

ESTUDIO DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA URBANA Y  
EXPANSIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE CURITÍ

EDINSON ARMANDO REY RUÍZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2015

ESTUDIO DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA URBANA Y  
EXPANSIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE CURITÍ

EDINSON ARMANDO REY RUÍZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL  
TÍTULO GEÓLOGO

DIRECTOR  
EDWIN FERNANDO MENDOZA BELTRÁN  
GEOLOGO ESPECIALISTA EN SIG.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA

2015

## DEDICATORIA

*Dedico este logro al esfuerzo, compromiso y disciplina que demostró mi madre María Dolores Ruiz Rincón durante este largo camino, quien fue mi único apoyo y respaldo, para salir adelante en este trayecto y hacer de mí una mejor persona.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. quienes fueron los responsables directos de la financiación de este proyecto. De lo contrario no habría sido posible sacarlo adelante.

Al equipo de trabajo de la Escuela de Geología por su colaboración durante culminación de este proceso. Aunque para algunos fue tortuoso. De igual manera...Gracias!

A mis calificadores, Andrés Joaquín Valencia y Jorge Leonardo Chaparro, grandes personas, lo mejor para ellos.

A mi director Edwin Fernando Mendoza Beltrán quien confió en mí y me brindo su respaldo sin condición alguna,

Y finalmente agradecimientos a las personas que en último momento solucionaron mi situación haciendo uso de sus facultades. En especial, al señor que tomo mis documentos y salió caminando sin rumbo y en un momento se para y me dice: ...la cagamos, nos pasamos!.

Lo mejor para todos...

Gracias!

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	19
1. OBJETIVOS.....	21
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
2. ALCANCES DE LA CONSULTORIA .....	22
2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	22
2.1.1 Justificación .....	22
2.2 ALCANCE .....	23
2.3 METODOLOGÍA DE APLICADA A LA CONSULTORÍA.....	23
2.3.1 Fase de aprestamiento .....	24
2.3.2 Fase de campo .....	25
2.3.3 Fase de oficina.....	25
2.4 LOCALIZACIÓN.....	27
2.5 CLIMA.....	28
3. MARCO CONCEPTUAL TEORICO.....	30
3.1 TERMINOLOGIA .....	30
3.2 METODOS PARA EL ANALISIS DE AMENAZAS.....	33
3.2.1 Método Empírico.....	33
3.2.2 Método Cualitativo o Heurístico .....	34
3.2.3 Método Determinístico .....	34
3.2.4 Método Probabilístico:.....	35
3.2.5 Métodos Estocásticos .....	36
3.3 AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA .....	36
3.3.1 Evaluación de la amenaza por movimientos en masa .....	37
3.4 MARCO NORMATIVO .....	37

4. ACTUALIZACION DE LA CARTOGRAFIA .....	39
5. GEOLOGIA .....	43
5.1 METODOLOGÍA .....	43
5.2 UBICACION GEOLÓGICA.....	45
5.3 FISIOGRAFÍA .....	45
5.4 GEOLOGÍA REGIONAL.....	46
5.5 ESTRATIGRAFÍA .....	47
5.5.1 Jurásico.....	47
5.5.2 Cretácico.....	49
5.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	52
5.6.1 Provincia Tectónica Cordillera Oriental .....	52
5.6.2 Fallas .....	54
5.7 GEOLOGIA LOCAL .....	55
5.7.1 Perfil Estratigráfico .....	55
5.7.2 Factores Considerados en la Clasificación de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) .....	58
5.8 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS) .....	60
5.8.1 Unidades de Roca (R).....	62
5.8.2 Unidades de Suelo Residual (Sr).....	65
5.8.3 Unidades de suelo transportado .....	69
5.9 GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	71
5.9.2 Geoformas de Origen Fluvial .....	73
5.9.3 Geoformas de origen denudacional .....	75
5.9.4 Geoformas de Origen Antropogenico .....	80
6. PROCESOS EROSIVOS .....	84
6.1 EROSIÓN LAMINAR .....	84
6.2 EROSIÓN EN SURCOS .....	85
6.3 PROCESOS KÁRSTICOS .....	86
6.3.1 Disolución Tipo Rillen Lapiaz .....	86

7. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL.....	88
7.1 FALLAS PRINCIPALES.....	88
7.1.1 Falla Curití:.....	89
7.1.2 Falla Irapire:.....	89
7.2 FALLAS SECUNDARIAS.....	89
7.2.1 Falla la Cajonera:.....	89
7.2.2 Falla Peña Negra.....	89
7.3 BLOQUES ESTRUCTURALES.....	90
7.3.1 Bloque Irapire.....	91
7.3.2 Bloque Cuchicute.....	91
7.4 ANALISIS DE MACIZO ROCOSO SUELO URBANO DE CURITI.....	92
7.4.1 Areniscas de la Formación Tambor.....	92
7.4.2 Calizas de la Formación Rosablanca.....	106
8. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA GENERAL.....	112
8.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	112
8.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO.....	114
8.3 REGISTROS DE PERFORACIÓN SPT (sondeos a percusión).....	119
8.4 REGISTROS DE APIQUES.....	125
8.6 FASE DE LABORATORIO.....	126
8.6.1 Resultados Ensayos de granulometría, peso específico, humedad natural y límites de consistencia.....	127
8.6.2 Ensayos de Corte Directo.....	134
9. EVALUACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.....	136
9.1 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN....	136
10. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	138
10.1 METODO DE ANALISIS “EQUILIBRIO LIMITE Y TALUD INFINITO”.....	139
10.2 ESCENARIOS PROPUESTOS.....	139
10.3 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA.....	140

10.4 PERIODO DE RETORNO DE LAS AMENAZAS .....	142
10.6 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA.....	146
10.6.1 Resultados Amenaza Escenario 1 .....	147
11. CONCLUSIONES .....	152
BIBLIOGRAFIA .....	154
ANEXOS.....	155

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de Estudio de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo .....	24
Figura 2. .Localización del Municipio de Curití .....	27
Figura 3. Levantamiento topográfico. ....	40
Figura 4. Mapa de Cartografía Base e Imagen satelital del área de estudio .....	41
Figura 5. Metodología de Trabajo para el estudio Geológico .....	43
Figura 6. Fisiografía del Municipio de Curití .....	46
Figura 7. Geología Regional del Municipio de Curití.....	47
Figura 8. Columna Estratigráfica Generalizada del Municipio de Curití.....	51
Figura 9. Esquema estructural del departamento de Santander .....	53
Figura 10. Litología presente en el Casco Urbano del Municipio de Curití .....	56
Figura 11. Perfil Estratigráfico del Casco Urbano del Municipio de Curití.....	57
Figura 12. Unidades geológicas superficiales (ugs) .....	61
Figura 13. Areniscas de la Formación Tambor .....	63
Figura 14. Calizas de la Formación Rosablanca .....	65
Figura 15. Suelo Residual de la Formación Los Santos .....	67
Figura 16. Suelo Residual de la Formación Rosablanca .....	68
Figura 17. Suelo aluvial de Cauce activo en el Casco urbano del Municipio de Curití. ....	70
Figura 18. Suelo de Llenos Antrópicos en el Municipio de Curití .....	71
Figura 19. Unidades Geomorfológicas .....	72
Figura 20. Cauce activo en el Casco urbano del Municipio de Curití. ....	74
Figura 21. Cimas Anchas Ubicadas al SE del Casco urbano del municipio de Curití .....	76
Figura 22. Laderas Subhorizontales en el Municipio de Curití.....	77
Figura 23. Laderas muy inclinadas en el Municipio de Curití.....	78
Figura 24. Laderas moderadas en el Municipio de Curití.....	79
Figura 25. Llenos de Escombros en el casco urbano del Municipio de Curití.....	81

Figura 26. Obras de Ingeniería en el casco urbano del Municipio de Curití .....	82
Figura 27. Laderas Explanadas en el casco urbano del Municipio de Curití .....	83
Figura 28. Erosión Laminar en el casco urbano del Municipio de Curití .....	85
Figura 29. Erosión en surcos sobre la zona de expansión del Municipio de Curití .....	86
Figura 30. Rillen Lapiaz en el casco urbano del Municipio de Curití .....	87
Figura 31. Fallas secundarias del Área de Estudio .....	88
Figura 32. Bloques estructurales en el área de estudio .....	90
Figura 33. Diagrama de Rosetas para el Bloque de Irapire .....	91
Figura 34. Diagrama de Rosetas para el Bloque Cuchicute .....	92
Figura 35. Familias de Diaclasas de las Areniscas de la Formación Tambor .....	93
Figura 36. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NE. ....	94
Figura 37. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NW .....	95
Figura 38. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (So) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NE.....	95
Figura 39. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (So) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NW.....	96
Figura 40. Resistencia de Compresión Uniaxial.....	103
Figura 41. Índice Geológico de Resistencia.....	104
Figura 42. Valor de mi.....	105
Figura 43. Clasificación de Hoek – Brown .....	106
Figura 44. Familias de Diaclasas de las Calizas de la Formación Rosablanca... ..	107
Figura 45. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3). ....	108
Figura 46. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (So) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3) .....	109
Figura 47. Tabla resumen de datos estructurales por zonas en el Municipio de Curití .....	110
Figura 48. Tabla resumen de la Geología estructural Local por zonas en el Municipio de Curití .....	111

Figura 49. Panorámica de Municipio Curití .....	113
Figura 50. Plano ubicación de sondeos SPT .....	115
Figura 51. Plano ubicación de Apiques. ....	117
Figura 52. Registró fotográfico sondeo 1 .....	120
Figura 53. Registro de sondeo SPT Tabla de N sondeo .....	121
Figura 54. Resumen N sondeos SPT zona 1 .....	122
Figura 55. Resumen N sondeos SPT zona 2 .....	123
Figura 56. Resumen N sondeos SPT zona 3 .....	124
Figura 57. Resumen N sondeos SPT zona 4 .....	125
Figura 58. Toma de apiques municipio del Curití. ....	126
Figura 59. Enfoque General de la Simulación de Monte Carlo .....	145
Figura 60. Resultados de amenaza por fenómenos de remoción en masa, método equilibrio limite. Perfil 1, escenario 1 .....	147
Figura 61. Resultados de amenaza por fenómenos de remoción en masa, método talud infinito. Perfil 2, escenario 1 .....	148
Figura 62. Plano de amenaza por movimientos en masa escenario 1.....	150

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Amenazas Naturales .....	31
Tabla 2	Marco Normativo .....	37
Tabla 3	Coordenadas aproximadas del Municipio de Curití .....	42
Tabla 4	Unidades Geológicas Superficiales (UGS) .....	61
Tabla 5	Unidades Geológicas Superficiales (UGS) .....	62
Tabla 6	Unidades Geológicas superficiales (UGS).....	66
Tabla 7	Unidades de Suelo Transportado .....	69
Tabla 8	Unidades Geomorfológicas .....	73
Tabla 9	Geoformas de origen denudacional.....	75
Tabla 10	Unidades Geomorfológicas de Origen Antropogénico.....	80
Tabla 11	Estimación de las Resistencias Medias de ciertas Rocas según Bieniawski, 1973 .....	97
Tabla 12	Clasificación de Deere (1967) del espaciamiento de las juntas.....	98
Tabla 13	Parámetros de Clasificación para Macizos Rocosos para la obtención del Índice RMR .....	100
Tabla 14	Clasificación de Macizos Rocosos según el Índice RMR .....	101
Tabla 15	Parámetros para la Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos .....	102
Tabla 16	Análisis de la Resistencia del Macizo usando RocLab.....	105
Tabla 17	Ubicación de los sondeos realizados. ....	115
Tabla 18	Ubicación de los Apiques realizados. ....	117
Tabla 19	Resumen Resultados sondeos ZONA 1.....	128
Tabla 20	Resumen Resultados sondeos ZONA 2.....	129
Tabla 21	Resumen Resultados sondeos ZONA 3.....	130
Tabla 22	Resumen Resultados sondeos ZONA 4.....	132
Tabla 23	Resumen Resultados sondeos ZONA 5.....	133
Tabla 24	Resultados de corte directo .....	134

Tabla 25	Resultados de corte directo .....	135
Tabla 26	Propiedades de los materiales .....	137
Tabla 27	Escenario Planteado .....	140
Tabla 28	Factores de seguridad básicos mínimos directos.....	140
Tabla 29	Categorización de la amenaza .....	141
Tabla 30	Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS. ....	142
Tabla 31	Resumen de factores de seguridad por diferentes métodos Perfil 1 Escenario 1 .....	147
Tabla 32	Resumen de factores de seguridad por diferentes métodos Perfil .....	148
Tabla 33	Resumen Factores de seguridad y probabilidad de falla para los 11 perfiles .....	149

## LISTA DE ANEXOS

<b><i>ANEXO A. GEOLOGIA</i></b> .....	<b><i>CD</i></b>
<b><i>ANEXO B. GEOTECNICO</i></b> .....	<b><i>CD</i></b>
<b><i>ANEXO C. CARTOGRAFIA</i></b> .....	<b><i>CD</i></b>

## RESUMEN

### **Título**

ESTUDIO DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA URBANA Y EXPANSIÓN URBANA DEL MUNICIPIO DE CURITÍ

### **AUTOR**

ÉDINSON ARMANDO REY RUIZ

### **Palabras claves**

Amenaza, remoción en masa, geología, curití.

### **DESCRIPCIÓN**

En la actualidad los fenómenos naturales representan un peligro latente que bien puede considerarse como una amenaza natural para el desarrollo socioeconómico del Municipio de Curití. Para el desarrollo de este trabajo se tuvo en cuenta el decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014, el cual contempla la implementación de estudios de gestión de riesgos en los planes de ordenamiento territorial (POT), por lo cual se desarrolló este estudio de amenaza por remoción en masa, en la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití como un estudio complementario al estudio de gestión de riesgo. Con este estudio se pretende identificar los sectores críticos afectados por movimientos en masa y sus factores detonantes dentro de la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití.

Para poder identificar estos sectores críticos y sus factores detonantes fue necesario realizar una fase de exploración geológica y geotécnica en donde se pudieron identificar las unidades geológicas superficiales, las unidades geomorfológicas y se recolectaron muestras de suelo semi inalteradas. Obtenida esta información de campo y las muestras se procedió a realizar la fase de laboratorio donde se obtuvieron las propiedades de los materiales y se relacionaron con la geología presente en el área de estudio para finalmente correr el modelo geológico – geotécnico y obtener factores de seguridad con su respectiva probabilidad de falla, de los sectores más críticos, utilizando el método de monte carlo, pudiendo así, categorizar la amenaza por movimientos en masa en la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití.

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad De Fisicoquímicas. Escuela De Geología. Director: Edwin Fernando Mendoza Beltrán

## ABSTRACT

### TITLE

STUDY OF THE THREATS BY MASS REMOVAL OF THE URBAN AREA AND URBAN EXPANSION OF THE MUNICIPALITY OF CURITÍ

### AUTHOR

ÉDINSON ARMANDO REY RUIZ

Threat, mass removal, geology, Curití.

### DESCRIPTION

At present the natural phenomena represent a latent danger that it may be considered as a natural threat to the socioeconomic development of the Municipality of Curití. For the development of this work it was considered the Decree 1807 of September 19, 2014, which includes the implementation of risk management studies in land use plans (POT), for which this study was developed about the threat by mass removal in urban areas and urban expansion areas of the Municipality of Curití as a complementary study to the study of risk management. This study aims to identify critical areas affected by mass removals and its trigger factors within the urban area and the urban expansion of the Municipality of Curití.

To identify these critical sectors and its trigger factors it was necessary to develop a phase of geological and geotechnical exploration where it could be identified the surface geological units, geomorphological units and there were collected semi undisturbed soil samples. Obtained this information from field samples it was proceeded to perform the laboratory stage where the properties of the materials were obtained and related to geology present in the study area to finally run the geological model - geotechnical and to get safety factors with their respective probability of failure, from the most critical sectors, using the monte carlo method and thus can categorize the threat by mass movements in the urban area and urban expansion area of the Municipality of Curití.

\* Work degree

\*\* Faculty of Physicochemical . School Of Geology . Director: Edwin Mendoza Fernando Beltrán

## INTRODUCCION

El Departamento de Santander ha sido uno de los departamentos del territorio nacional que se ha visto afectado por las olas invernales presentes en la última década afectando Municipios como Girón, San Vicente de Chucurí, Cimitarra, Barrancabermeja, Puerto Wilches y Capitanejo entre otros. La saturación de agua en el suelo, suministrada por las olas invernales, hace que este actué como un factor detonante dando origen a procesos de movimientos en masa e incrementando la lámina de agua en ríos y quebradas presentando desbordamientos e inundaciones.

Teniendo en cuenta que la amenaza por procesos naturales se encuentra latente en la mayoría de municipios del territorio santandereano y en el afán de realizar estudios por amenazas naturales que ayuden a comprender el comportamiento de los suelos y los cauces aluviales presentes en los municipios, para garantizar el bienestar de la comunidad, se ha podido identificar que la mayoría de estos municipios no cuentan con una base cartográfica tanto geológica como geomorfológica que pueda aportar información para el desarrollo de estos estudios que permitirán aminorar los riesgos por amenazas naturales presentes en estos.

Por tal razón se hace necesario desarrollar estudios por amenazas naturales con el objeto de conocer el comportamiento superficial del suelo y la susceptibilidad que este presenta teniendo en cuenta el entorno geológico, geomorfológico y topográfico entre otros. De igual manera, se consideraran los factores antrópicos que se encuentran directamente relacionados con el uso del suelo y las actividades socioeconómicas que en el tiempo reflejan el efecto causado sobre el terreno.

Es por esto que el estudio de amenazas naturales por remoción en masa realizado a la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití aportaran la información necesaria tanto en el componente geológico, geomorfológico y geotécnico de tal manera que se puedan identificar los sectores críticos, inestables o altamente susceptibles a procesos de remoción en masa teniendo en cuenta los factores detonantes como saturación de agua en el terreno y sismos.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir al conocimiento geológico, geomorfológico y de amenaza por remoción en masa de la zona urbana y en la zona de expansión urbana del Municipio de Curití.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Apoyar al equipo de topografía a realizar el levantamiento topográfico detallado a escala 1:2500 de la zona urbana y su zona de expansión urbana del Municipio de Curití y sus respectivos perfiles para la ejecución del análisis de estabilidad.
- Elaborar la cartografía de las unidades geológicas superficiales y las unidades geomorfológicas locales teniendo en cuenta la topografía realizada.
- Apoyar el proceso de la exploración geotécnica del casco urbano y sus zona de expansión urbana mediante la extracción de muestras de suelo semi inalteradas.
- Interpretar los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las diferentes muestras de suelo extraídas durante la exploración geotécnica para establecer una zonificación geotécnica.
- Realizar el análisis de estabilidad de las laderas modeladas con el escenario natural y un segundo escenario en condiciones pseudoestáticas.
- Identificar y caracterizar los factores detonantes de amenaza natural por remoción en masa (precipitación, sismicidad, erosión e intervención antrópica entre otros).

## **2. ALCANCES DEL PROYECTO**

### **2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Municipio de Curití no presenta estudios detallados de amenaza por remoción en masa lo que hace inexistente información en los componentes topográficos, geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y ambientales haciendo que este municipio se convierta en un elemento negativo ante el desarrollo de propuestas para el mejoramiento del mismo.

