVALO FACTOR DE SEGURIDAD	ÁREA (ha)	%
	ALTA	FS < 1.05	0 ha	0 %
	MEDIA	1.05 < FS < 1.2	1,22 ha	20,84 %
	BAJA	FS > 1.2	4,65 ha	79,16 %

A partir de estos resultados se evidencia el aumento del área de inestabilidad por amenaza media, sobre todo el escarpe o zona de alta pendiente, que se ubica al costado Oeste del sector a urbanizar.

Por lo tanto, se recomienda ejecutar obras de mitigación y control de erosión, con el fin de reducir el nivel de amenaza presente en la zona para implantar las estructuras del proyecto sin problemas.

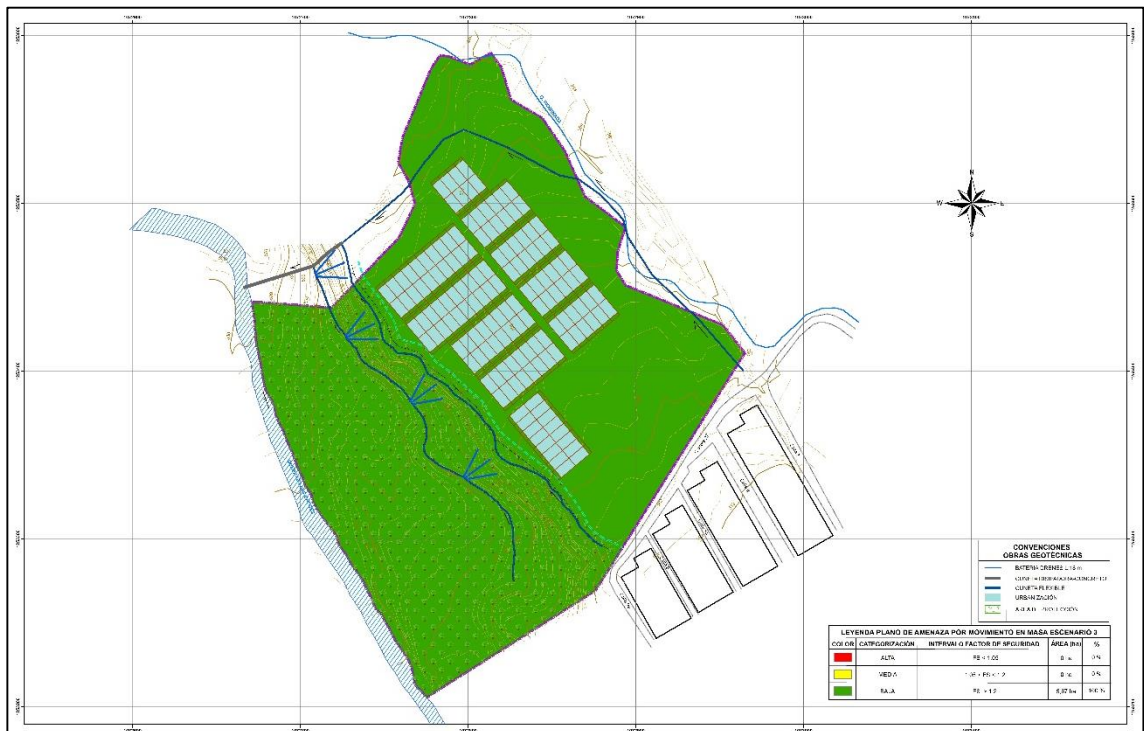
12.4 RESULTADOS DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCENARIO 3.




A continuación se muestra el plano de amenazas para el escenario 3, correspondiente al terreno intervenido con obras geotécnicas de mitigación + las cargas que generan las estructuras, para condiciones de sismo pseudoestáticas (0.1g) y aumento del nivel freático.

Tabla 32. Categorización de la Amenaza por movimientos en masa de acuerdo a los factores de seguridad del Escenario 3.