#### **2.1.1 JUSTIFICACIÓN**

Considerando el Decreto 1807 del 19 de Septiembre de 2014, el cual contempla la incorporación de estudios de gestión de riesgos en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) para los Municipios de Santander, se hace necesario la implementación del estudio de amenaza por remoción en masa en el Municipio de Curití, como un estudio complementario al estudio de gestión de riesgos, para determinar los sectores susceptibles a este tipo de fenómenos, principalmente en la zona urbana y la zona de expansión urbana donde se habilitara la construcción de viviendas de interés social y prioritarias que beneficiaran a la comunidad del Municipio de Curití. Por otra parte, el sector S de la zona urbana del Municipio de Curití se encuentra ubicada sobre rocas calcáreas que se disuelven de forma natural al contacto con el agua formando grandes cavernas que pueden ser afectadas por sismos debido a que este municipio se encuentra cerca al nido sísmico de Santander ubicado en la Mesa de Los Santos el cual puede ser un factor detonante para la acomodación de material y generar subsidencias en el suelo de este municipio.

## **2.2 ALCANCE**

Dentro del alcance del estudio de amenazas naturales por remoción en masa realizado a la zona urbana y su zona de expansión urbana del Municipio de Curití se encuentran las siguientes actividades:

Identificar y cartografiar las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) y las Unidades Geomorfológicas de la zona urbana y su zona de expansión urbana.

Identificar los mecanismos de falla y factores detonantes de acuerdo al estado de los materiales presentes observados en la fase de caracterización geológica.

Determinar los niveles de amenaza natural por remoción en masa mediante la probabilidad de falla obtenida de los modelos de estabilidad de taludes.

Entrega de documentos:

Plano del Levantamiento Topográfico

Plano de Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Plano de Unidades Geomorfológicas

Plano de Cobertura de Tierras

Plano de Amenaza por Remoción en Masa

## **2.3 METODOLOGÍA APLICADA**

Para desarrollar la presente consultoría se debe desarrollar la metodología para el estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo, el cual sirve de soporte al documento de Seguimiento.

Figura 1. Metodología de Estudio de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo



Fuente. ALICON & ING S.AS.

### 2.3.1 Fase de aprestamiento

Se desarrolló un proceso de recopilación general de estudios previos realizados para el área urbana del municipio, acudiendo a las diferentes entidades nacionales y departamentales mediante la ayuda de la búsqueda virtual, acudiéndose finalmente a la solicitud de información a la alcaldía del Municipio de Curití. Se realizó una visita de campo preliminar con el fin de identificar y delimitar el área de estudio, en esta visita se recibió en su mayoría la información digital solicitada a la alcaldía. Una vez determinado el área de estudio, se procedió a la revisión de los datos suministrados y se desarrolla un plan de exploración para adelantar la fase de campo y el desarrollo del estudio.

### **2.3.2 Fase de campo**

Para la fase de campo se enviaron tres comisiones de trabajo. La comisión topográfica con auxiliares de campo. La comisión Geotécnica compuesta por dos Ingenieros civiles, un laboratorista y cuatro auxiliares de campo. La comisión Geológica compuesta por dos geólogos y 2 auxiliares de campo.

### **2.3.3 Fase de oficina**

Una vez recopilada la información de aprestamiento y de campo, se procede a efectuar una fase de digitalización de la información recopilada, revisión de la información, generación de los modelos geológicos geotécnicos y finalmente la identificación de la amenaza por remoción en masa.

### **Planteamiento de la metodología de análisis**

Durante esta actividad se determinan las metodologías técnicas a aplicar para el análisis por fenómenos de movimientos en masa, estas metodologías deben ser acordes al comportamiento de la geología regional y local, al comportamiento geomecánico de los suelos entre otros parámetros. Actualmente se encuentran teorías de suelos y métodos de equilibrio límite para análisis de estabilidad de laderas. También es de suma importancia la utilización de software especializado para el análisis geotécnico de estabilidad, ya que este cálculo matemático implica de múltiples iteraciones para la identificación de la amenaza por fenómenos de movimientos en masa.

### **Formulación de los escenarios de evaluación**

Para la identificación de los riesgos por fenómenos de movimientos en masa, es indispensable contemplar los modelos geológicos geotécnicos en escenarios críticos, donde se tenga en cuenta los factores negativos que causan las fallas de laderas y se proyecten los escenarios más críticos posibles. Los principales detonantes de las fallas de laderas son: los ascensos del nivel freático, estos ascensos generan la saturación de los suelos, condición que disminuyen sus

propiedades geotécnicas al mínimo valor y se generan fuerzas actuantes superiores a las fuerzas resistentes; otro factor detonante de la falla de laderas, es la acción dinámica de los suelos, ocasionadas por vibraciones en el suelo, ya sean de origen antrópico (maquinas que generen vibraciones) o de origen natural (sismos), siendo más frecuentes las fallas por los sismos. Los modelos geológicos geotécnicos utilizados para el presente análisis, contemplan las dos condiciones críticas de manera simultáneas, siendo esta la condición más crítica para la estabilidad de la ladera.

### **Aplicación del modelo conceptual de análisis por movimientos en masa**

Para el análisis geotécnico de laderas, se desarrolló una identificación de las laderas con pendientes mayores a cinco grados ( $5^\circ$ ), para establecer las áreas susceptibles potencialmente a movimientos en masa, para determinar esta susceptibilidad, se utilizó un análisis multivariado de las variables físicas caracterizadas en campo, por medio de los reconocimientos de las unidades geológicas superficiales, la geomorfología, cobertura de tierras y las propiedades geotécnica de los materiales en campo y laboratorio.

### **Aplicación de un modelo geológico-geotécnico para el análisis de amenaza por movimientos en masa por medio de métodos determinísticos y probabilísticos al suelo urbano**

Una vez desarrollada las fases de campo, laboratorio y cartografía, se generaron las secciones trasversales de las laderas más críticas, se efectuó el perfil geológico, con los diferentes materiales en profundidad y con sus respectivas propiedades geotécnicas, para así establecer el modelo geológico geotécnico. Una vez analizados los modelos de estabilidad, se emplearon los factores de seguridad obtenidos para los análisis de amenaza por movimientos en masa tipo deslizamiento, mediante un modelo determinístico de acuerdo a la norma NSR 10, se define la categorización de la amenaza de acuerdo a los factores de seguridad

y a la probabilidad de falla mediante el método Monte Carlo, aplicándose la teoría de equilibrio límite.

## 2.4 LOCALIZACIÓN

**Figura 2.** Localización del Municipio de Curití



El Municipio se encuentra localizado geográficamente  $6^{\circ} 36' 36''$  latitud Norte y  $73^{\circ} 04' 18''$  longitud Oeste, ubicado al Centro Oriente del Departamento, enclavado en la Cordillera Oriental. El perímetro o zona urbana y sus respectivos límites fueron establecidos mediante acuerdo Municipal No. 008 del 22 de mayo de 1997.

El actual casco urbano tiene una extensión de 42,94 hectáreas, está constituido por 10 barrios, 56 manzanas, 801 casas y 110 lotes ubicados alrededor del parque central.

**Límites del municipio:**

Limita territorialmente por el norte con los Municipios de Molagavita, Cepitá, Aratocha y Jordán; al Sur con Mogotes y San Gil; al Occidente con Villanueva y Cabrera y al Oriente con Mogotes.

**Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar):** 1409 m.s.n.m.

**Distancia de referencia:** 90 km de Bucaramanga capital de Departamento de Santander

**Vías de comunicación:**

El acceso al Municipio se hace a través de la troncal central nacional Bucaramanga - Santa Fe de Bogotá, que atraviesa al Municipio de Curití de Norte a Sur. Esta vía se comunica con la cabecera municipal por medio de la carretera pavimentada denominada "El Ramal" (2.2 km). Las diferentes veredas del Municipio tienen vías carretales que permiten llegar a los diferentes sectores; algunas de estas vías confluyen a la troncal central nacional Bucaramanga - Bogotá y otras vías alternas al Municipio. Que en su totalidad se encuentran sin pavimento, manteniéndose en regular estado y de muy difícil tránsito en época de invierno.

**2.5 CLIMA**

La precipitación en el Municipio de Curití a lo largo del año no se distribuye uniformemente conformándose un período seco de Noviembre hasta mediados de Marzo a diferencia de otras zonas del departamento de Santander la precipitación mensual desde Abril hasta Octubre no observa una marcada diferencia, siendo más húmeda que la temporada de final y comienzo del año.

Los volúmenes de precipitación mensuales en porcentaje, tomando como base la estación curití N° 2 (2402013), que tiene un valor medio de 1497 milímetros al año, es el siguiente:

<b>Mes</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>%</b>	1.3	2.9	4.5	10.5	12.7	11.3	13.3	12.4	11.3	11.1	5.8	2.9

La distribución temporal de la precipitación a lo largo del año se origina por fenómenos convectivos locales que tienen su origen en el valle del Magdalena medio y por la influencia a escala nacional de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), que es una franja a donde llegan las corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de los grandes cinturones de alta presión, situados en la zona subtropical de los hemisferios norte y sur dando origen a la formación de grandes masas nubosas y abundantes precipitaciones. El desplazamiento de la ZCIT, sigue el movimiento aparente del Sol y lleva un retraso de uno a dos meses respecto a él; a comienzos del año se ubica cerca de los 6° de latitud sur sobre el continente y en Julio o Agosto se halla ligeramente al norte de las costas Colombianas.

En los procesos que determinan la precipitación en el Municipio de Curití influyen especialmente los sistemas conectivos de gran desarrollo vertical que se forman en el valle del Magdalena medio como consecuencia de la acumulación de humedad en el valle y su posterior ascenso debido a las altas temperaturas en la región. Estos sistemas hacen que una parte de la masa húmeda del Valle del Magdalena medio se desplace hacia el E en dirección del Municipio de Curití generando precipitaciones orográficas, las cuales se originan cuando estas masas húmedas chocan contra el flanco Oeste de la cordillera Oriental enfriándose, condensándose y posteriormente depositando parte de su humedad sobre dicho flanco.

### 3. MARCO TEORICO

A continuación se presentan los conceptos y definiciones generales que se adoptaron para el desarrollo del presente documento, con el fin de que se tomen como referencia.

Los conceptos básicos de este informe se toman con base en los autores que poseen el estado del arte y conocimiento en el ámbito de análisis de susceptibilidad.: Varnes (1984), Soeters y van Westen (1996), Hungr (2001 y 2005) y Fell et al. (2008), entre otros. La publicación de Varnes (1984), condensa los conceptos básicos sobre zonificación presentados por un Grupo de Trabajo de la Comisión de Deslizamientos de la International Association of Engineering Geology (IAEG).

#### 3.1 TERMINOLOGIA

Son variadas las definiciones que se encuentran en la literatura con respecto a evaluación de amenaza especialmente Fell, (2008) del que se considera el aporte más amplio al estado del arte en temas de movimientos en masa y análisis de susceptibilidad.

La sociedad internacional de mecánica de suelos e Ingeniería Geotécnica (ISSMGE), Recomiendan el siguiente glosario de términos:

- **Amenaza:** Es un tipo de evento, acción o hecho que puede producir un daño, provocado por un evento natural o antrópico, el cual puede llegar a causar pérdidas materiales y humanas.
- **Amenazas Naturales:** Se definen como aquellos elementos del ambiente biofísico que son peligrosos para el hombre y que están causados por fuerzas no antrópicas.

Tabla 1 Amenazas Naturales

TIPO SÍSMICO	TIPO VOLCÁNICO	OTRAS AMENAZAS GEOLÓGICAS
Fallas	Tefras	Avalanchas de Ripio
Temblores	Gases	Suelos Expansivos
Dispersiones Laterales	Flujos de Lava	Deslizamientos
Licuefacción	Corrientes de Fango	Desprendimientos de Roca
Tsunamis	Proyectiles y Explosiones Laterales	Deslizamientos Submarinos
Seiches	flujos Piroclásticas	Hundimiento de Tierra
TIPO ATMOSFÉRICO	TIPO HIDROLÓGICO	INCENDIOS
Granizo	Inundación	Matorrales
Huracanes	Desertificación	Bosques
Incendios	Salinización	Pastizales
Tornados	Sequia	Sabanas
Tormentas Tropicales	Erosión y Sedimentación	
	Desbordamientos de ríos	

Fuente: INGEOMINAS 2007

**Consecuencia:** Es la relación con el análisis de riesgo, es el resultado del análisis de peligrosidad que se ha realizado.

- **Exposición:** Se refiere a un área o región expuesta a un fenómeno amenazante, o a un elemento potencialmente sometido a él (vidas, estructuras).
- **Factores detonantes:** Son fenómenos o procesos, naturales o no, que actúan como detonador de una amenaza. Se consideran como agentes perturbadores del equilibrio del sistema analizado. Un ejemplo, las lluvias, que pueden como factor detonante de deslizamientos.
- **Flujo de Detritos:** Flujo rápido a extremadamente rápido de detritos saturados no plásticos en un canal inclinado. El índice de plasticidad es menor que el 5%.

- **Flujo de Lodo (mud flow):** Flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos plásticos saturados, en un canal con un contenido de humedad significativamente mayor al del material fuente.
- **Inundación de detritos (debris floods):** Flujo de agua (ola u onda) muy rápido, cargado con detritos en un canal inclinado.
- **Avalanchas de detritos:** Flujo superficial no canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos parcialmente a totalmente saturado, en una ladera empinada sin confinamiento de un canal establecido. Las avalanchas a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo muy rápido de la rotura.
- **Mitigación:** Conjunto de acciones tendientes a reducir la exposición o la falta de resistencia de una comunidad, de un elemento o de un sistema, amenazados por uno o por varios fenómenos de origen natural o tecnológico. Las principales medidas de mitigación se conciben para el mediano y largo plazo, e incluyen tanto medidas de planificación del desarrollo (por ejemplo estatutos de usos del suelo, áreas de reserva, áreas no urbanizables por amenazas, normatividad constructiva y urbanizadora, medidas de educación continuada), medidas de ingeniería tales como obras de protección, y medidas de relocalización. Éstas últimas normalmente se toman cuando la exposición a un fenómeno es considerada como alta.
- **Modelo:** Es la representación simplificada de un objeto o proceso de la realidad, que reproduce a una escala determinada algunas de sus variables constitutivas y descriptivas más relevantes, integradas de acuerdo con un patrón de interacciones en un escenario de desarrollo espacio-temporal particular (Aguilar, 2005).
- **Peligro:** Es el fenómeno natural que podría producir daños, descrito en términos de su geometría, mecánica y otras características, el peligro puede ser potencial o puede estar ocurriendo.

- **Posibilidad Condicionada:** Es la posibilidad de que se dé un determinado resultado a partir de un conjunto de datos, hipótesis e información y es usado como una descripción cualitativa de la probabilidad y la frecuencia.
- **Probabilidad de Excedencia:** Es la probabilidad estimada de que un evento de magnitud específica, sea superado en un periodo de tiempo.
- **Probabilidad:** Es la medida del grado de certeza. Es el resultado específico medido como la relación de los resultados específicos sobre el número total posible de los resultados. La probabilidad se expresa como 0 (Imposible) 1 (certeza de ocurrencia).
- **Prevención de desastres:** Conjunto de acciones tendientes a evitar que los desastres se produzcan. En otras palabras, son las acciones cuyo objeto es impedir que sucesos naturales o antrópicos, causen efectos adversos sobre una población.

**Sistemas de Información Geográfica:** Según Vargas C 1999, son técnicas y herramientas útiles en los estudios de zonificación de fenómenos geológicos amenazantes, pero deben ser manejados con criterio técnico. Es un conjunto de herramientas para recoger, almacenar, buscar transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, para unos determinados objetivos.

## **3.2 METODOS PARA EL ANALISIS DE AMENAZAS**

### **3.2.1 Método Empírico**

Este método se basa en la opinión de expertos, son de tipo subjetivo y se aplican a evaluaciones y zonificaciones preliminares para la toma de decisiones, esta técnica presenta cierta incertidumbre puesto que la opinión de expertos varía de acuerdo con la experticia técnica, la capacidad, el fenómeno que ocurre y la asociación que se realice fenómenos similares.

### **3.2.2 Método Cualitativo o Heurístico**

Se basan en el estudio conceptual de los procesos de ocurrencia de los deslizamientos y requiere de un análisis por parte de los profesionales con conocimiento y experiencia tanto en la región estudiada como en los procesos. Los métodos Heurísticos se basan en categorizar y ponderar los factores detonantes, según la influencia esperada de éstos en la generación de fenómenos. El procedimiento es la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa.

Se pueden realizar dos tipos de análisis heurísticos mediante el análisis geomorfológico y mapa de combinación cualitativo. El primer método fue propuesto por Kienholz (1977). El segundo método basado en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973; Stevenson, 1977; Bosi, 1984, Ramírez, González, 1988). Estos métodos permiten la regionalización o estudio a escala regional y son adecuados para aplicaciones en el campo de los sistemas expertos (Carrara et al., 1995). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita el comparar documentos producidos por diferentes autores. Dentro de este método se ha utilizado el denominado AHP (Proceso de Análisis Jerárquico).

### **3.2.3 Método Determinístico**

Están basados en modelos o reglas físicas de conservación de masas de energía o de momento de fuerzas, y por sus características morfométricas, hidrodinámicas o estructurales. Estos procesos se aplican a estudios geotécnicos a escalas detalladas y locales, el proceso requiere de la elaboración de modelos de análisis de estabilidad de taludes con base en la información obtenida y se calculan factores de seguridad. Estos modelos requieren de información específica sobre estratificación, estructura, propiedades de resistencia de los materiales y modelos de simulación de niveles freáticos de acuerdo con periodos de retorno.

Dentro de los métodos determinísticos usados en el análisis de eventos naturales, ejemplo amenazas por fenómenos de movimientos en masa se encuentran:

- Método del Talud Infinito. Obtención del factor de seguridad de un deslizamiento.
- Análisis por el Método de equilibrio límite. Se calcula factor de seguridad con base en una relación entre los esfuerzos actuantes y las resistencias de los suelos en escenarios de condiciones hidrológicas y de sismicidad. Los deslizamientos ocurrirán cuando la resistencia es menor o igual a los esfuerzos.

### **3.2.4 Método Probabilístico**

Este método mide la amenaza asociada con un fenómeno natural, mediante la frecuencia de ocurrencia y la severidad medida, mediante algún parámetro de intensidad del peligro determinado en una ubicación geográfica específica. El análisis de la amenaza está basado en la frecuencia histórica de eventos y en la severidad de cada uno de ellos. Una vez definidos los parámetros de amenaza, es necesario generar unos eventos estocásticos que definen la frecuencia y la severidad de miles de eventos, representando así los parámetros principales de amenaza. El análisis de amenaza genera parámetros de intensidad definidos en cada una de las amenazas estudiada y para cada uno de los eventos estocásticos planteados mediante la modelación analítica de cada uno de los fenómenos.

**Calculo de coeficiente de certeza para cada factor básico.** Este método permite calcular valores de coeficiente de certeza para cada uno de los parámetros básicos (litología, estructura, pendiente etc.)

**Análisis Bivariado.** En el Análisis bivariado, cada factor de mapeo se combina con la distribución de movimientos o factores desencadenantes y se calculan valores ponderados por cada tipología. La importancia de cada parámetro o combinación de parámetros, puede ser analizada individualmente en este tipo de

análisis, cada factor (geología, pendientes, usos) se combinan con el mapa de distribución y se calcula para cada parámetro un peso de acuerdo con la densidad de ocurrencia de un evento (Brabb y otros 1972).

**Análisis Multivariado:** Fueron desarrollados por Carrara, en su aplicación se muestrean todos los factores relevantes, para cada unidad se determina la presencia o ausencia de movimientos (en el caso de análisis por fenómenos de movimientos en masa). La matriz que resulte se analiza usando regresiones múltiples o análisis discriminantes.

### **3.2.5 Métodos Estocásticos**

Los Métodos estocásticos están basados en variables tomadas como datos al azar, los cuales se relacionan entre ellas con funciones probabilísticas. Algunos sistemas son: Lógica Difusa, Algoritmos difusos, Redes Neuronales Artificiales, Algoritmos genéticos, Programación Geotécnica y Algoritmos Evolucionados.

## **3.3 AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA**

Varnes 1984 y Barbat 1998, definen el peligro por amenazas de origen natural como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica.

Dado que el peligro debe expresarse como una probabilidad de potencial destructivo, es conveniente enfatizar que, la máxima probabilidad de ocurrencia de potencial de daño de un FRM no sucede necesariamente con la máxima magnitud de los eventos detonantes y que la falla de un talud no lleva tampoco necesariamente a un máximo grado de amenaza (González, 2005).

Los FRM poseen parámetros característicos como velocidad, volumen, profundidad de superficie de falla, presiones, altura de deposición, distancia de viaje, etc., la decisión de cual usar dependerá de la posibilidad de establecer el comportamiento del elemento frente a ellos, lo cual puede lograrse de dos maneras: mediante modelos y ensayos de laboratorio y en forma indirecta, con un análisis retrospectivo de eventos similares y sus consecuencias (Valencia y Castro en INGEOMINAS, 2001).

### 3.3.1 Evaluación de la amenaza por movimientos en masa

Como criterios para definir los niveles de amenaza, se utilizaron los especificados en la norma sismo resistente colombiana NSR 10. Categorizando los niveles de amenaza en función de los factores de seguridad obtenidos de los modelos geológicos geotécnicos.

## 3.4 MARCO NORMATIVO

**Tabla 2** Marco Normativo

NORMA	DESCRIPCIÓN
<b>Ley 1523 de 24 de Abril de 2012</b>	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.
<b>Decreto 019 de 2012 Artículo 189</b>	Decreto Anti trámites establece el artículo 189 que los procesos de revisión deben incorporar dentro de estudios técnicos la gestión del riesgo.
<b>Decreto 1469 de 2010.</b>	Por el cual se reglamentan las disposiciones sobre licencias urbanísticas, reconocimiento de edificaciones y legalización de asentamientos humanos.
<b>Decreto 926 de 2010 NSR-10</b>	por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes
<b>Decreto 4002 de 2004</b>	Establece la revisión de los Planes de ordenamiento territorial y establece las evaluaciones sobre amenazas, vulnerabilidad y riesgo.

<b>Ley 388 de 1997</b>	Establece los mecanismos para que los entes territoriales organicen y gestionen el Uso de Suelo, permitiendo que los propietarios se ajusten a la función social de la propiedad y permitiendo el derecho constitucional a la vivienda , protección del medio ambiente y prevención de desastres, determina por tanto las políticas y mecanismos para evitar asentamientos en zonas de alto riesgo natural.
<b>Constitución Política, Artículo 80 señala que el Estado</b>	El Estado (entendido el conjunto de instituciones que conforman la administración pública) deberá “Prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados
<b>Ley 02 de 1991</b>	Modifica la Ley de Reforma Urbana y establece que los municipios deben levantar y mantener autorizados los inventarios de las zonas que presentan altos riesgos.
<b>Ley 09 de 1989 Ley de Reforma Urbana</b>	Define la responsabilidad de las autoridades municipales en materia de seguridad de los habitantes en las zonas urbanas ante los peligros naturales. Obligatoriedad para las oficinas de Planeación de levantar y mantener actualizado el inventario de zonas de alto riesgo por inundaciones y deslizamientos.
<b>Decreto 93 de 1998</b>	Se Adopta el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres que define los objetivos, principios, estrategias y los programas de política general.

Fuente. Recopilación - ALICON & ING S.A.S

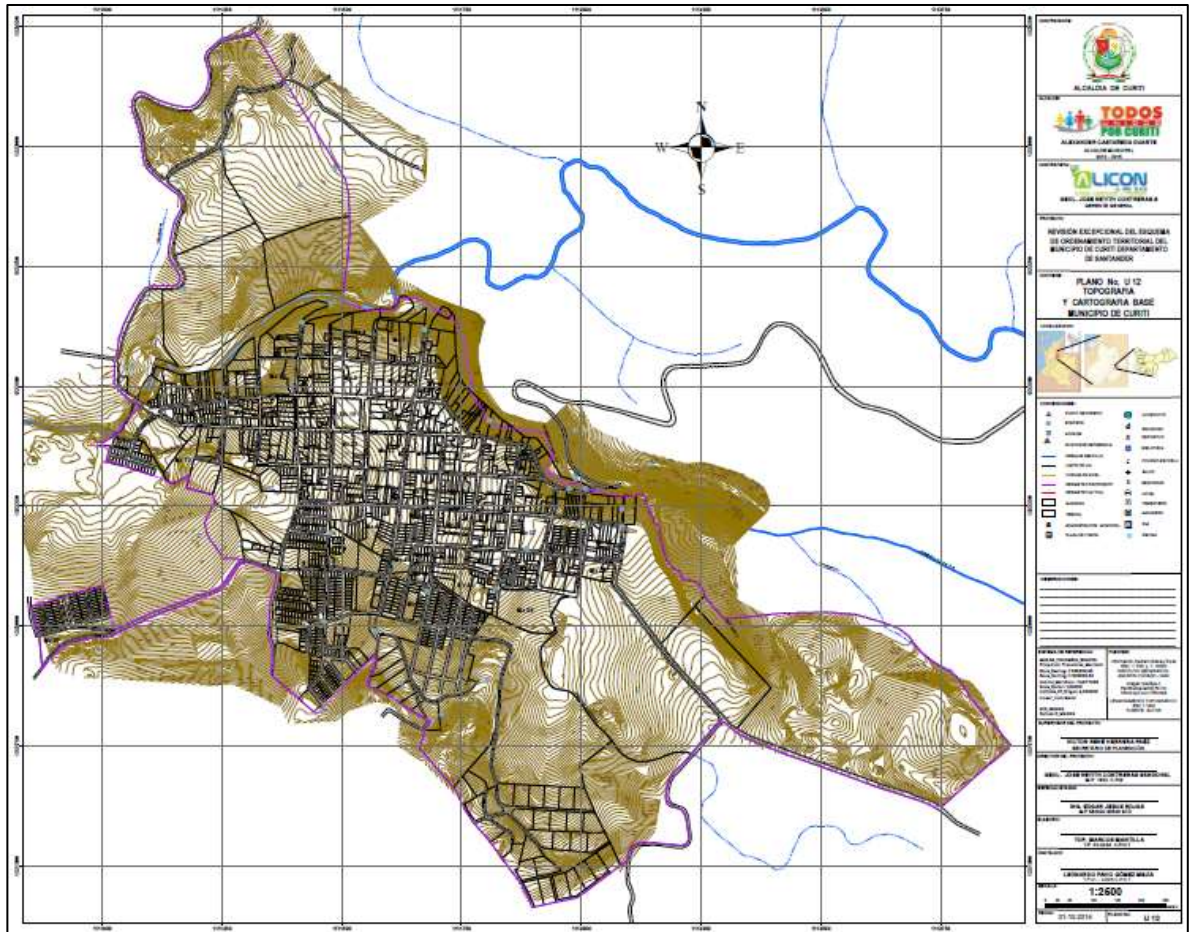
#### 4. ACTUALIZACION DE LA CARTOGRAFIA

Para la realización del presente proyecto, se ejecutó el levantamiento topográfico de la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio Curití, con el fin de contar con la información topográfica completa de las laderas que bordean el área urbana.

Para esta actividad, se utilizó una estación de precisión TOPCON ES-105, con certificado de calibración GG3069 de 21 noviembre de 2013, realizado por instrumentos e ingeniería GGP. El marco de georreferenciación topográfico se empleó el sistema MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional), el cual garantiza la posición geodésica del lugar. El sistema MAGNA se expresa en coordenadas planas cartesianas con origen local (factor de Escala no significativo), proyectadas sobre la altura media del nivel del mar (topografía) de los puntos locales (con factor de altura), y la orientación se expresa en azimuth de cuadrícula sin convergencia, compatibles en distancias inclinadas y reducidas, lo mismo que en ángulos planos para el control de poligonales.

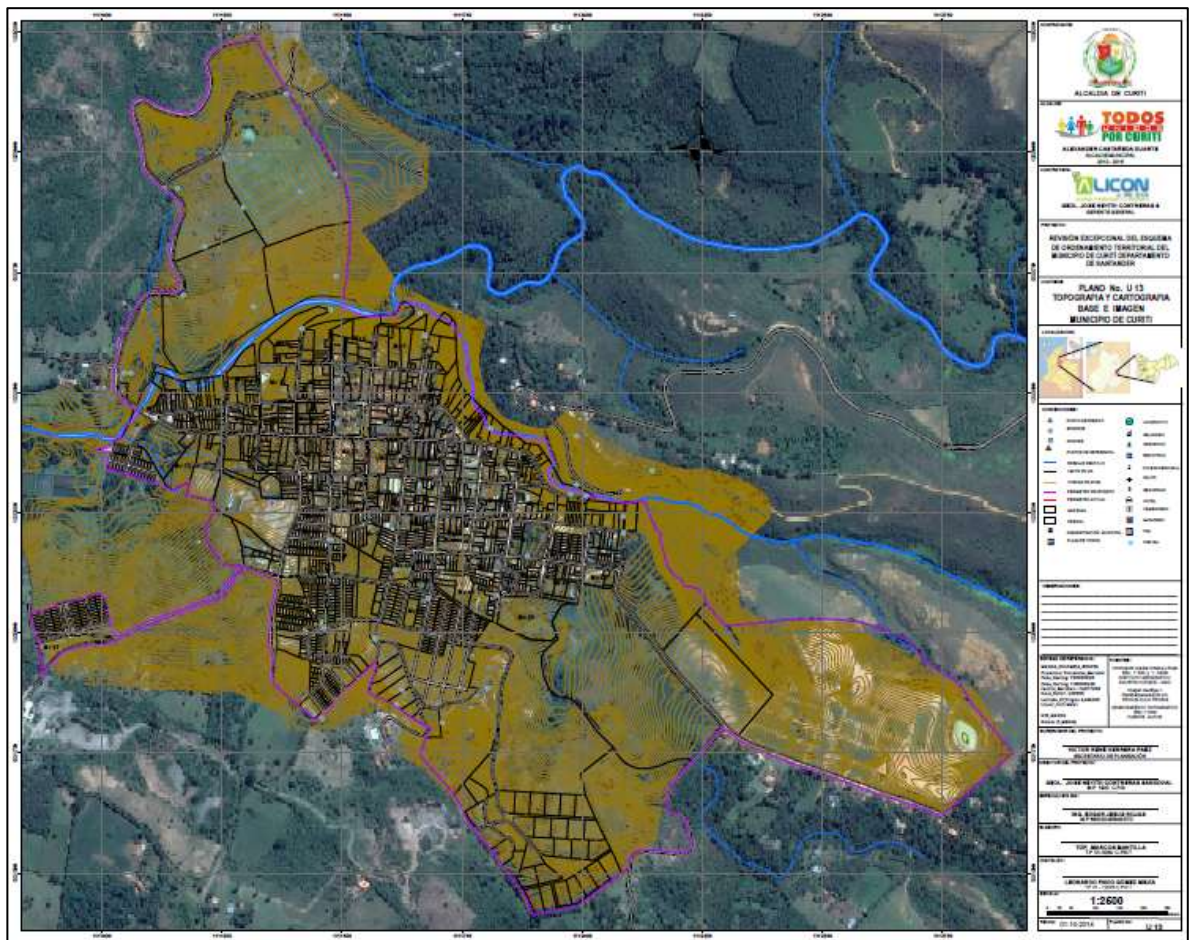
Para el proceso de georreferenciación, se identificaron los puntos de referencia del IGAC, para lo cual se realizó una revisión de los puntos geodésicos en campo, encontrando que los mojones habían sido modificados por procesos antrópicos, por consiguiente se generaron puntos arbitrarios de control topográfico, mediante la ubicación de dos puntos (GPS) con un equipo centimétrico, el primero en la zona noreste del parque principal y el segundo hacia el sur sobre el sector de la planta de sacrificio, como se muestra en la imagen, para un mejor detalle del levantamiento cartográfico el informe se encuentra en los anexos.

Figura 3. Levantamiento topográfico.



Fuente. ALICON & ING S.A.S

**Figura 4. Mapa de Cartografía Base e Imagen satelital del área de estudio**



FUENTE: IGAC, Imagen GeoEye-1 editado

Mediante el levantamiento Topográfico con estación El municipio de Curití, se encuentra situado sobre una zona semiplana, entre las cotas 736 y 837 m.s.n.m a continuación se presenta las coordenadas aproximadas de los límites del levantamiento topográfico:

**Tabla 3**      Coordenadas aproximadas del Municipio de Curití

<b>PUNTO DE CONTROL</b>	<b>ESTE</b>	<b>NORTE</b>
1	1 111 100	1 223 000
2	1 111 250	1 222 250
3	1 112 000	1 221 500
4	1 112 750	1 221 750
5	1 111 500	1 223 000

Fuente. ALICON & ING S.A.S

De acuerdo al levantamiento se puede identificar:

- Al Norte con los Municipios de Molagavita, Cepita, Aratocha y Jordán.
- Al Sur con los Municipios de Mogotes y San Gil.
- Al Occidente con los Municipio de Villanueva y Cabrera.
- Al Oriente con el municipio de Mogotes.

## 5. GEOLOGIA

### 5.1 METODOLOGÍA

La Metodología empleada para el estudio geológico realizado en el casco urbano y zonas suburbanas del Municipio de Curití está dividida las siguientes fases: fase de recopilación, fase de reconocimiento del área de estudio, fase de caracterización de las unidades geológicas superficiales y fase de análisis y elaboración del informe.

Figura 5. Metodología de Trabajo para el estudio Geológico



Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### **Fase de recopilación, análisis y evaluación de la información disponible.**

En esta etapa se recolecto la información de la zona de estudios realizados previamente, imágenes satelitales, planos y en general cualquier información relacionada a la zona de estudio, La información previa consultada fue la siguiente:

- EOT (Agosto de 2007) del Municipio de Curití
- Planos del EOT de Geología y geomorfología.
- Imágenes satelitales de Google Earth, 2014
- Reseña explicativa del mapa geológico, Preliminar de la plancha 135.
  - Geología de las planchas 135 (San Gil) y 151 (Charalá) cuadrángulo I-12
  - Planchas Geológica 135 (San Gil), INGEOMINAS.

Esta información fue analizada y evaluada y sirvió como base para la elaboración de este informe en cada una de sus partes.

### **Fase de reconocimiento y valoración del área de estudio**

La visita a campo fue realizada por dos de geólogos se realizó el reconocimiento del área de estudio y posteriormente la caracterización geológica de la zona, realizando estaciones de control geológicas y geomorfológicas.

### **Fase de identificación y caracterización de las unidades geológicas superficiales**

Con la finalidad de identificar la geología de la zona de estudio se realizó un estudio basado en análisis de mapas, visitas de campo y consultas con especialistas. Las actividades desarrolladas en el estudio fueron: la exploración geológica donde se propusieron recorridos de campo con el fin de encontrar y estudiar los afloramientos más accesibles, para recolectar datos y fotografías de tipos de suelos, litología, geoformas, orientación y características de discontinuidades en la masa rocosa, propiedades y estructuras geológicas.

### **Fase de análisis de datos y elaboración del informe**

Después de recopilar la información existente en la zona de estudio se revisa y se filtra la información relevante para la inspección Geológica. Con la información recolectada y verificada en campo y la interpretación en la oficina, se redactó el presente informe, que contiene las características geológicas, geomorfológicas, litológicas, estratigráficas, sedimentológicas, estructurales, tectónicas del Municipio de Curití.

### **5.2 UBICACION GEOLÓGICA**

La zona de estudio inicia en las coordenadas N: 1120500 – 1223500; E: 1110500 –1113500 para el casco urbano y N 1219000-1222000; E: 1106500 - 1110500 para el área suburbana y alrededores.

### **5.3 FISIOGRAFÍA**

El Municipio de Curití hace parte de la Provincia Guaneta, se encuentra ubicado en la zona centro – oriental del Departamento de Santander, en la Cordillera Oriental, lo atraviesa la vía troncal del oriente a Bucaramanga – Bogotá, Limita al norte con los municipio de Jordán Sube y Aratoca. Al oriente con los municipios de Molagavita, Cepita y San Andrés, al sur limita con el municipio de Mogotes y San Gil, al occidente con los municipios de San Gil y Villanueva.

Figura 6. Fisiografía del Municipio de Curití



Fuente. Google Maps, 2014.

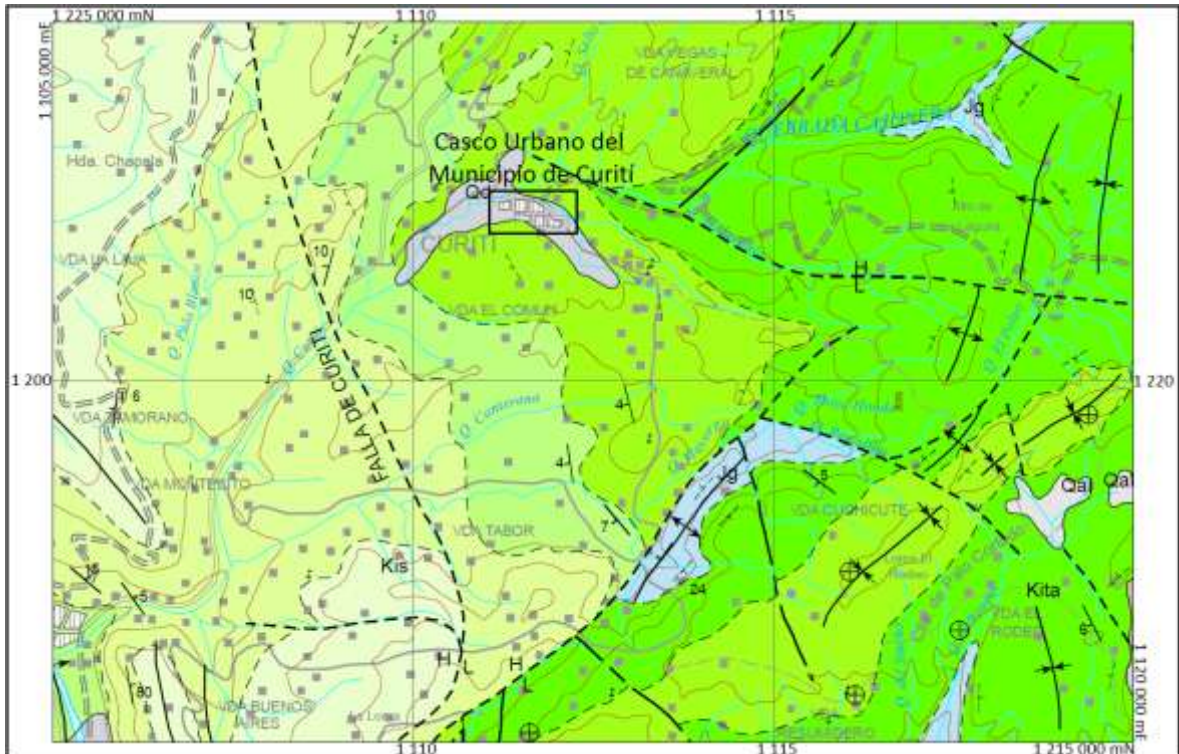
#### **5.4 GEOLOGÍA REGIONAL**

El Municipio de Curití se encuentra dentro del marco regional de la Provincia Tectónica Cordillera Oriental conformada por rocas sedimentarias generalmente plegadas de edades jurásicas y cretácicas que se caracterizan por presentar pliegues anticlinales y sinclinales limitados hacia el E por el Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y hacia el W por la Falla La Salina.