ESCENARIO 3								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	2.651	Baja	1.298	Baja	1.246	Baja	1.488	Baja
JANBU SIM.	2.472	Baja	1.135	Baja	1.102	Baja	1.338	Baja
SPENCER	2.652	Baja	1.30	Baja	1.262	Baja	1.486	Baja
MORGANSTERN - PRICE	2.657	Baja	1.30	Baja	1.249	Baja	1.488	Baja

Figura 67. Mapa de amenaza por movimientos en masa escenario 3 (Anexo H).



LEYENDA PLANO DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA ESCENARIO 2				
COLOR	CATEGORIZACIÓN	INTERVALO FACTOR DE SEGURIDAD	ÁREA (ha)	%
	ALTA	$FS < 1.05$	0 ha	0 %
	MEDIA	$1.05 < FS < 1.2$	1,22 ha	20,84 %
	BAJA	$FS > 1.2$	4,65 ha	79,16 %

De la anterior imagen se resalta que con las obras de estabilización, mitigación y prevención el predio se encontrará en un nivel de amenaza baja ante movimientos en masa, garantizando la integridad humana y la durabilidad de las estructuras, ya que los factores de seguridad están por encima de 1.2 (análisis pseudoestático).

13 CONCLUSIONES

El predio denominado Yariguies III, ubicado al NW de la cabecera municipal de San Vicente de Chucurí, se encuentra conformado por unidades cuaternarias correspondientes a Unidades Geológicas para Ingeniería a suelos transportados de origen fluviotorrenciales y, en menor proporción, a suelos transportados de origen aluviales, producto del transporte y depositación de sedimentos de la quebrada Las Cruces y demás drenajes del área.

Los suelos del depósito fluviotorrencial constan de una matriz de textura arenolodosa de colores grises a pardo-amarillentos y pardo-rojizos, la cual contiene en mayor proporción granos de arena de tamaños variados que van de arenas finas a muy gruesas con gránulos de fragmentos de cuarzo y líticos de formas que van de redondeadas a angulares, en menor proporción partículas tamaño arcilla y limo en cantidades variables. Esta matriz arenolodosa a su vez contiene embebidos de forma caótica clastos tamaño grava a bloque de hasta 5 m, con formas redondeadas a subredondeadas y algunas sub-angulares de rocas de diferente origen predominando las arenas finas a medias y gruesas ligeramente conglomeráticas y conglomeráticas.

Con ayuda de los resultados de la exploración geofísica realizada a partir a partir de dos líneas de refracción sísmicas, se puede concluir que los suelos transportados fluviotorrenciales, están en contacto inferido con la roca blanda de tipo limolitas de la Formación Umir y de que el suelo transportado fluviotorrencial presenta aproximadamente 15 m de espesor en el sitio de implantación de vivienda y se vuelve más espeso en dirección de la quebrada las cruces.

Sobre la superficie del nivel de terraza alto sitio donde se proyecta implantar la urbanización, existen pendientes planas a moderadamente inclinadas (0-11,25°) y en menor proporción empinadas (11,25-22,5°) siendo esta área apta para la construcción de vivienda.

La exploración de campo realizada para caracterizar el predio consistió en la dispersión y ejecución de nueve (9) sondeos SPT a percusión y nueve (9) apiques ubicados en zonas estratégicas para la toma de muestra inalterada, sobre las áreas a urbanizar.

Los sondeos ejecutados dentro de las áreas a urbanizar en el predio Yariguies III, fueron los sondeos 3, 5, 6, 8 y 9, en los cuales se observó, de acuerdo a los N (golpes/pie) que el estrato de suelo competente para cimentar estructuras de máximo 3 pisos, es a la profundidad de 2 metros contados a partir del terreno natural.

Los sondeos # 1, 2 y 7, se ejecutaron sobre la ladera adyacente a la quebrada las cruces, para caracterizar los suelos superficiales para el posterior análisis de estabilidad geotécnica.

A partir de los resultados ensayo de clasificación granulométrica, se observa que el material predominante sobre todos los puntos de extracción de muestra de suelo, es de arenas, clasificándose de acuerdo a la plasticidad encontrada, como arenas arcillosas (SC) y arenas limosas (SM).