Las unidades litoestratigráficas predominantes en el Municipio de Curití son de origen sedimentario siendo la más antigua la Formación Girón (Jg) de edad jurásica aflorando localmente hacia zona SE del municipio y las más recientes las Formaciones de Edad Cretácica como Tambor (Kita) y Rosablanca (Kir) que

afloran de N – S en la zona central del municipio y también hacia la zona E, mientras Paja (Kip) y Tablazo (Kit) afloran hacia la zona W.

Figura 7. Geología Regional del Municipio de Curití



Fuente. Plancha 135 San Gil, INGEOMINAS.

## 5.5 ESTRATIGRAFÍA

### 5.5.1 Jurásico

#### Formación Girón (Jg)

Inicialmente el término “Girón Series” fue creado por Hettner (1892) para designar una mega secuencia aflorante al occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander. Se adelantaron varios estudios y entre éstos se destaca el de Trumpy (1943) pero fue Langenheim (1954) quien fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió 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.

Entre otros autores que realizaron estudios del Grupo Girón, se incluye a Julivert (1958) y también a Navas (1963), quien midió la sección del Río Lebrija y la subdividió en siete facies con un espesor de 2.690 m. Sin embargo, el estudio más detallado y completo es el de Cediél (1968), quien en la sección tipo del Río Lebrija, describió y midió un total de 4.650 m y lo dividió en ocho conjuntos litológicos (A-H), que corresponden a las formaciones Girón (Conjuntos A-G) y Los Santos (H). Clavijo, et al. (1993) en la guía de excursiones geológicas del IV Simposio de Geología Regional, propuso el término de Formación Angostura del Río Lebrija, para reemplazar el de Formación Girón del Jurásico superior que corresponde a la unidad inferior del Grupo Girón de Cediél (1968).

La Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerático, 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. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, desde unos pocos metros hasta 4.650 m en el Río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustrefluviátil.

La Formación Girón reposa en discontinuidad estratigráfica sobre las formaciones Bocas y Jordán e infrayace concordantemente a la Formación Los Santos (Tambor). Para el Grupo Girón se ha establecido una edad Jurásico superior - Cretácico inferior (PONS, 1982). En general La Formación Girón ha sido correlacionada con la Formación La Quinta del Jurásico superior en el occidente de Venezuela (OPPENHEIM, 1940).

### **5.5.2 Cretácico**

#### **Formación Tambor (Kita)**

Fue definida por primera vez por Cediél (1968) y redefinida por Laverde (1985). Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzoareniscas 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 de esta unidad es una discontinuidad estratigráfica con la Formación Girón, mientras que el contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Cumbre. La Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (CEDIEL, 1968; ETAYO y RODRIGUEZ, 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Río Negro de la cuenca de Catatumbo-Maracaibo.

#### **Formación Rosablanca (Kir)**

Descrita originalmente por Wheeler (1929) y estudiada en detalle por Cardozo y Ramírez (1985) en la región de Villa de Leiva (Boyacá) y Gámbita (Santander).

Se encuentra ampliamente distribuida en el Departamento de Santander. 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.

Las relaciones estratigráficas de esta unidad con la infrayacente Formación Cumbre y la suprayacente Formación Paja son concordantes. La edad comprende el intervalo Valanginiano - Hauteriviano inferior (ETAYO, 1968; ETAYO y RODRÍGUEZ, 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Tibú-Mercedes del Catatumbo-Maracaibo.

### **Formación Paja (Kip)**

Inicialmente descrita por Wheeler (en MORALES, et al., 1958); su localidad tipo es el Cerro Rosablanca al oriente del puente sobre el Río Sogamoso. Esta unidad está constituida por 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. Se estima que su depósito tuvo lugar en un ambiente epicontinental. El espesor varía entre 125 y 625 m.

El límite estratigráfico de esta unidad con la suprayacente Formación Tablazo es concordante. La edad ha sido determinada del Barremiano inferior al Aptiano inferior. Se compara en parte con la Formación Tibú-Mercedes.

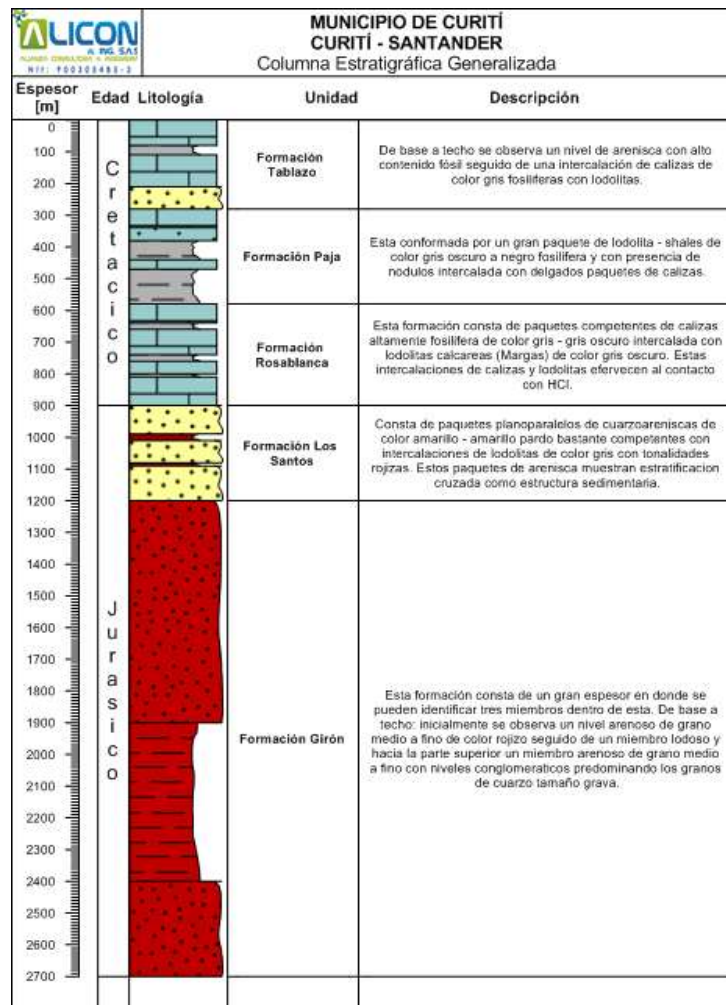
### **Formación Tablazo (Kit)**

Descrita por Wheeler (en MORALES, et al., 1958); la localidad tipo está en el sitio Tablazo, en el puente del cruce del Río Sogamoso de la vía Bucaramanga-San Vicente. La secuencia de esta unidad 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.

El ambiente de depósito parece corresponder a condiciones neríticas, poco profundas. El espesor varía entre 150 y 325 m.

La Formación Tablazo se encuentra en contactos concordantes con la infrayacente Formación Paja y la suprayacente Formación Simití. Su edad es considerada del Aptiano superior- Albiano inferior. Esta unidad en parte es cronoestratigráficamente correlacionable con las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiante.

Figura 8. Columna Estratigráfica Generalizada del Municipio de Curití



Fuente. Modificada de la Memoria Explicativa de Santander, 2001.

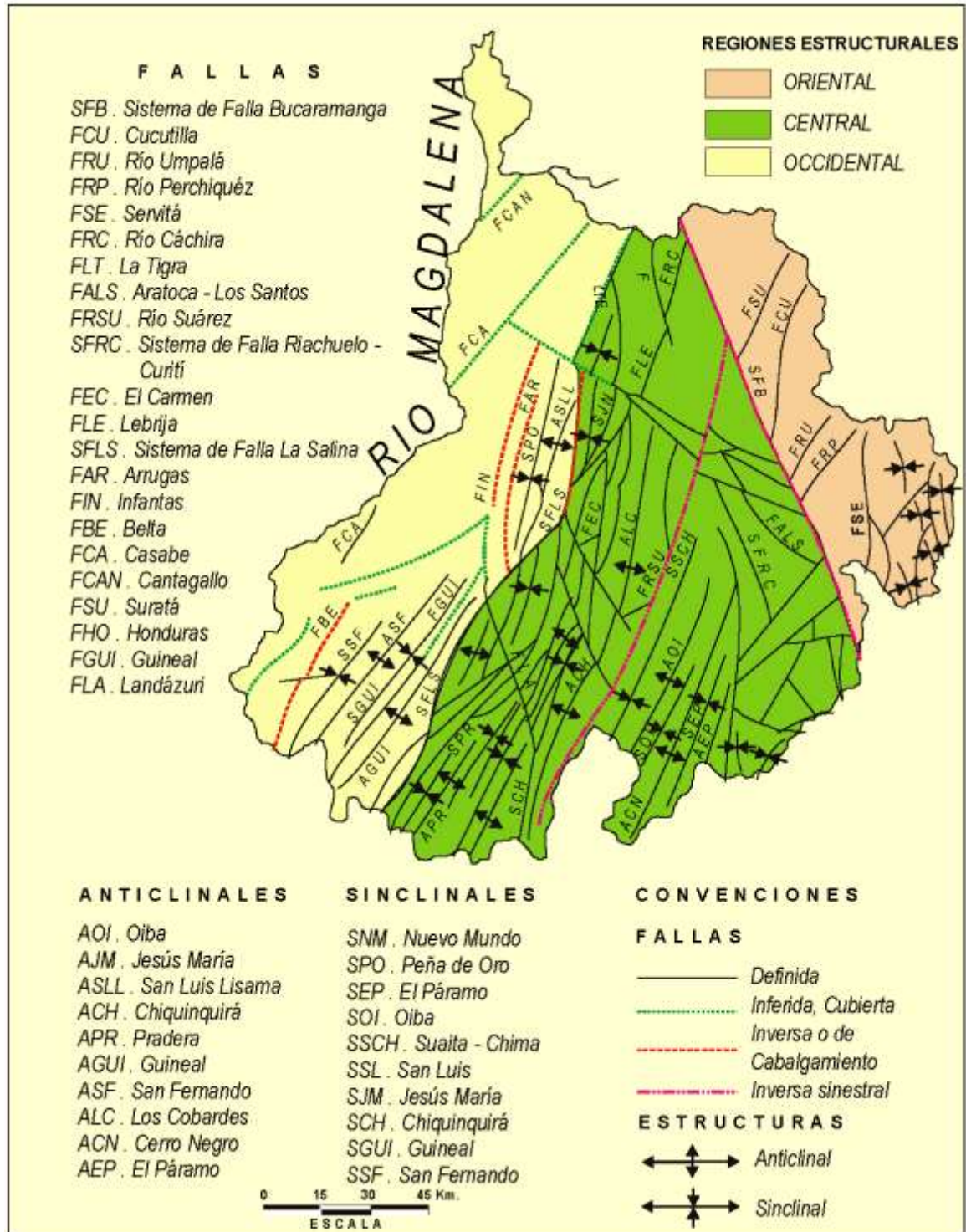
## **5.6 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL**

El Departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como Bloque Andes del Norte o Bloque Norandino en los trabajos de Kellogg, 1984; Kellogg et al., 1985, entre otros.

### **5.6.1 Provincia Tectónica Cordillera Oriental**

Para la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los Bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la Provincia del Valle Medio del Magdalena y la Provincia Cordillera Oriental, de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo et al., 1993.

Figura 9. Esquema estructural del departamento de Santander



Fuente: Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993)

## **5.6.2 Fallas**

### **Falla de Curití**

La Falla de Curití es una falla de tipo inverso con componente de rumbo dextral con vergencia al NO. Su trazado es de 9.0 Km y se observa el E de la zona de la zona de estudio, presenta dirección NE, esta falla corta litologías de las Formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo.

### **Falla La Perica**

La Falla La Perica es una falla en dirección NE con componente principal de rumbo dextral, presentando un comportamiento inverso. Esta falla afecta las areniscas del conjunto superior de la Formación Los Santos y controla el cauce de la Quebrada La Perica. Esta presenta una longitud de 3.0 Km y se encuentra al NE de la zona de estudio mostrando un trazo sinuoso entre las Fallas La Laja y San Sebastián.

### **Falla Irapire**

La Falla de Irapire se encuentra ubicada en la parte central de la zona de estudio en la Vereda Irapire y El Carmen. Esta falla es paralela a la Falla de Curití, con dirección NE y comportamiento inverso con componente de rumbo dextral. Presenta una expresión curva y su terminación corresponde a pequeños trazos de fallas que presentan las mismas características.

### **Falla Cuchicute**

La Falla Cuchicute se encuentra al S de la zona, su trazo es sinuoso con dirección NE y longitud aproximada de 6.0 Km, poniendo en contacto las Formaciones Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití con la Formación Los Santos. Esta es una falla de cabalgamiento con dirección NE, componente de rumbo dextral y buzando al SE.

### **Falla El Poleo**

La falla el poleo se encuentra ubicada hacia la zona E del Municipio de Curití iniciando su trazo e la Falla de Alejandría mostrándose discontinua e interrumpida localmente por la Falla El Cajón. Al SE de la zona, controla el curso de la Quebrada El Poleo de donde toma su nombre, al NE controla el curso de la Quebrada La Mesa y continuando su trazo hasta el límite de la zona. Esta falla afecta rocas de la Formación Los Santos.

## **5.7 GEOLOGIA LOCAL**

### **5.7.1 Perfil Estratigráfico**

La zona urbana del Municipio de Curití se asienta principalmente sobre las Formaciones Tambor (Kita) y Rosablanca (Kir), rocas de edad cretácica presentes en el casco urbano y que por procesos físicos como la precipitación de agua lluvia, que ataca directamente la roca, presentan un suelo residual en superficie con características propias de la roca original. Cabe aclarar que el estudio realizado sobre el casco urbano del Municipio de Curití se encuentra en total desacuerdo con la Plancha Geológica 135 San Gil (INGEOMINAS, 1985), donde muestra cartográficamente, que el Municipio de Curití se encuentra asentado sobre un Deposito Cuaternario de Derrubio (Qd).

En el sector N del casco urbano del Municipio de Curití sobre la Quebrada La Laja se observa un afloramiento de la Formación Tambor donde se observa una intercalación de una arenisca de grano medio a fino de color amarillo – amarillo pardo dispuesta en capas planoparalelas con espesores entre 40.0 cm – 1.2 m intercalada con lodolitas de color gris y tonalidades rojizas y con un espesor que varía entre 40.0 cm – 1.0 m. Superficialmente se evidencia la presencia de un suelo residual arenolimoso de color naranja con textura granular que varía en espesor entre 1.0 m – 1.5 m.

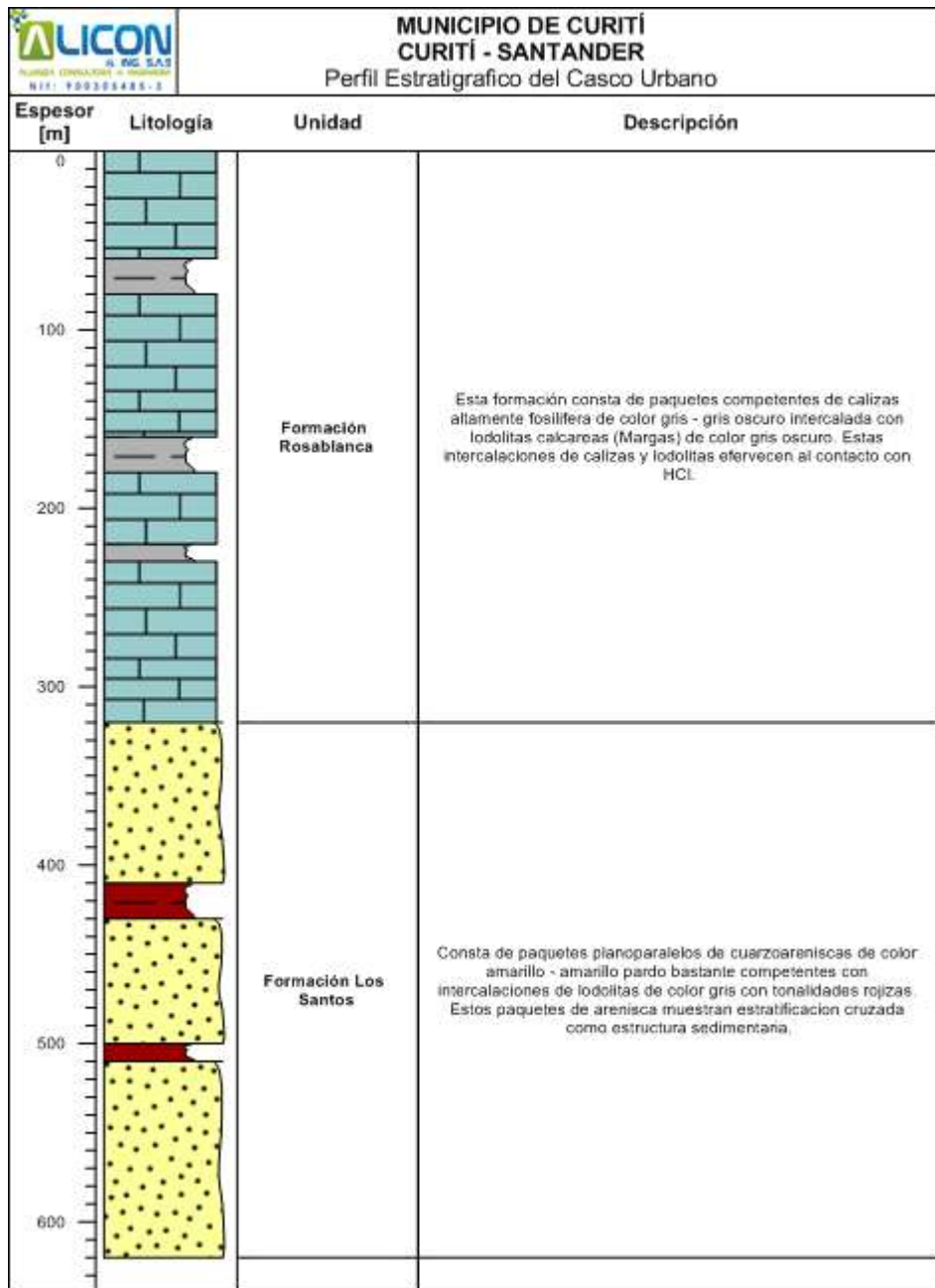
Hacia el sector S del Municipio de Curití hay un cambio de litología haciéndose presente una roca calcárea de color gris oscuro con alto contenido fósil y mostrando intercalaciones con lodolitas – shale hacia su parte superior bordeando todo el sector. Además se observa un cambio de pendiente debido a la competencia de estas rocas haciendo que la construcción de viviendas en este sector se asiente sobre estas mismas. Estas rocas calcáreas muestran capas competentes de forma planoparalela con espesores que alcanzan hasta 1.4 m de espesor, mientras hacia la parte superior, se observa una intercalación de calizas que varían en espesor entre 20.0 cm – 40.0 cm con lodolitas – shale que varían en espesor entre 10.0 cm – 20.0 cm.

Figura 10. Litología presente en el Casco Urbano del Municipio de Curití



Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Figura 11. Perfil Estratigráfico del Casco Urbano del Municipio de Curití



Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### **5.7.2 Factores Considerados en la Clasificación de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS)**

En la cartografía geológica para ingeniería, la clasificación de rocas y suelos debe estar basada en el principio de que las propiedades físicas de dichos materiales en su estado actual, dependen de la combinación de factores tales como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y los procesos de meteorización, los cuales gobiernan el comportamiento mecánico de dichos materiales.

Para la descripción y caracterización de las unidades geológicas superficiales se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales:

- litología (composición y textura),
- dureza o resistencia,
- condición de las discontinuidades,
- grado de meteorización y rasgos estructurales.

Estas características se identifican mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, ensayos in situ y análisis de laboratorio.

Las unidades Geológicas Superficiales (UGS) se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, son unidades cartografiables y uno de los productos básicos de la Geología Aplicada a la Ingeniería (INGEOMINAS, 2007). La metodología a emplear es la utilizada en el estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de alguna laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (Santander) desarrollado por INGEOMINAS, 2007.

**Para un mejor entendimiento se definen, clasifican y describen los parámetros utilizados.**

**Litología:** Trata la composición mineralógica de las rocas y suelos y de la forma como dichos componentes se interrelacionan. La litología es por lo tanto la descripción de la textura y composición mineralógica de rocas y suelos.

**Dureza:** En términos geológicos la dureza se define como la resistencia que tiene un material a dejarse rayar por otro, además se tomaron los resultados del análisis de campo, definiendo la resistencia de las rocas al desplazamiento de partículas superficiales por fuerzas tangenciales abrasivas o normales penetrativas.. Para su caracterización se tomó los valores arrojados por el martillo Smith y datos de laboratorio.

**Condición de las Discontinuidades:** hace referencia a la disposición de las discontinuidades (fracturas, diaclasas, estratificación y estructuras internas, esquistosidad, foliación, laminación), que poseen las rocas con el fin de determinar el comportamiento de un suelo o macizo rocoso en términos de estabilidad. Para la evaluación de las discontinuidades se consideró como la más importante la separación entre las familias de diaclasas y la determinación del JV.

**Meteorización:** asociando la definición de descomposición física y química de los materiales por procesos naturales como oxidación, reducción, hidrólisis, carbonatación, tectónica, cambios de temperatura (gelifracción). La meteorización tiene un efecto sobre la resistencia y el comportamiento deformativo de los macizos rocosos y suelos. Es muy importante para la clasificación de la condición de un material. Para definir el grado de meteorización de la rocas se utiliza los perfiles generalizados de Deere y Patton (1971) y Dearman (1974, 1991)

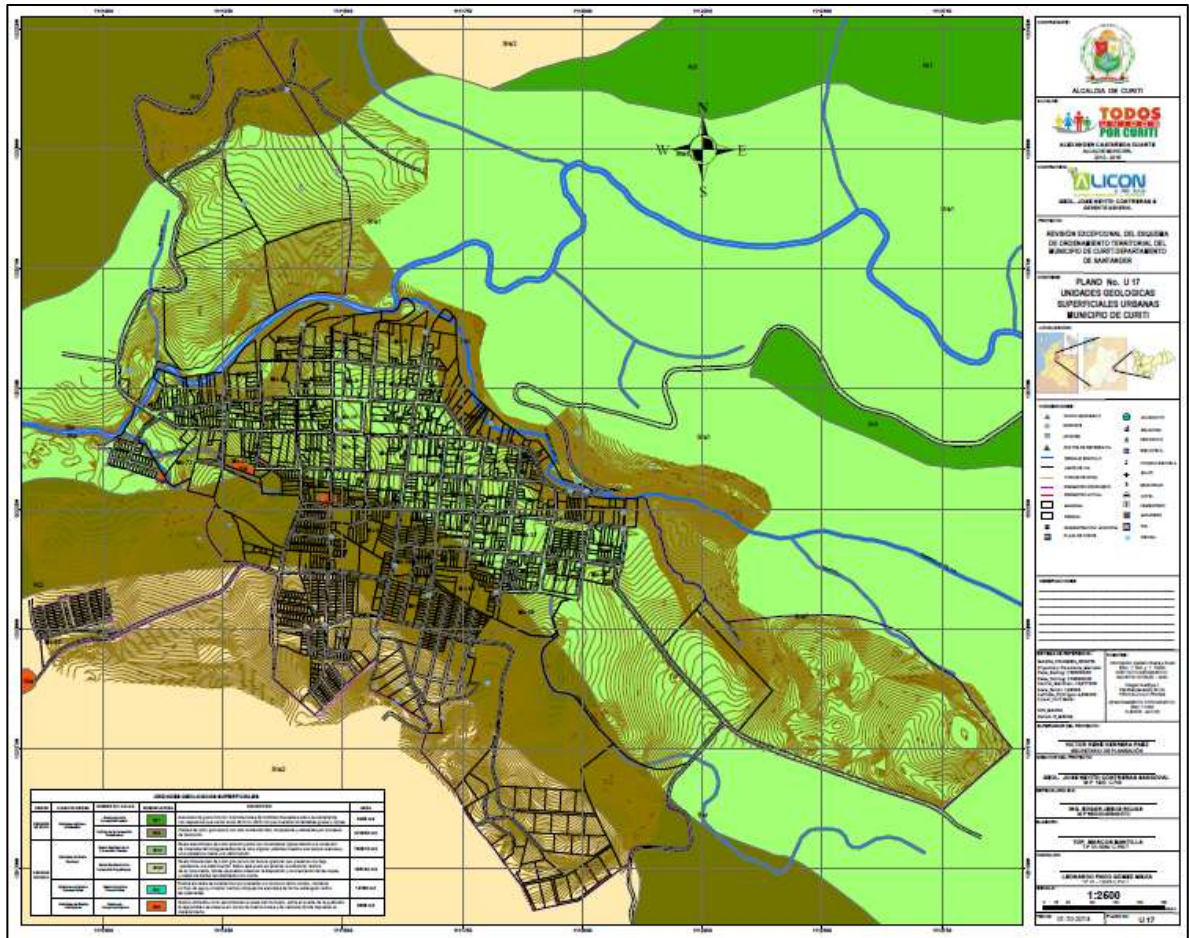
**Rasgos Estructurales:** representa la serie de procesos geodinámicos endógenos que han sufrido los materiales y son propios de la evolución de la corteza terrestre. En consideración a que la deformación de la corteza es proporcional a la cantidad de pliegues y fracturas (fallas, lineamientos y diaclasas) en un área determinada se debe evaluar la densidad de estos rasgos estructurales.

## **5.8 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)**

Hermelin (1987) denomina una Formación Superficial al conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros. Las Formaciones Superficiales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos no consolidados. Esta metodología de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) clasifica los materiales geológicos como rocas (R), materiales intermedios (I), suelos residuales y transportados (S).

Las unidades Geológicas Superficiales (UGS) se consideran como formaciones correlativas de los procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre, son unidades cartografiables y uno de los productos básicos de la Geología Aplicada a la Ingeniería (INGEOMINAS, 2007). La metodología a emplear es la utilizada en el estudio de Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de alguna laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (Santander) desarrollado por INGEOMINAS, 2007.

Figura 12. Unidades geológicas superficiales (ugs)



Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Tabla 4 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

<b>Unidades Geológicas Superficiales (UGS)</b>			
<b>Unidad</b>	<b>Clase de Unidad</b>	<b>Formación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Unidades de Roca</b>	<b>Unidades de Roca Intermedia</b>	Areniscas de la Formación Tambor	Ri1
		Calizas de la Formación Rosablanca	Ri2
<b>Unidades de Suelo</b>	<b>Unidades de Suelo Residual</b>	Suelo Residual de la Formación Tambor	Srs1
		Suelo Residual de la Formación Rosablanca	Srs2
	<b>Unidades de Suelo Transportado</b>	Suelo Aluvial de Cauce Activo	Sal
		Suelo de Rellenos Antrópicos	Sla

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### 5.8.1 Unidades de Roca (R)

Estas unidades están comprendidas por macizos rocosos en los cuales la roca se presenta desde fresca a levemente meteorizada, grados I y II del perfil de Meteorización de Dearman (1974) (Ver Anexo 1, Tabla 4), La zona de estudio está conformada por rocas intermedias afectadas por tectonismo que va desde el NE hacia el NW del casco urbano del Municipio de Curití, las rocas aflorantes principalmente son rocas sedimentarias cretácicas, esta secuencia está conformada por las formaciones Rosablanca (Kir) hacia el NW y SW-SE del casco urbano del municipio de Curití y Tambor (Kita) hacia el NE del casco urbano del municipio de Curití.

Tabla 5 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

<b>Unidades Geológicas Superficiales (UGS)</b>			
<b>Unidad</b>	<b>Clase de Unidad</b>	<b>Formación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Unidades de Roca</b>	<b>Unidades de Roca Intermedia</b>	Areniscas de la Formación Los Santos	Ri1
		Calizas de la Formación Rosablanca	Ri2

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### **UNIDADES DE ROCA INTERMEDIA (Ri)**

En la nomenclatura del mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS), las unidades de roca intermedia se identifican con las letras (Ri), comprendiendo rocas de dureza media a blanda, con estratificación delgada a media (estratos entre 30.0 cm – 60.0 cm). En general son rocas que muestran un fracturamiento moderado (con un espaciamiento entre 20.0 cm – 60.0 cm), con un índice de fracturamiento moderado ( $JV = 5.0 - 8.0 \text{ fr/m}^3$ ), un índice geológico de resistencia regular a bueno ( $GSI = 40.0\% - 60.0\%$ ) y un grado de meteorización moderado (grados III - IV). Incluyen secuencias interestratificadas de rocas duras y blandas de lutitas, margas, calizas, areniscas poco cementadas y materiales heterogéneos (conglomerados) y rocas metamórficas foliadas (filitas y esquistos, entre otras).

### **Areniscas de la Formación Tambor (Ri1)**

Se pueden observar en el sector N sobre la Quebrada La Laja y la Quebrada Curití afloramientos de areniscas de grano medio a fino de color amarillo – amarillo pardo orientadas en sentido NW y presentando una inclinación promedio de 10°SW. Estas capas se encuentran dispuestas en paquetes planoparalelos que varían en espesor entre 40.0 cm – 1.2 m, bien calibradas y bastante competentes, y mostrando un fracturamiento moderado. Estos paquetes de arenisca se encuentran intercalados con lodolitas dispuestas de la misma manera y con espesores que varían entre 40.0 cm – 80.0 cm que muestran tonalidades grises y rojizas. Esta intercalación de roca sedimentaria se encuentra superficialmente alterada y en su mayor parte cubierta de vegetación.

Figura 13. Areniscas de la Formación Tambor



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 6. **A)** Areniscas de la Formación Tambor al NE del casco urbano del Municipio de Curití, **B)** Areniscas Cuarzosas de la Formación Tambor ubicadas al NE del casco urbano de Curití vía a Pescaderito **C)** Areniscas del miembro superior de la Formación Tambor al NNE del casco urbano del Municipio de Curití.

### **Calizas de la Formación Rosablanca (Ri2)**

Estas rocas calcáreas afloran sobre el sector S del casco urbano del Municipio de Curití, siendo esta la base para la construcción de viviendas en este sector, debido a que su alta competencia no permite que esta roca sea removida. También se pueden observar en los sectores SW – NE del casco urbano. Esta formación calcárea se caracteriza por presentar un color gris oscuro con un alto contenido fósil que han sido reemplazados por mineral de calcita. Esta roca calcárea se encuentra orientada en sentido NE presentando una inclinación promedio de 10° hacia el NW y dispuestas en capas planoparalelas con espesores que alcanzan hasta 1.4 m y localmente hacia la parte superior presenta delgadas intercalaciones de lodolitas – shale con calizas y mostrando un contacto concordante entre las areniscas de la Formación Los Santos y las calizas de la Formación Rosablanca.

Figura 14. Calizas de la Formación Rosablanca



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 7. **A)** Calizas de la Formación Rosablanca al NE sobre el casco urbano del Municipio de Curití, **B)** Calizas ubicadas al NE sobre el casco urbano del Municipio de Curití. **C)** Calizas ubicadas al NW del casco urbano del Municipio de Curití.

### 5.8.2 Unidades de Suelo Residual (Sr)

Estos suelos son el resultado de procesos de desintegración y descomposición que las rocas sufren cuando son expuestas a las condiciones atmosféricas. Este fenómeno es conocido como meteorización y es el proceso responsable del origen de los suelos residuales. Los suelos residuales se caracterizan por presentarse in situ o no sufrir ningún tipo de transporte después de formado. Para esta clasificación de suelo residual se usará la metodología propuesta por Deere & Patton, 1971.

Tabla 6 Unidades Geológicas superficiales (UGS)

<b>Unidades Geológicas Superficiales (UGS)</b>			
<b>Unidad</b>	<b>Clase de Unidad</b>	<b>Formación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Unidades de Suelo</b>	<b>Unidades de Suelo Residual</b>	Suelo Residual de la Formación Los Santos	Srs1
		Suelo Residual de la Formación Rosablanca	Srs2

### **Suelo Residual de la Formación Tambor (Srs1)**

Este suelo predomina sobre la zona de expansión del Municipio de Curití y localmente sobre algunos sectores de la Quebrada La Laja. Este corresponde a un suelo arenolimoso de color amarillo pardo con tonalidades rojizas debido a la oxidación de minerales ferromagnesianos de la roca original. Además muestra una textura arenosa y una resistencia media a la deformación. También pueden observarse pequeños nódulos de manganeso de color rojizo, forma subredondeada, y de tamaño grava que se encuentran sobre la superficie el terreno. Este suelo aunque se muestra bastante denso es muy susceptible a procesos erosivos superficiales y no presenta estructuras sedimentarias relictas.

Figura 15. Suelo Residual de la Formación Los Santos



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 8. **A)** Suelo residual de la Formación Tambor ubicado al SE del casco urbano, en la zona de expansión del Municipio de Curití **B)** Suelo residual de la Formación Tambor al SE del casco urbano correspondiente a la Zona de Expansión. **C)** Suelo residual de la Formación Tambor ubicado en diferentes partes del casco urbano del municipio de Curití.

### **Suelo Residual de la Formación Rosablanca (Srs2)**

Este suelo se puede observar sobre los sectores SW del casco urbano del Municipio de Curití y se caracteriza por ser un suelo limoarenoso de color gris oscuro a naranja pardo debido a la oxidación de minerales ferromagnesianos. Este suelo muestra una textura granular que presenta una baja resistencia a la deformación. Sobre este suelo se alcanza a evidenciar relictos de la roca madre, donde se pueden observar la disposición y la orientación de las capas, y restos de

fósiles recristalizados con calcita. Este suelo se muestra cubierto de vegetación y efervece al contacto con el HCl.

Figura 16. Suelo Residual de la Formación Rosablanca



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 9. **A)** Suelo residual de la Formación Rosablanca ubicado al NEE del casco urbano del Municipio de Curití sobre la vía San Gil – Curití. **B)** Suelo residual de la Formación Rosablanca ubicado al NE del casco urbano del Municipio de Curití. **C)** Suelo residual de la Formación Rosablanca ubicados en el casco urbano del Municipio de Curití.

### 5.8.3 Unidades de suelo transportado

Estas unidades de suelos se caracterizan por sufrir un transporte después de formarse el suelo in situ. Estos suelos pueden ser transportados por agentes climáticos como vientos, corrientes de agua o por gravedad, produciendo flujos de detritos o masas incoherentes que serán depositados pendiente abajo del lugar donde se genere el flujo.

Tabla 7 Unidades de Suelo Transportado

<b>Unidades Geológicas Superficiales (UGS)</b>			
<b>Unidad</b>	<b>Clase de Unidad</b>	<b>Formación</b>	<b>Nomenclatura</b>
<b>Unidades de Suelo</b>	<b>Unidades de Suelo Transportado</b>	Suelo Aluvial de Cauce Activo	Sal
		Suelo de Rellenos Antrópicos	Sla

#### **Suelo Aluvial de Cauce Activo (Sal)**

Estos suelos se evidencian en el sector N del casco urbano del Municipio de Curití sobre la Quebrada La Laja y hacia el sector NE sobre la Quebrada Curití. Estos suelos aluviales se caracterizan por presentar un cauce en lecho rocoso, mantener un flujo continuo de agua y mostrar cantos y bloques de areniscas de forma subangular sobre las quebradas. La presencia de llanuras de inundación es casi nula debido a que estos se presentan sobre un lecho rocoso.

Figura 17. Suelo aluvial de Cauce activo en el Casco urbano del Municipio de Curití.



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 10. **A)** Quebrada Curití al NE del casco urbano del Municipio de Curití conocido como Pescaderito. **B)** Quebrada Curití ubicada al N del casco urbano del Municipio de Curití. **C)** Quebrada La Laja que desemboca en la Quebrada Curití al N del Municipio de Curtí. **D)** Quebrada Curití al NNE del casco urbano del Municipio de Curití.

### **Suelo de Llenos Antrópicos**

Estos llenos antrópicos formados por materiales inertes como ladrillo, concreto, vidrios y plásticos entre otros, se encuentran ubicados a lo largo de la Quebrada La Laja situada sobre el sector N del casco urbano del Municipio de Curití. Estos

lentos de escombros se encuentran en lugares específicos que la comunidad aprovecha para disponer esta clase de residuos inertes, hacia el SW hay lentos de Residuos de Minería, en este caso minería a cielo abierto de Roca Caliza.