De acuerdo a los valores promedios generales de las muestras totales analizadas de la exploración geotécnica, se identifican promedios generales de 60.34% de arenas (materiales friccionantes) y valores promedios generales de finos del orden de 36 %.

Se evidenciaron límites líquidos entre 16.62% y 26.59%, límites plásticos entre 11.03% y 21.37% e índices de plasticidad entre 0.78% y 8.47%, que representan materiales con plasticidad baja a media.

Para la determinación de los modelos, se establecieron escenarios críticos, que contemplan el ascenso del nivel freático y una carga sísmica pseudoestática que

se encuentra definida por la Norma sismo Resistente Colombiana NSR-10 para el municipio de San Vicente de Chucurí dentro del departamento de Santander. Los escenarios empleados se definen a continuación para sus respectivos análisis mediante metodología determinística:

- Escenario 1. Terreno en condiciones naturales sin ser intervenido por la urbanización, para el análisis estático y aumento nivel freático.
- Escenario 2. Terreno en condiciones naturales sin ser intervenido por la urbanización, para el análisis pseudoestáticas y aumento nivel freático.
- Escenario 3. Terreno intervenido con las respectivas obras geotécnicas de estabilización, mitigación y prevención + implantación urbanística, para condiciones pseudoestáticas y aumento nivel freático.

Resultados de la estabilidad: Escenario 1 (estático)

Los resultados del análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite, donde de acuerdo a lo estipulado en la norma NSR-10, los factores de seguridad obtenidos categorizan el terreno a urbanizar como amenaza baja por movimientos en masa para condiciones estáticas, con factores de seguridad por encima de 1.5. Pero en donde se encuentra ubicado el talud, se presenta amenaza media por movimientos en masa debido a que los resultados del factor de seguridad se encuentran entre 1.2 y 1.5 para condiciones estáticas.

ESCENARIO 1								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	5.704	Baja	1.570	Baja	1.379	Media	1.464	Media
JANBU SIM.	5.294	Baja	1.431	Media	1.243	Media	1.379	Media
SPENCER	5.704	Baja	1.571	Baja	1.395	Media	1.466	Media
MORGANSTER N - PRICE	5.704	Baja	1.569	Baja	1.382	Media	1.469	Media

Resultados de la estabilidad: Escenario 2 (Pseudoestático)

Luego de establecer un escenario crítico, se obtiene que para una condición sísmica de acuerdo a la norma NSR-10 para el municipio de San Vicente de Chucuri y asumiendo un aumento del nivel freático, los factores de seguridad disminuyen considerablemente con respecto a los factores de seguridad en condiciones estáticas o normales, catalogando de esta manera el área del predio como amenaza media por movimientos en masa, aumentando el área de amenaza sobre todo el escarpe de la ladera adyacente al área a urbanizar, exigiéndose implementar medidas de mitigación.

Las superficies de falla se encuentran sobre la ladera de aproximadamente 20 metros de altura, debido a las pendientes pronunciadas.

ESCENARIO 2								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	2.386	Baja	1.137	Media	1.108	Media	1.130	Media
JANBU SIM.	2.226	Baja	1.021	Alta	0.983	Alta	1.050	Alta
SPENCER	2.386	Baja	1.144	Media	1.138	Media	1.140	Media
MORGANSTER N - PRICE	2.389	Baja	1.146	Media	1.116	Media	1.135	Media

Resultados de la estabilidad: Escenario 3 (Pseudoestáticas y obras)

Finalmente se evalúa el terreno intervenido por la implantación urbanística en zonas aptas para construir, con las obras de mitigación y prevención requeridas para general margen de seguridad aceptable. La propuesta consiste en baterías de drenes de penetración sub-horizontal sobre el escarpe para extraer los niveles freáticos con el fin de incrementar los esfuerzos efectivos dentro de la masa de suelo y conducir las aguas superficiales por medio de cunetas flexibles en saco suelo cemento para evitar que se infiltren al sub-suelo. Con la implementación de dichas obras, se encontrará en un nivel de amenaza baja ante movimientos en masa, garantizando la integridad humana y la durabilidad de las estructuras,

ya que los factores de seguridad están por encima de 1.2 (análisis pseudoestático).