Figura 18. Suelo de lentos Antrópicos en el Municipio de Curití



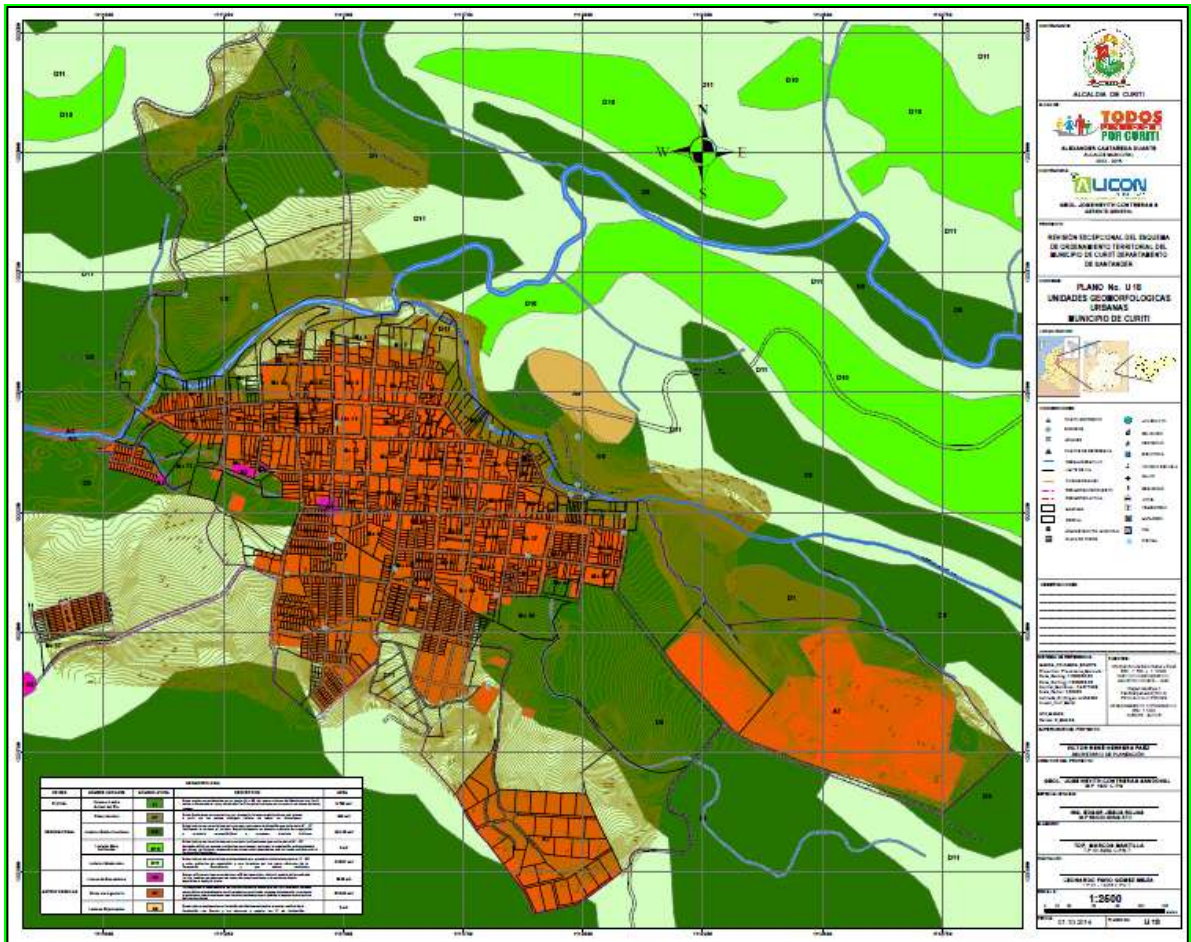
Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 11. Se observan suelos de lentos antrópicos en el casco urbano del Municipio de Curití. Principalmente destinados a almacenar residuos estériles de construcción y basuras.

## 5.9 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La clasificación de Unidades Geomorfológicas utilizada en este proyecto corresponde a la metodología empleada por el ITC de Holanda. Para su nomenclatura se usará la establecida en el estudio de zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa de algunas laderas de los Municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (Santander) desarrollado por INGEOMINAS (2007).

Figura 19. Unidades Geomorfológicas



Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### 5.9.1 Descripción Geomorfológica Local

El perímetro urbano y semiurbano del Municipio de Curití se caracteriza por presentar una geomorfología irregular con pendientes que varían entre  $0^{\circ}$  -  $75^{\circ}$  formando diferentes tipos de laderas. Estas variaciones de pendientes se originan debido a los cambios de rocas y al grado de meteorización de las mismas que afloran sobre el casco urbano y su perímetro.

En el casco urbano del Municipio de Curití se encuentran presentes las Laderas Subhorizontales con inclinaciones que van entre  $0^{\circ}$  -  $12^{\circ}$  posiblemente a que se

encuentre asentado sobre una capa de arenisca de la Formación Los Santos que se encuentre dispuesta de manera casi horizontal o sobre su suelo residual, mientras hacia los sectores N – S del casco urbano las Laderas Moderadas a Inclinas se encuentran confinando el casco urbano con rocas de las Formaciones Los Santos y Rosablanca posiblemente a procesos estructurales que controlan la región.

### 5.9.2 Geoformas de Origen Fluvial

Son geoformas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de procesos climatológicos, la acción del viento y el agua que originan desprendimiento de sedimentos y por consiguiente flujos al mezclarse con agua en temporadas de invierno.

Tabla 8 Unidades Geomorfológicas

<b>Unidades Geomorfológicas</b>		
<b>Origen</b>	<b>Geoforma</b>	<b>Nomenclatura</b>
Fluvial	Cauce o Lecho Actual del Río	F1

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

### **Cauce o Lecho Actual del Río (F1)**

Estos suelos se evidencian en el sector N y NE del casco urbano del Municipio de Curití sobre la Quebrada La Laja y la Quebrada Curití caracterizándose por presentar un cauce de lecho rocoso. El patrón de cauce que presentan estas quebradas es semirecto debido a que se encuentran controladas estructuralmente por una falla que presenta una orientación NE – SW que cambia de dirección sobre el sector del casco urbano del Municipio de Curití para orientarse en sentido E – W. El transporte de sedimentos que presentan estos cauces es de tipo suspensión formando depósitos de arenas sobre el lecho rocoso de las quebradas.

Figura 20. Cauce activo en el Casco urbano del Municipio de Curití.



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 11. **A)** Quebrada Curití al N del casco urbano del Municipio de Curití  
**B)** Quebrada La Laja que desemboca en la Quebrada Curití al NE del Municipio de

Curití. **C)** Quebrada Curití ubicada al N del casco urbano del Municipio de Curití **D)** Quebrada Curití al NE del casco urbano del Municipio de Curití, conocida como Pescaderito.

### 5.9.3 Geoformas de origen denudacional

Son aquellas formas del terreno asociadas a factores externos (acción del agua y el viento) que tienen que ver con procesos erosivos. El agua en forma de lluvia, ríos y de escorrentía superficial es el agente principal en los procesos de meteorización, erosión, transporte y depositación de los materiales que generan las geoformas de origen denudacional.

Tabla 9 **Geoformas de origen denudacional**

Unidades Geomorfológicas		
Origen	Geoforma	Nomenclatura
Denudacional	Cimas Anchas	D1
	Laderas Subhorizontales	D6
	Laderas Muy Inclinas	D10
	Laderas Moderadas	D11

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

#### **Cimas Anchas (D1)**

Estas geoformas se pueden observar sobre el sector SE en la zona de expansión propuesta para urbanizar en el Municipio de Curití. Estas cimas anchas se originan sobre suelos residuales de la Formación Tambor y se caracterizan por presentar formas semicirculares casi planas a partir de las cuales divergen laderas en todas las direcciones.

Figura 21. Cimas Anchas Ubicadas al SE del Casco urbano del municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

### **Laderas Subhorizontales (D6)**

Se pueden evidenciar sobre el sector SE en la zona de expansión propuesta para urbanizar en el Municipio de Curití y se originan sobre suelo residual de la Formación Tambor y en el Sector NNW del casco urbano del Municipio Curití. Estas laderas se caracterizan por presentar una suave inclinación que varía entre  $0^{\circ}$  -  $12^{\circ}$  facilitando el acceso al terreno. Superficialmente se muestra cubierta de vegetación y presenta susceptibilidad a procesos erosivos hídricos.

Figura 22. Laderas Subhorizontales en el Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 13. **A)** Laderas Subhorizontales al SE del casco urbano del Municipio de Curití. **B)** Laderas Subhorizontales al NW del casco urbano del casco urbano del municipio de Curití **C)** Laderas Subhorizontales al SE del casco urbano del Municipio de Curití.

### **Laderas muy Inclinas (D10)**

Estas laderas se encuentran confinando el casco urbano del Municipio de Curití hacia el sector SE y NNW después de las Quebradas Curití y La Laja. Estas se caracterizan por presentar inclinaciones que varían entre  $50^{\circ}$  -  $75^{\circ}$  haciendo difícil su acceso y cubiertas en su mayor parte por vegetación, principalmente por pinos. La litología responsable de formar estas pendientes son las rocas calcáreas de la

Formación Rosablanca y las areniscas de la Formación Tambor, posiblemente, a procesos estructurales que afectaron estas rocas.

Figura 23. Laderas muy inclinadas en el Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 14. **A)** Panorámica donde se observan laderas muy inclinadas al NE del casco urbano del Municipio de Curití **B)** Laderas muy inclinadas hacia el NE del casco urbano del municipio de Curití, sector conocido como Pescaderito. **C)** Panorámica donde se observan laderas muy inclinadas hacia el NE vía Curití – San Gil.

#### **Laderas Moderadas (D11)**

Estas laderas que confinan de forma natural el casco urbano del Municipio de Curití, sobre el sector NNE y NNW, se caracterizan principalmente por presentar

inclinaciones que varían entre 12° - 50° y estar cubiertas de vegetación. Estas laderas son formadas por las rocas calcáreas de la Formación Rosablanca y sus suelos residuales. Estas laderas son susceptibles a procesos erosivos superficiales.

Figura 24. Laderas moderadas en el Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S.

En la Figura 15. **A)** Laderas moderadas hacia el NW del casco urbano del municipio de Curití. **B)** Laderas Moderadas al NW del casco urbano del casco urbano del municipio de Curití **C)** Laderas moderadas al NE del casco urbano del municipio de Curití, Sector de Pescaderito.

#### 5.9.4 Geformas de Origen Antropogénico

Son geformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno; en la mayoría de los casos con el objeto de realizar obras de ingeniería o explotación de recursos.

Tabla 10 Unidades Geomorfológicas de Origen Antropogénico

<b>Unidades Geomorfológicas</b>		
<b>Origen</b>	<b>Geoforma</b>	<b>Nomenclatura</b>
Antropogenico	Llenos de Escombros	A3
	Obras de Ingeniería	A7
	Laderas Explanadas	A9

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

#### **Llenos de Escombros (A3)**

Hace referencia a botaderos de desechos estériles provenientes de la explotación minera y da la construcción, en el municipio se observan hacia la zona oeste algunos de estos son por residuos de explotación minera de calizas y en la zona de la quebrada Curití son escombros de construcción y materiales estériles, en el casco urbano se observan llenos de escombros de construcción.

Figura 25. Llenos de Escombros en el casco urbano del Municipio de Curití.



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 16. **A y B** Llenos de Escombros al W en el casco urbano del municipio de Curití. **C)** Llenos de Escombros al SW del casco urbano de Curití. **D)** Llenos de Escombros al W del casco urbano de Curití bajo el Puente a la entrada del casco urbano de Curití.

### **Obras de Ingeniería (A7)**

Hace referencia al asentamiento del casco urbano del Municipio de Curití donde el sistema constructivo predominante es el sistema no aporticado, aunque actualmente, se alcanzan a evidenciar construcciones aporticados (columna – vigas) debido al avance constructivo del casco urbano.

Figura 26. Obras de Ingeniería en el casco urbano del Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 16. **A)** Casa construida sobre roca Caliza de la Formación Rosablanca al S del casco urbano del Municipio de Curití. **B)** Casa construida sobre roca Caliza de la Formación Rosablanca al SSW del casco urbano del Municipio de Curití. **C)** Casa construida sobre roca Caliza de la Formación Rosablanca al S del casco urbano del Municipio de Curití.

### **Laderas Explanadas (A9)**

Se pueden observar de manera local sobre el casco urbano del Municipio de Curití y con más detalle en la zona de expansión propuesta para urbanizar, donde se evidencia este tipo de laderas, en la implantación del diseño vial sobre la zona de expansión. Estas laderas explanadas se formaron antropicamente sobre suelo residual de la Formación Los Santos y no alcanzan a superar los 5° de inclinación.

Figura 27. Laderas Explanadas en el casco urbano del Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 18 **A)** Laderas Explanadas al SE del casco urbano del Municipio de Curití, Vía a la Vereda el Común. **B)** Laderas Explanadas al SE del casco urbano del Municipio de Curití, Vía a la Vereda el Común. **C)** Laderas Explanadas en el Casco Urbano del Municipio de Curití.

## **6. PROCESOS EROSIVOS**

La erosión del suelo se manifiesta por la actividad del agua por medio de tres fases: el arranque de partículas de sedimentos, el transporte del mismo y finalmente su depositación. Estos procesos erosivos se clasifican de la siguiente manera, según Van Zuidam, 1996.

### **6.1 EROSIÓN LAMINAR**

Este tipo de erosión predomina en el sector SE del casco urbano del Municipio de Curití sobre la zona de expansión sobre suelo residual de la Formación Los Santos y sobre el sector SSW del casco urbano sobre suelo residual de la Formación Rosablanca. Este tipo de erosión se manifiesta de manera superficial arrancando sedimentos y su cobertura vegetal dejando expuesto el terreno para la generación de procesos denudacionales que dan inicio al desarrollo de pendientes. La intensidad de este proceso se mide teniendo en cuenta el espaciamiento entre canales.

Figura 28. Erosión Laminar en el casco urbano del Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 19. Se observan procesos de Erosión laminar en las areniscas de la Formación Tambor al NE del casco Urbano del Municipio de Curití.

## 6.2 EROSIÓN EN SURCOS

Este tipo de proceso erosivo domina en el sector SE sobre la zona de expansión y sucede posterior a la erosión laminar. Este tipo de erosión se produce debido a que la escorrentía por agua lluvia genera canales que dan origen a estos surcos. Estos surcos se caracterizan por tener forma de canal dispuesto de forma semirecta que se originan en la superficie del terreno. La intensidad de este

proceso se mide teniendo en cuenta la profundidad de los surcos y el espaciamiento entre canales.

Figura 29. Erosión en surcos sobre la zona de expansión del Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 20. Se observan procesos de Erosión Hídrica como Surcos principalmente afectando las areniscas de la Formación Tambor y su suelo Residual al NE del casco Urbano del Municipio de Curití.

### 6.3 PROCESOS KÁRSTICOS

Corresponde a aquellas geoformas que se originan al contacto de la roca calcárea con la atmosfera; se expresan como formas de disolución del componente primario debido a flujos de agua no confinados (flujos laminares) que se mueven como consecuencia de la acción de la gravedad.

#### 6.3.1 Disolución Tipo Rillen Lapiaz

Este tipo de disolución kárstica se evidencia sobre las rocas calcáreas de la Formación Rosablanca sobre el sector S del casco urbano del Municipio de Curití y se manifiesta sobre estas rocas debido a la susceptibilidad que tienen de

reaccionar con la acidez del agua lluvia formando pequeños canales poco profundos, separados por crestas agudas en espacios de unos pocos centímetros. También se manifiesta a nivel más macro en capas de roca calcárea que quedan expuestas en superficie produciendo una disolución mayor seguramente por una fuente hídrica que pasaba sobre estas rocas.

Figura 30. Rillen Lapiaz en el casco urbano del Municipio de Curití



Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 21. **A, B y D** Disolución Tipo Rillen Lapiaz sobre las Calizas de la Formación Rosablanca al NW del casco urbano del Municipio de Curití. **C** Disolución Tipo Rillen Lapiaz sobre las Calizas de la Formación Rosablanca al SW del casco urbano del Municipio de Curití.

## 7. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

Sobre el casco urbano del Municipio de Curití y su perímetro suburbano se pueden evidenciar rasgos estructurales locales que controlan la Quebrada de Curití localizada sobre el sector N del área de estudio. Estas estructuras se asociaran con los rasgos estructurales regionales teniendo en cuenta el marco tectónico regional de la Memoria Explicativa de Santander, INGEOMINAS, 2001 y la Plancha Geológica 135 INGEOMINAS, 1985.

Figura 31. Fallas secundarias del Área de Estudio



Fuente. Google Earth, 2014, Modificada

### 7.1 FALLAS PRINCIPALES

Estas se ubican cerca de la zona de estudio principalmente son fallas inversas de cabalgamiento de bajo Angulo que indican los esfuerzos compresivos de la zona, son sinuosas y continuas en la mayoría de sus trayectos en algunos casos interrumpidas por otros lineamientos, atraviesan las unidades del cretácico, como la Formación Rosablanca, Paja, Tambor, Tablazo.

### **7.1.1 Falla Curití:**

Es una Falla inversa, dextral cuya inclinación es NW, y se encuentra al W de la Zona de estudio, su orientación es al NE y atraviesa formaciones cretácicas como Rosablanca, Paja y Tablazo.

### **7.1.2 Falla Irapire:**

Es una Falla inversa, dextral con orientación al NE, se encuentra en la vereda Irapire y el Carmen, su terminación a pequeños lineamientos paralelos a ella.

## **7.2 FALLAS SECUNDARIAS**

Corresponden a Fallas normales, dextrales, continuas y sinuosas que afectan rocas del cretácico de acuerdo a las fallas secundarias identificadas en el área de estudio, como las Formaciones Tambor y Rosablanca.

### **7.2.1 Falla la Cajonera:**

Falla Normal con orientación NE y su inclinación es al SE, haciendo un control estructural de la quebrada Curití y una parte de la quebrada la Cajonera, en su zona central tiene comportamiento de fractura y corta las unidades del cretácico como Rosablanca y Tambor

### **7.2.2 Falla Peña Negra**

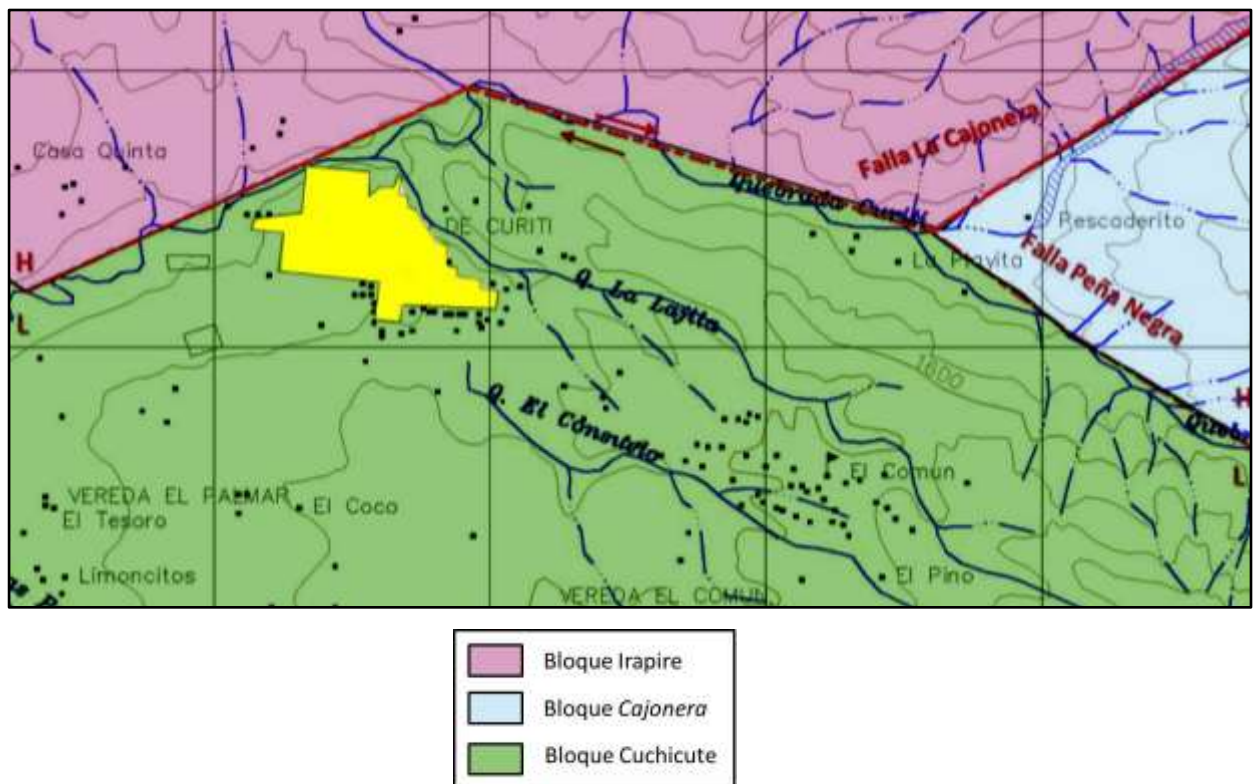
Falla Normal con Orientación E-W y su inclinación es hacia el N, hace un control estructural en la quebrada Peña negra y atraviesa únicamente a la formación Tambor.