ESCENARIO 3								
MÉTODO	PERFIL No. 1		PERFIL No. 2		PERFIL No. 3		PERFIL No. 4	
	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza	F.S	Amenaza
BISHOP SIM.	2.651	Baja	1.298	Baja	1.246	Baja	1.488	Baja
JANBU SIM.	2.472	Baja	1.135	Baja	1.102	Baja	1.338	Baja
SPENCER	2.652	Baja	1.30	Baja	1.262	Baja	1.486	Baja
MORGANSTER N - PRICE	2.657	Baja	1.30	Baja	1.249	Baja	1.488	Baja

En el área de estudio no se identificaron procesos morfodinámicos activos pero cabe resaltar que estos se pueden generar sobre las laderas pronunciadas que las conforman los escarpes de terraza, por ello se recomienda dejar un aislamiento a borde de esta corona de talud de mínimo 15 metros y plantear obras que impidan el desarrollo de inestabilidades sobre el terreno.

Respecto al drenaje que discurre al margen Noreste del predio se considera que se debe respetar su ronda hídrica de 30 metros de aislamiento, ya que la quebrada en épocas de lluvia podría desestabilizar el terreno.

Se recomienda la explanación de la zona a urbanizar, excavando aproximadamente 1.5 metros de suelo, para garantizar la resistencia del suelo de apoyo de la cimentación, ya que los primeros metros de suelo presentan una consistencia baja de acuerdo a los resultados de los N (golpes/pie).

Se debe garantizar una pendiente mínima del 2% para el escurrimiento del agua esorrentía, dicha inclinación debe realizarse hasta el costado Norte y el costado Oeste del predio, recolectando las aguas superficiales mediante cunetas para transportar las aguas hacia la quebrada las cruces.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERDING, H. Applications of principles of wrench-fault tectonics of Moody and Hill to northern South-America. Bulletin of the Geological Society of America, 1957, vol 68, p. 785-790.

ANH, Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, boundaries and petroleum geology, a New Proposal. Bogotá D.C: Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2007.

BARRERO, D., et al. Colombian sedimentary basins: nomenclature, boundaries and petroleum geology, a new proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Edited and compiled by: ANH and B&M Exploration Ltda. Bogotá. 2007.

BOINET, T., BOURGOIS, J., y MENDOZA, H. Tectónica de sobrecorrimiento y sus implicaciones estructurales en el área Pamplona-Cordillera Oriental de Colombia. En: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 1985, vol 15, no 29, p. 81-97.

BOINET, T., BOURGOIS, J. y MENDOZA, H. La Falla de Bucaramanga (Colombia), su función durante la Orogenia Andina. Geología Norandina, 1989, vol 11, p. 3-10.

BÜRL, H. El Cretáceo inferior en los alrededores de Villa de Leyva (Boyacá). En: Boletín Geológico. Instituto Geológico Nacional, 1954, vol 2, no 1, p. 23 – 48.

CABALLERO, V., PARRA, M. y MORA, A. Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío – Oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de Nuevo Mundo, cuenca Valle Medio del Magdalena. Boletín de Geología. Enero-Junio, 2010, vol. 32, no 1., p. 45-77.

CAMPBELL, C.J. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional

setting. Transactions of the Fourth Caribbean Geological Conference. Trinidad. 1965. Memoir: 247-261.

CASADIEGOS, E. et al. Caracterización de la continuidad lateral y vertical de las areniscas continentales: Caso de la Formación Mugrosa en el Campo Llanito. En: Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. Julio-diciembre, 2010, vol. 32, no 2. p. 13 – 27.

CEDIEL, F. El Grupo Girón, una molasa mesozoica de la Cordillera Oriental. Servicio Geológico Nacional. En: Boletín Geológico, 16 (1-3). 1968. p. 5-96. Bogotá.

CEDIEL, F. SHAW, R. Y CÁCERES, C. Tectonic Assembly of the Northern Andean Block. En: AAPG Memoir. no 79. 2003. p 815-848.

CLAVIJO, J. Secuencia facial de la Formación Los Santos por la Quebrada Piedra Azul: Registro de una hoya fluvial evanescente. Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo IV. 1985. p. 1-18.

CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado de Norte de Santander. Escala 1:250.000. Mapa interno. Bucaramanga. 1994a. INGEOMINAS.

CLAVIJO, J., MENDOZA, H., ROYERO, J.M., BERNAL, L., Y REYES, G. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Bucaramanga. INGEOMINAS. Documento interno. 1993. p. 99.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1523 (24, abril, 2012). Por la cual se adopta la política de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2012, No. 48.411.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá D.C., 2010.

CUELLAR, M. A., et al. Análisis estructural del segmento Bucaramanga del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar – Colombia. En: Boletín de Geología. Julio-diciembre, 2012, vol, 34, no 2, p. 73 – 101.

DE PORTA, J., et al., 1974. Lexique Stratigraphique International. Centre National Recherche Scientifique. Volume V. Amerique Latine, fascicule 4b, Colombie, p. 692. París.

DENGO, C. A. COVEY, M. C. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: Implications for Trap Styles and Regional Tectonic. En: American Association of Petroleum Geologists Bulletin. No 77. 1993. p. 1315-1337.

DIEDERIX, H. HERNÁNDEZ, C. TORRES, E. Y BOTERO, P. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, Neotectónicas y Paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. Proyecto Geo08-09, Subdirección de geología básica. 2008. Bogotá, Colombia.

DIEDERIX, H. HERNÁNDEZ, C. TORRES, E. OSORIO, J. Y BOTERO. P. Resultados preliminares del primer estudio paleosismológico a lo largo de la Falla de Bucaramanga. 2009. Colombia.

ETAYO, F. y RODRÍGUEZ, G.I. Edad de la Formación Los Santos. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo XXVI. 1985. p. 1-12.

ETAYO-SERNA, F. El sistema Cretáceo en la región de Villa de Leiva y zonas próximas: Geología Colombiana, 1968. vol 5, p. 5-74.

FABRE, A. Tectonique et génération d'hydrocarbures: un modèle de l'évolution de la Cordillère Orientale de Colombie et du Bassin de Llanos pendant le Crétacé et le Tertiaire. En: Archives des Sciences Genève. No 40. 1987. p. 145-190.

GANSSER, A. Ein Beitrag zur Geologie und Petrographie der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika). Schweizer. Mineralog. u. Petrog., Mitt. 1955, vol 35, no 2, p. 209-279.

HEDBERG, H. Cretaceous limestone as petroleum source rock in Northwestern, Venezuela, AAPG, 1931, vol. 15. no. 3, p. 229-247.

HETTNER, A. Die Kordillere von Bogotá, Gotha, Patermans Mitteil; 1892, p. 22 - 131 p. Ergänzungsheft.

HUBACH, E. Contribución a las unidades estratigráficas de Colombia. Instituto de Geología Nacional. 1957. Informe 1212, p. 166. Bogotá.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA y ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería e Ingeominas. 2001.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA. Leyenda nacional de cobertura de la tierra. Metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Bogotá: IDEAM. 2010.

JIMENEZ, G., et al. Variaciones en el estilo estructural relacionado con anisotropías del basamento en el Valle Medio del Magdalena. En: Ciencias de la Tierra. Abril-junio, 2016, vol.40 no.155.,p p. 312 – 319.

JULIVERT, M. La morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.). En: Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. 1958. vol. 1, p. 7-43.

JULIVERT, M. Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. En: Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. 1961. vol 6, p. 33-52.

JULIVERT, M. Colmbie. Lexique stratigraphique international. Preccambrian, Paleozoique et Mesozoique. 1968. vol. V. Fasc. 4^a, premiere partie, p. 651.