### 7.3 BLOQUES ESTRUCTURALES

Los bloques estructurales definidos para el área de estudio teniendo en cuenta los datos recolectados en campo de diaclasas, su distribución y espaciamiento, que generan zonas homogéneas conservando características de fallamiento y diaclasamiento, los datos de diaclasas se procesaron con el Software TECTONICS para establecer las orientaciones predominantes.

En el Área de estudio se establecieron 2 bloques caracterizados por sus sistemas de diaclasamiento y fallamiento específico, asociados a los principales esfuerzos de la zona de estudio.

Figura 32. Bloques estructurales en el área de estudio

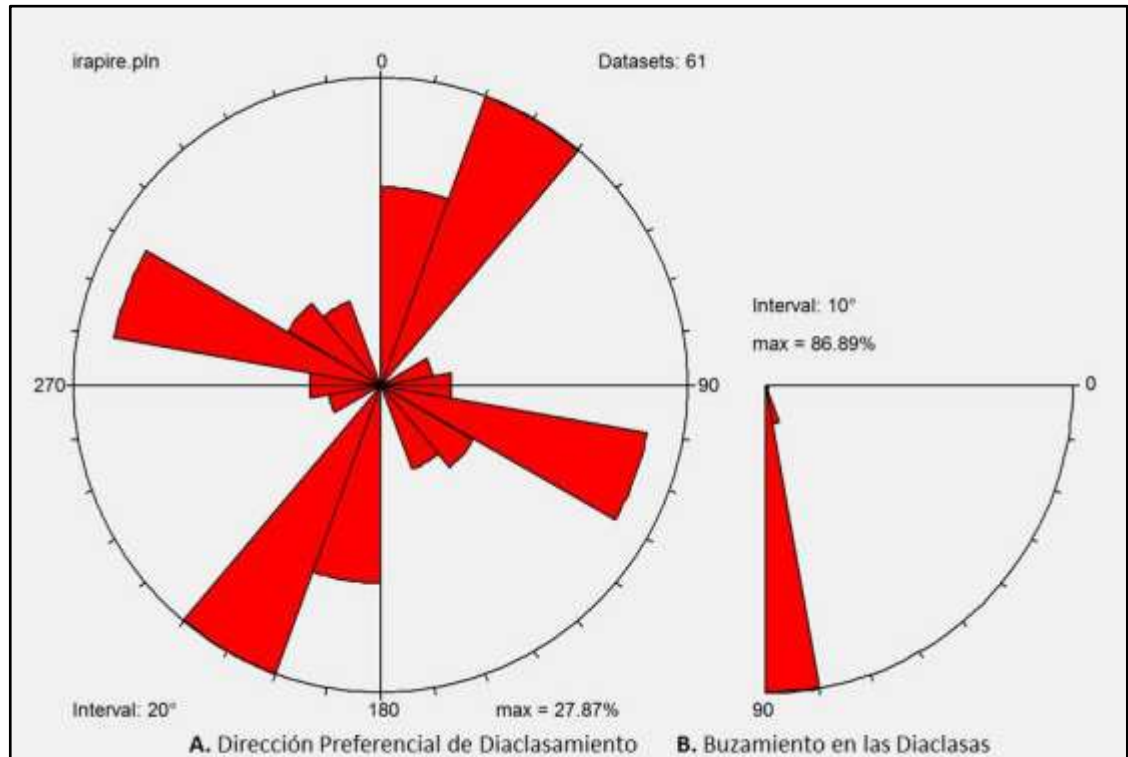


Fuente, ALICON & ING S.A.S

### 7.3.1 Bloque Irapire

Para este bloque se realiza en análisis por medio de un Diagrama de Rosetas, con 61 datos de fracturas con una orientación preferencial de N8W y una segunda orientación de N13E y una inclinación promedio de 84° (Ver Anexo 2.1, NE)

Figura 33. Diagrama de Rosetas para el Bloque de Irapire

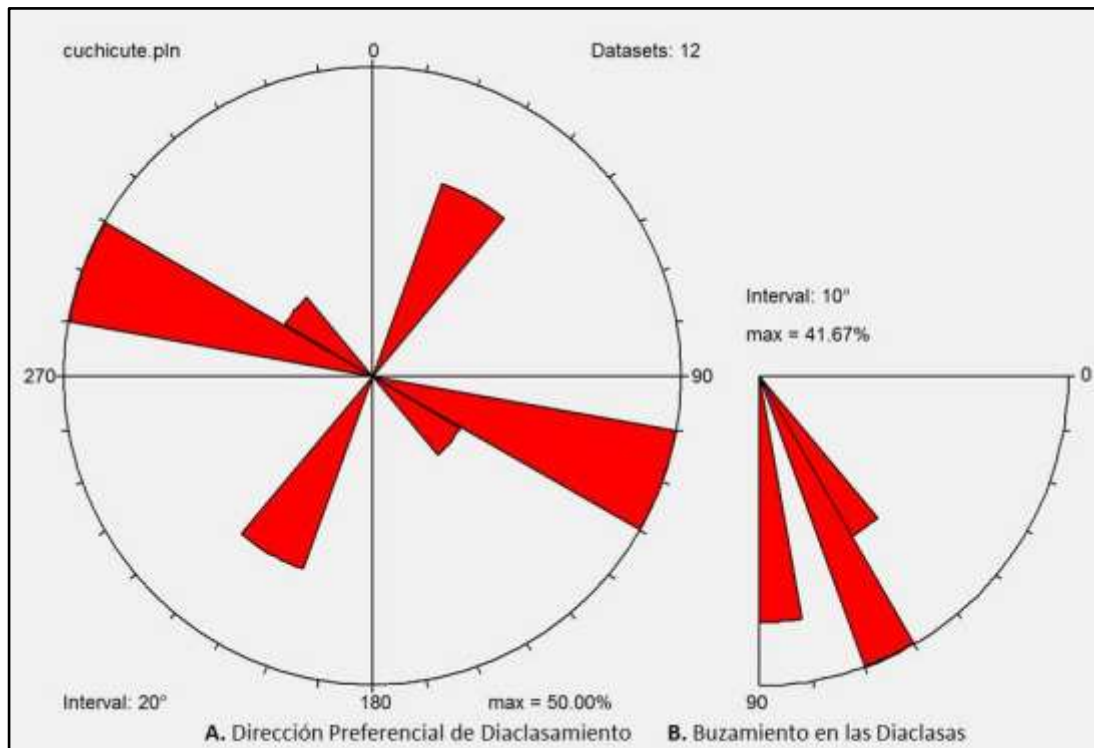


Fuente, ALICON & ING S.A.S

### 7.3.2 Bloque Cuchicute

Para este bloque se realiza en análisis por medio de un Diagrama de Rosetas, con 12 datos de fracturas con una orientación preferencial de N66W y una segunda orientación de N32E y una inclinación promedio de 69° (Ver anexo 2.1, SW).

Figura 34. Diagrama de Rosetas para el Bloque Cuchicute



Fuente, ALICON & ING S.A.S

## 7.4 ANALISIS DE MACIZO ROCOSO SUELO URBANO DE CURITI

### 7.4.1 Areniscas de la Formación Tambor

Este macizo de areniscas de la Formación Tambor que aflora hacia el sector NE del casco urbano se caracteriza por presentar una orientación promedio de las capas (S0) de 318/9 y tres familias de fracturas (J1 – J2 –J3 –J4 –J5 – J6) con las siguientes orientaciones 42/74, 179/82, 285/58, 3/82, 297/81 y 21/86. Estas Areniscas se disponen en forma plano paralela y presentan espesores que varían entre 0,3m – 0,6m.

Figura 35. Familias de Diaclasas de las Areniscas de la Formación Tambor



Fuente, ALICON & ING S.A.S

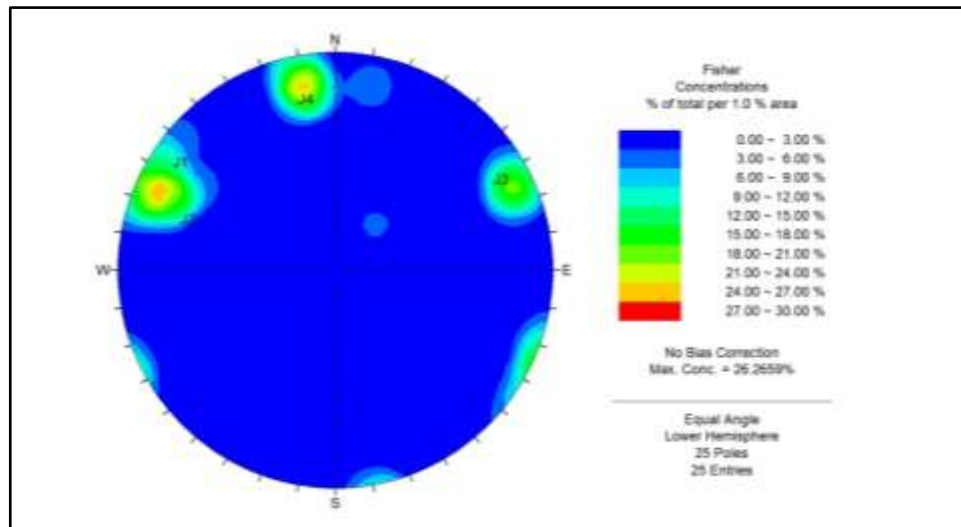
En la Figura 47 se observan las areniscas de la formación Tambor vía casco urbano de Curití – Pescaderito, a 20 metros del puente sobre la quebrada la Laja, en ambas se observa el patrón de diaclasamiento

Para la caracterización de este macizo rocoso se tomaron aproximadamente 104 datos estructurales (Ver Anexo 2.1), los cuales representan la superficie de estratificación (S0) y seis familias de fracturas (J1 – J2 –J3 –J4 –J5 – J6). Estos datos se procesaron mediante el Software DIPS aplicando inicialmente una densidad polar la cual genera una nube donde se puede reconocer el punto de mayor densidad generando un plano promedio de todos los valores tomados en campo.

El fracturamiento presente en el macizo no es intenso y esto se evidencia en el espaciamiento observado entre sus fracturas. Este macizo no presenta susceptibilidad a procesos de remoción en masa y evidencia pocos procesos de meteorización avanzada. Esto se debe a que estas areniscas se encuentran bien calibradas haciendo la estos niveles más competentes. Las intercalaciones de lodolitas si son susceptibles a procesos de meteorización.

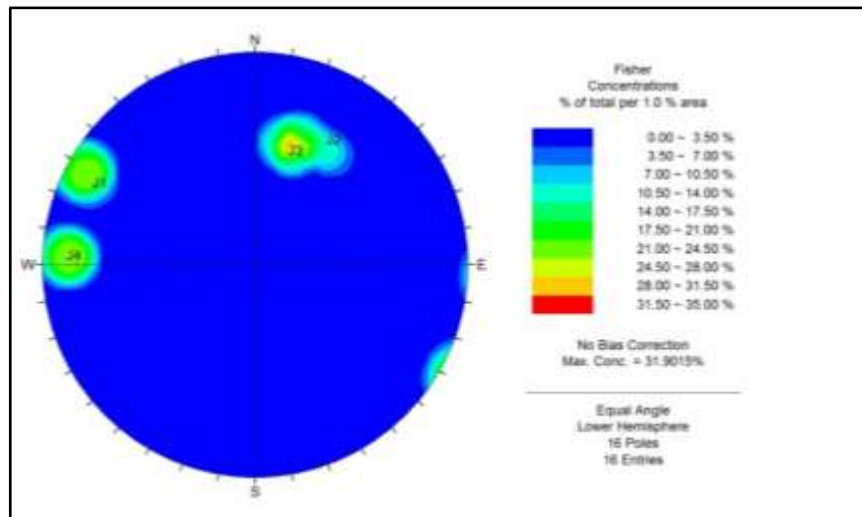
Los datos recolectados en campo se procesaron mediante el Software DIPS, aplicando inicialmente una densidad polar la cual genera una nube donde se observa el punto de mayor densidad generando un plano promedio, identificadas las zonas de máxima densidad se realizaron los círculos máximos que representan las fracturas del macizo para su respectivo análisis cinemático de rotura en rocas.

Figura 36. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NE.



Fuente, ALICON & ING S.A.S

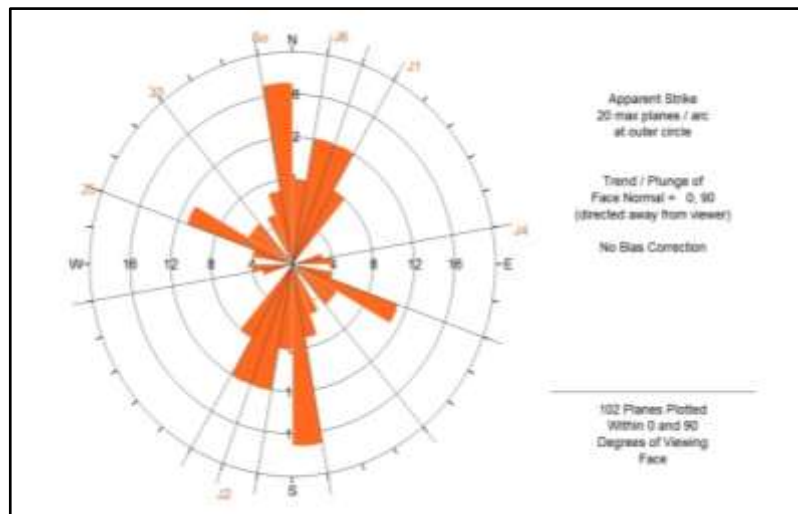
Figura 37. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NW



Fuente, ALICON & ING S.A.S

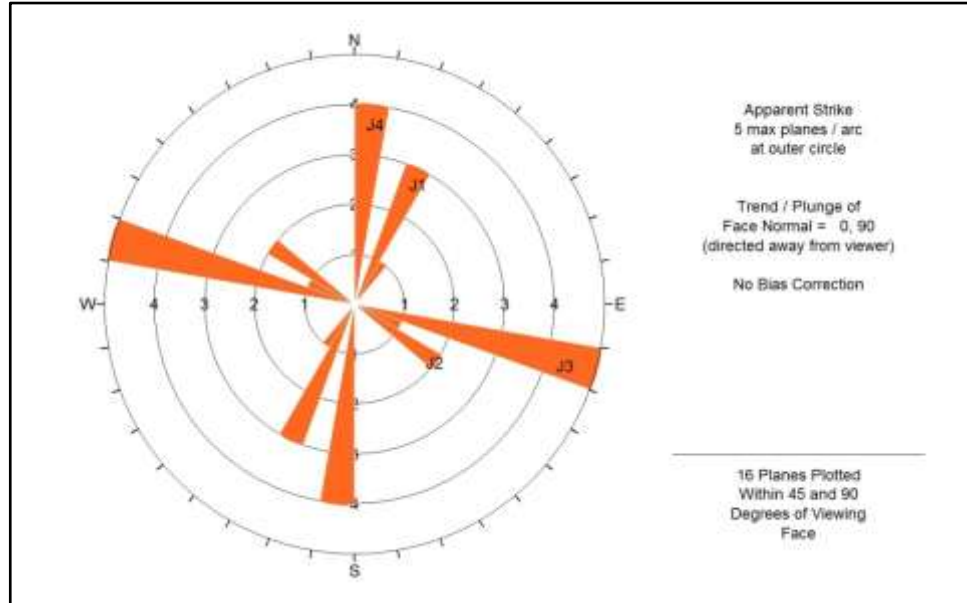
Mediante el diagrama de rosetas se identificaron las diaclasas (J1-J2-J3-J4) a la superficie de estratificación (S0) de forma directa (Ver Anexo 2.2).

Figura 38. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (S0) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NE.



Fuente, ALICON & ING S.A.S

Figura 39. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (So) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3-J4) en las Areniscas de la Formación Tambor al NW



Fuente, ALICON & ING S.A.S

### CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO

La clasificación propuesta por Bieniawski (1989) se basa en la determinación del índice RMR (Rock Mass Rating). Para realizar la estimación de este parámetro, el macizo rocoso debe ser dividido en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea.

La clasificación geomecánica de macizos se realizara en las zonas de interés considerando cada uno de estos materiales predominantes en estos sectores, por lo tanto, al finalizar el estudio de macizos se conocerán los parámetros para la clasificación de estos.

Los parámetros involucrados dentro de la estimación del índice RMR son los siguientes:

Tabla 11 Estimación de las Resistencias Medias de ciertas Rocas según Bieniawski, 1973

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)		
	MÍNIMA	MÁXIMA	MEDIA
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
<b>Arenisca</b>	<b>40</b>	<b>179</b>	<b>95</b>
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomita	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	259	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Silice	587	683	635

Fuente. Modificado de Mecánica de Rocas Vol. 1

**RQD:** Este parámetro, se considera de interés para seleccionar el revestimiento de los túneles, se ha definido anteriormente al tratar sobre la clasificación de Deere (1967).

**Espaciado de las Juntas:** el término junta se refiere a las discontinuidades estructurales: fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc., y su espaciado es la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia, es decir, de cada conjunto con las mismas características geomecánica. Entre este parámetro y el anterior existe una relación clara, por lo que a no ser por razones históricas, o sea por la abundante información relacionada con el RQD que existía antes de la aparición de las clasificaciones geomecánica RMR y Q, quizás estas no habrían incluido el RQD.

Tabla 12 Clasificación de Deere (1967) del espaciamiento de las juntas.

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO
Muy ancho	>3 m	Sólido
Ancho	1-3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3-1 m	En bloques
Cerrado	50-300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Fuente. Mecánica de Rocas Vol. 1

**Naturaleza de las Juntas:** para describir el estado de las juntas se utilizan se utilizan los siguientes parámetros:

- Apertura entre los labios de la discontinuidad
- Continuidad
- Rugosidad de los labios
- Resistencia de la roca en los labios de la discontinuidad
- Relleno de la junta

**Presencia de Agua:** en un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene mucha influencia en su comportamiento, debiendo estimarse el flujo de agua en litros/min cada 10 m del túnel. La descripción utilizada es la siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

**Orientación de las Discontinuidades:** la orientación de las discontinuidades respecto al eje de la estructura subterránea es un factor de suma importancia para determinar el sostenimiento necesario. La correcta orientación de la cavidad puede hacer descender claramente las necesidades de entibación.

De acuerdo a los parámetros observados anteriormente se obtendrá el valor primario del RMR que determinara la clasificación del macizo.