JULIVERT, M. y TÉLLEZ, N. Sobre la presencia de Fallas de edad precretácica y post-Girón (Jura-Triásico) en el flanco W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, UIS, 1961, vol 12, p. 5-17.

LANGENHEIM, R. L. Preliminary notes on plan fossils from Late Paleozoic and Early Mesozoic rocks in the Cordillera Oriental of Colombia. Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander. 1959. vol. 3, p. 51 – 53.

LAVERDE, F. La Formación Los Santos: Un depósito continental anterior al ingreso marino del Cretácico. Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales INGEOMINAS (16). Bogotá. Capítulo XX. 1985. p. 1-22.

LAVERDE, F. Y CLAVIJO, J. Análisis facial de la Formación Los Santos, según el corte de “Tu y Yo” (Zapatoca). Proyecto Cretácico. En: Publicaciones Geológicas Especiales, (16) Capítulo VI. 1985. p. 1 - 9.

LEIVA, O. MOYA, H. GONZALES, G. Y CARVAJAL, J. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D. C. 2012. p. 90.

LEÓN, L.A. Mapa Geológico del Departamento de Santander. Escala 1:800.000. En: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander. 1991, vol 20, no 35, p. 53-63.

OSORIO, D. A. Estratigrafía y deformación del Grupo Girón en el Anticlinorio de los Yariguies (“Anticlinal de los cobardes”) sectores Zapatoca y Río Lebrija. Universidad Industrial de Santander. 2016.

PACHECO, P. A., CARDONA, A. Y CORTÉS, F. Catacterización composicional y de capacidad de almacenamiento en muestras de superficie de las Formaciones Conejo y La Luna (Valle Medio del Magdalena y Cordillera Oriental): Implicaciones para la evaluación del shale gas cretácico en Colombia. En: Boletín de Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional de Colombia. Abril, 2015, vol 37, p. 45 – 53.

PARÍS, G., y SARRIA, A. Proyecto Geofísico del Nordeste Colombiano. Cali. INGEOMINAS. Informe interno, 1988, p.48.

PARIS, G. et al. Map and database of quaternary faults and folds in Colombia and its offshore regions. U.S Geological Survey, Open – file Report 00-0284. 2000.

PÉREZ, G., y VALENCIA, M. Evaluación geológica del Valle Medio del Magdalena.- Informe 588, Div. Explor. Depto. Geol., Ecopetrol, Bogotá. 1977.

POLSON, I.I., y HENAO, D. The Santa Marta Wrench fault, a rebuttal. - 4th Caribbean Geological Conference. Trinidad, Memoir, 1968, p. 263-266.

PONS, D. Etude paleobotanique et palynologique de la Formation Giron (jurassique moyencretace inferieur) dans la region de Lebrija, Departamento de Santander, Colombie. Nat. Savantes Brest. Sci. Jasc.1. 1982. p. 53-78.

PULIDO, O. Geología de las planchas 135, San Gil y 151, Charalá, Cuadrángulo I-12. Ingeominas. Boletín Geológico. 1979. Vol. 23, no. 2, p.69.

MANTILLA, L.C. et al. Memoria explicativa de la Plancha 85, Simití, Sur de los Departamentos de Bolívar y Cesar. INGEOMINAS. 2006b.

MOJICA, J. y FRANCO, R. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena.- Geología. Colombiana. 1990. vol. 17. pp. 41-64.

MOJICA, J. y VILLARROEL, C. Contribución al conocimiento de las unidades paleozóicas del área de Floresta (Cordillera Oriental Colombiana; Departamento de Boyacá) y en especial de la Formación Cucho. Geología Colombiana, 1984, vol. 13, p. 55 – 78.

MORALES, L. General geology and oil occurrence of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In: habitat of oil a Symposium. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 1958. p. 641-695.

MORENO, G. y SARMIENTO, G. Estratigrafía cuantitativa de las Formaciones Tablazo y Simití en las localidades de Sáchica (Boyacá) y Barichara – San Gil (Santander), Colombia. En: Geología Colombiana. 2002, vol 27, p. 51 – 76.

MORENO, C. J., et al. Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. Journal of South American Earth Sciences. 2011. vol 32, p. 246-263.

NAVAS, J. Estudio estratigráfico del Girón al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Boletín de Geología. No 12. 1968. p. 19-33.

REY, O., SIMO TONI, J. and LORENTE, M. A record of long and short term environmental and climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian–early Campanian), Venezuela. *Sedimentary Geology*, 2004, vol 170 (1-2), pp. 85-105.

ROLÓN, L., F. Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin-Colombia. Department of Geology and Geography, Morgantown, WV. 2004.

ROYERO, J.M. Geología de la Plancha 65, Tamalameque (Departamentos del Cesar y Bolívar). Memoria Explicativa. Bucaramanga. INGEOMINAS. 1994, p. 53.

ROYERO, J. Y CLAVIJO, J. Mapa geológico generalizado departamento de Santander. Memoria explicativa. Escala 1:400.000. Instituto de investigación e informática geocientífica, minero-ambiental y nuclear INGEOMINAS. Bogotá D.C. 2001. p. 91.

SANHUEZA, C. y RODRIGUEZ, L. Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. En: *Revista de la Construcción*. Chile. 2013, vol. 12 no.1., p. 17 – 29.

SARMIENTO, G., PUENTES, J. y SIERRA, C. Evolución geológica y estratigrafía del sector norte del Valle Medio del Magdalena. En: *Geología Norandina*. Agosto, 2015, vol. 12, p. 51 – 82.

SCHAMEL, S. Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia: Chapter 10. M 52: Active Margin Basins. 1991. p. 283-301.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo. Bogotá D.C., 2015.

TABOADA, A. et al. Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*. 2000. vol 19., p. 787-813.

TABORDA, B. The geology of the de Mares Concession in Geological Field Trips, Colombia. 1958 -1978: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. 1965. p. 119-159.

TORO, J. The termination of the Bucaramanga Fault in the Cordillera Oriental, Colombia, Master's Thesis, University of Arizona, Department of Geosciences, Tucson, 1990, p. 60.

TSCHANZ, C., JIMENO, A., y CRUZ, J. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Informe interno 1829. INGEOMINAS. Bogotá. Preliminary report, 1969, p. 288.

TSCHANZ, C., MARVIN, R., CRUZ, J., y MEHNERT, H. Geologic evolution of The Sierra Nevada de Santa Marta, North Eastern Colombia. *Bulletin Geological Society of America*, 1974, vol 85, no 2, p. 273-284.

UJUETA, G. La Falla Santa Marta – Bucaramanga no es una sola falla; son dos fallas diferentes: la Falla de Santa Marta y la Falla de Bucaramanga. *Geología Colombiana*, UNAL, 2003, vol 28, p. 133-153.

VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano continental y tectogénesis de los Andes Colombianos. *Inventario Geológico Nacional*. En: *Boletín Geológico*, 6 (1-3). 1958. p. 67-128.

VAN ZUIDAM, R. Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphical mapping. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. The Hague. The Netherlands: ITC, Smits Publishers. 1985. p. 442.

VARGAS, G., y NIÑO, A. Patrones de fracturamiento asociados a la Falla Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Tesis, 1992, p. 65.

VARNES, D. J. Slope movement types and processes. En R. L. Schuster & R. J. Krizek (eds.). Special Report 176: Landslides: analysis and control. Washington: Transportation Research Board, 1978. p. 11-33.

WARD, D., RICHARD, G., JAIME, C., Y HERNÁN, R. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona Departamento de Santander. Boletín Geológico. Vol 21. 1973. p. 1 – 3.

WHEELER, O. Reporto on the Palmira Series with Notes on Stratigraphy of the Umir, Lizama and la Paz Formation near the Eastern part of the Mares Concession. Int. Emp. Petr. 1929. (inérito).

ZAMARREÑO, I. M. Estudio petrográfico de las calizas de la Formación Rosablanca de la Región de la Mesa de los Santos. En: Boletín de Geología, 1963, vol 15, p. 5 – 34.