Tabla 13 Parámetros de Clasificación para Macizos Rocosos para la obtención del Índice RMR

PARAMETROS			ESCALA DE VALORES						
1	Resistencia de la roca intacta	Bajo carga puntual	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Para estos valores es preferible la resistencia a compresión simple.		
		A compresión simple	>250 Mpa	100-250 Mpa	<b>50-100 Mpa</b>	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	Valor	15	12	<b>7</b>	4	2	1	0	
2	R.Q.D.		90%-100%	75%-90%	50%-75%	<b>25%-50%</b>	<25%		
	Valor		20	17	13	<b>8</b>	3		
3	Espaciado de las juntas		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	<b>60-200 mm</b>	<60 mm		
	Valor		20	15	10	<b>8</b>	5		
4	Condiciones de las juntas		Muy rugosa, sin continuidad, cerradas, roca labios sana	<b>Ligeramente rugosa separación &lt;1 mm, roca labios ligeramente meteorizada.</b>	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios muy meteorizada.	Espejo o falla relleno de espesor <5 mm, o juntas abiertas 1-5 mm, juntas continuas	Relleno blando de espesor >5 mm, o juntas abiertas >5 mm, juntas continuas.		
	Valor		30	<b>25</b>	20	10	0		
5	Agua	Flujo en cada 10 m de túnel, o bien	Ninguno	<10l/min	10-25l/min	25-125l/min	>125l/min		
		Relación presión del agua en la junta/tensión principal máxima	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condiciones Generales	<b>Completamente seco</b>	Manchas de humedad	Muy húmedo	Goteo	Flujo de agua		
		Valor	<b>15</b>	10	7	4	0		

Fuente. Modificado de Bieniawski, 1989, en Ramírez y Alejano, 2008.

Tabla 14 Clasificación de Macizos Rocosos según el Índice RMR

<b>VALOR TOTAL DEL R.M.R.</b>	81-100	61-80	<b>41-60</b>	21-40	<20
<b>CLASE NUMERO</b>	I	II	<b>III</b>	IV	V
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Muy bueno	Bueno	<b>Medio</b>	Malo	Muy malo

Fuente. Modificado de Bieniawski, en Ramírez y Alejano, 2008.

De acuerdo a los análisis realizados a los parámetros para la clasificación geomecánica de macizos rocosos en el Municipio de Curití se obtuvo la siguiente información: para obtener la resistencia a compresión simple del material rocoso se realizó un estudio a unas muestras de roca fresca (Areniscas) a la cual se le aplicó una carga axial con control de deformación donde se consiguió un valor de 95 MPa para la Arenisca. En cuanto a la estimación del RQD debido a que no se cuenta con testigos de sondeos para realizar la relación de núcleo y los fragmentos no fracturados mayores a 10cm, en campo se determinó que la espaciación de las juntas es > a 0,6m, permitiendo así calcular el RQD teórico así:

$$RQD = 100^{-0,1\lambda(0,1\lambda+1)}; \text{ Con } \lambda = 1/\text{Espaciados en metros}$$

$$RQD = 100^{-0,1(1/0,6)(0,1(1/6)+1)} = 0,41 * 100 = 41\%$$

Para las Areniscas de la Formación Tambor, se tuvieron en cuenta el espaciado y la naturaleza de las juntas y la presencia de agua en el macizo rocoso, todos estos datos obtenidos de la visita de campo realizada al área de influencia directa del proyecto. A continuación se realizara la caracterización del macizo rocoso según los parámetros establecidos para determinar el índice de RMR y su clasificación.

Tabla 15 Parámetros para la Clasificación Geomecánica de Macizos Rocosos

<b>ZONA II - LODOLITAS</b>		
<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>PUNTAJE</b>
Resistencia a compresión simple del material rocoso	95 MPa	7
RQD	41%	8
Espaciado de las juntas	6.0 cm – 20.0 cm	8
Naturaleza de las juntas	Ligeramente rugosa, separación <1 Ligeramente meteorizada	25
Presencia de agua	Completamente Seco	15
Valor total del R.M.R.		63
<b>Clasificación</b>	<b>Clase II</b>	
	<b>Medio</b>	

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

### **RMS SEGÚN EL CRITERIO DE FRACTURA HOEK – BROWN**

La obtención de los parámetros de Hoek-Brown para las areniscas de la Formación Tambor se realizó con la ayuda del software RocLab de Rocscience Inc. y la determinación de las propiedades por métodos empíricos desarrollados durante la visita de campo en cada una de las zonas.

Los parámetros con los que se trabajó corresponden a las propiedades predominantes en macizo:

## ARENISCAS

**Resistencia de Compresión Intacta Uniaxial: 95 MPa**

Figura 40. Resistencia de Compresión Uniaxial

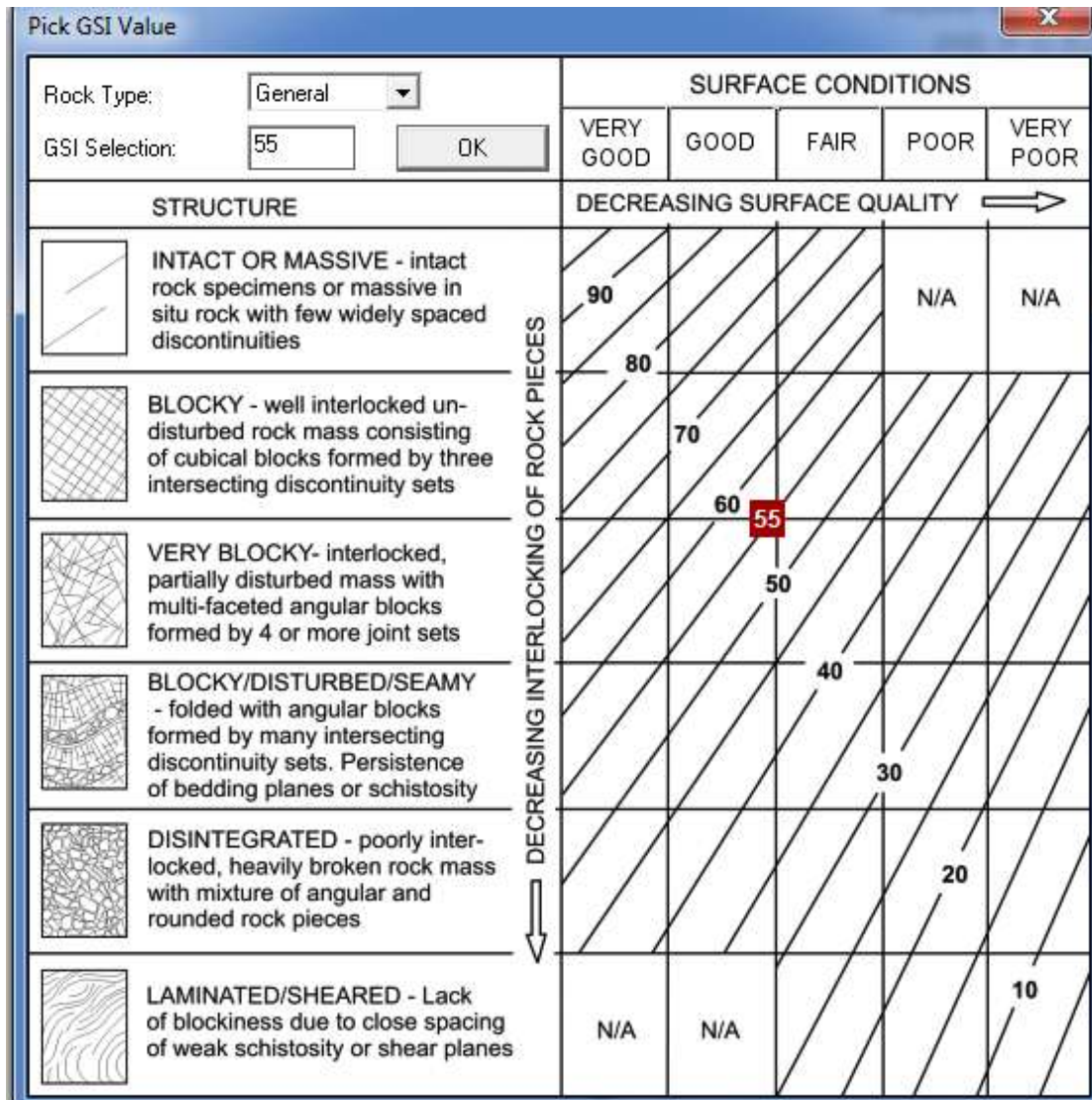
Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigci):  MPa

Fuente. RocLab de RocScience Inc.

## Índice Geológico de Resistencia, GSI: 55

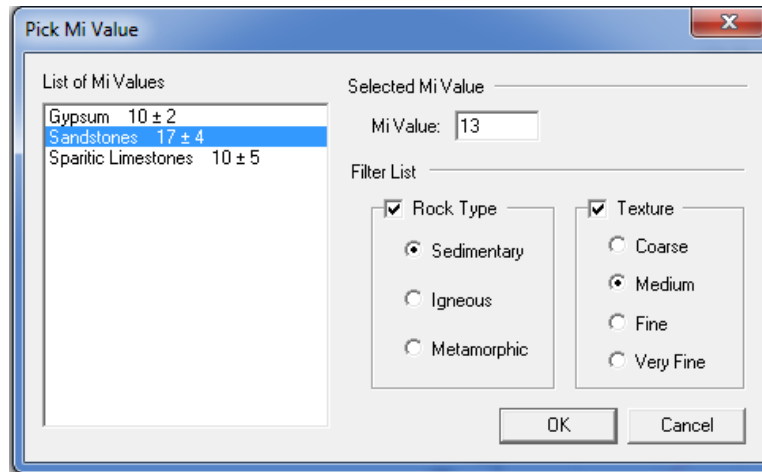
Figura 41. Índice Geológico de Resistencia



Fuente. RocLab de RocScience Inc.

mi: 13 para una Arenisca

Figura 42. Valor de mi



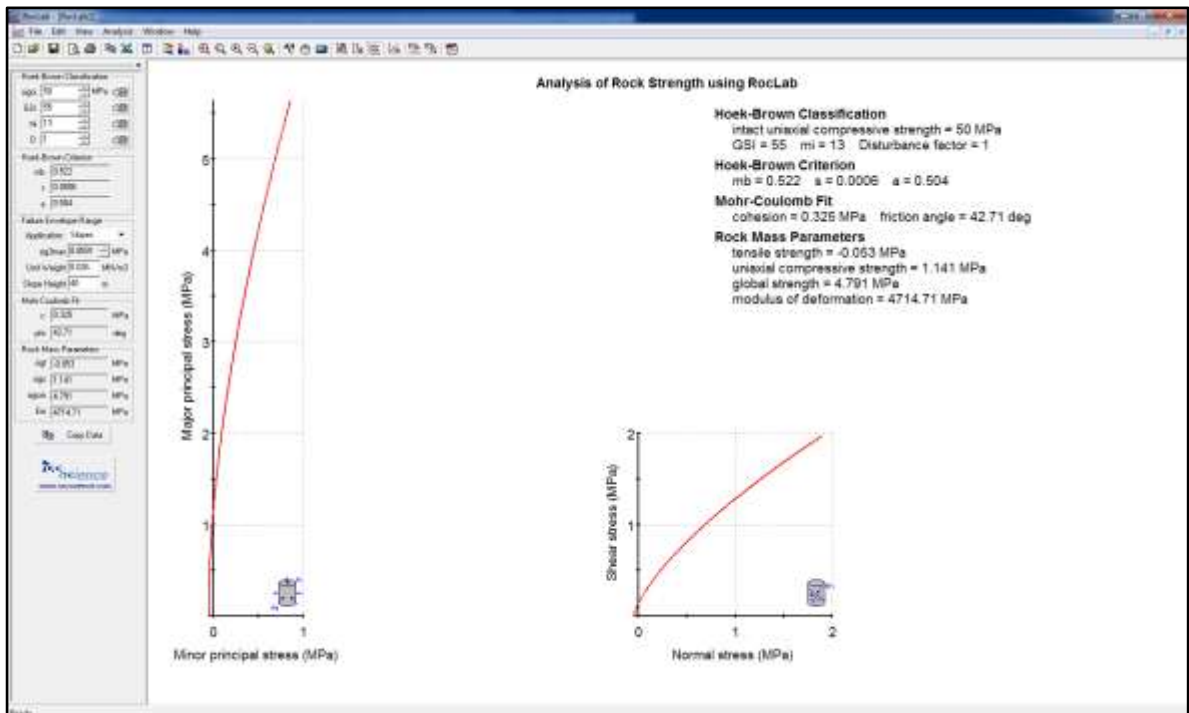
Fuente. RocLab de RocScience Inc.

Tabla 16 Análisis de la Resistencia del Macizo usando RocLab

<b>Criterio de Hoek – Brown</b>	<b>Mohr – Coulomb Fit</b>	<b>Parámetros del Macizo Rocoso</b>
<b>mb:</b> 0.522	<b>cohesión:</b> 0.325 MPa	<b>resistencia a la tensión:</b> -0.053 MPa
<b>s:</b> 0.0006	<b>ángulo de fricción:</b> 42.71°	<b>resistencia a la compresión uniaxial:</b> 1.141 MPa
<b>a:</b> 0.504		<b>resistencia global:</b> 4.791 MPa
		<b>módulo de deformación:</b> 4714.71 MPa

Fuente. RocLab de RocScience Inc.

Figura 43. Clasificación de Hoek – Brown



Fuente. RocLab de RocScience Inc.

#### 7.4.2 Calizas de la Formación Rosablanca

Este macizo de Calizas de la Formación Rosablanca que aflora hacia el sector SE del casco urbano se caracteriza por presentar una orientación promedio de las capas (S0) de 19/10, inclinadas hacia el NW, su disposición en contra la pendiente.

El fracturamiento presente en el macizo no es muy intenso, pero en su mayor parte es debido a los procesos de disolución del carbonato de calcio, sin embargo la calidad del macizo es buena, las calizas son compactas a pesar de la afectación por interperismo.

En este macizo se caracterizaron tres familias de fracturas (J1 – J2 – J3) con las siguientes orientaciones 66/52, 43/76 y 21/2, Estas Calizas se disponen en forma plano paralela y presentan espesores que varían entre 0,3m – 1m, en las áreas más alteradas del macizo las calizas tienen espesores promedio de 40 cm.

El fracturamiento presente en el macizo no es intenso y esto se evidencia en los espacios considerables entre sus fracturas. Este macizo presenta superficialmente susceptibilidad a procesos de disolución y erosión laminar.

Figura 44. Familias de Diaclasas de las Calizas de la Formación Rosablanca



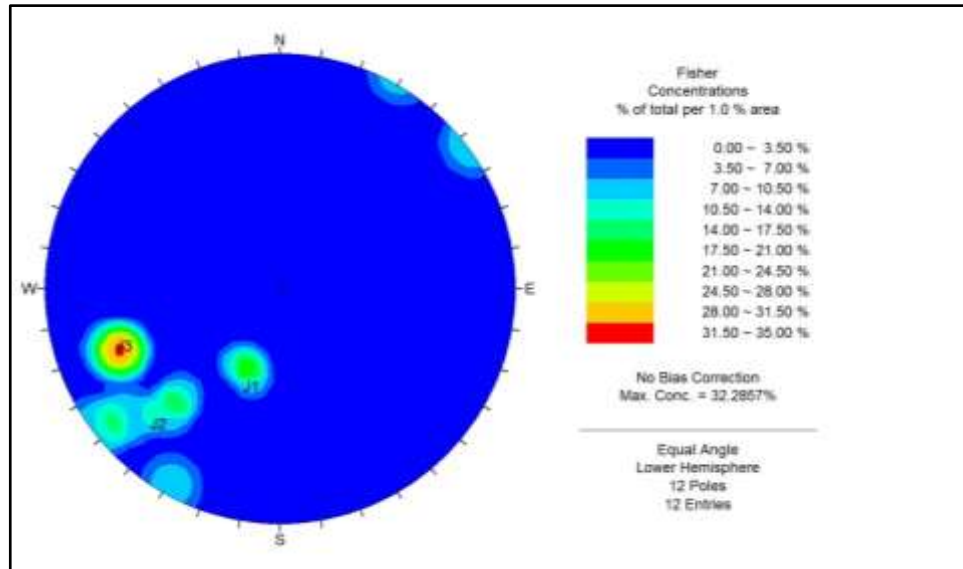
Fuente, ALICON & ING S.A.S

En la Figura 56. Se observa a la izquierda afloramiento de las Calizas de la Formación Rosablanca al sur del casco urbano del municipio de Curití, a la derecha se observa una foto de detalle de los patrones de diaclasamiento de las Calizas de la Formación Rosablanca.

Los datos recolectados en campo se procesaron mediante el Software DIPS, aplicando inicialmente una densidad polar la cual genera una nube donde se observa el punto de mayor densidad generando un plano promedio, identificadas

las zonas de máxima densidad se realizaron los círculos máximos que representan las fracturas del macizo para su respectivo análisis cinemático de rotura en rocas.

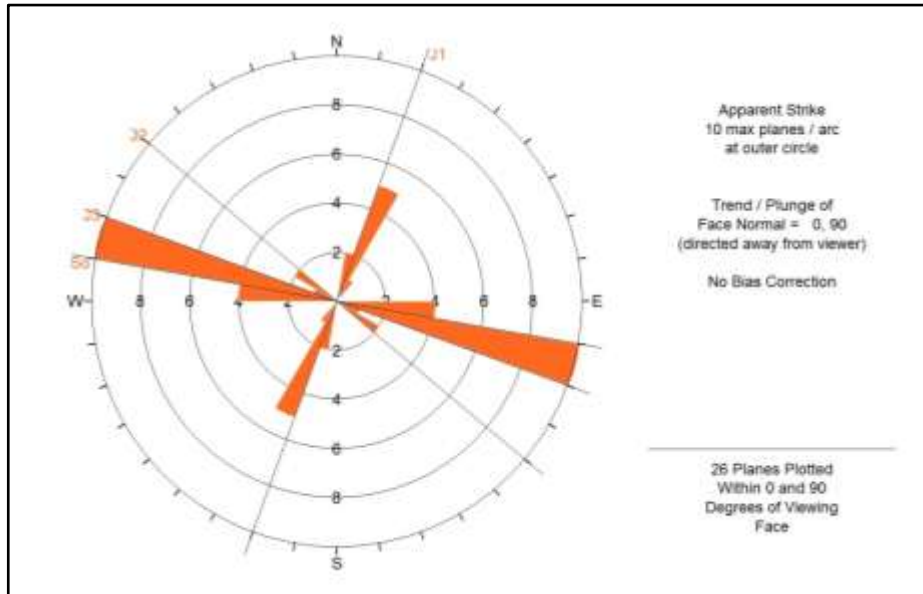
Figura 45. Densidad Polar de las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3).



Fuente, ALICON & ING S.A.S

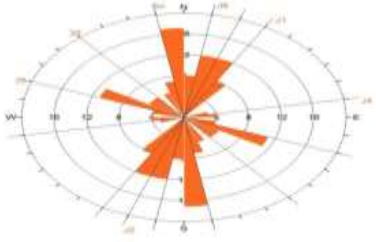
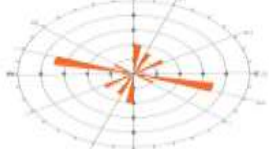
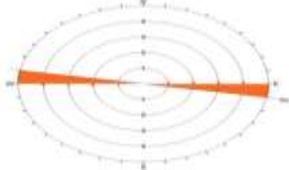
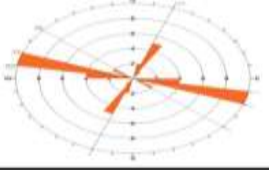
Mediante el diagrama de rosetas se identificaron las diaclasas (J1-J2-J3) a la superficie de estratificación (S0) de forma directa.

Figura 46. Diagrama de Rosetas del Plano de Estratificación (So) y las Familias de Diaclasas (J1-J2-J3)



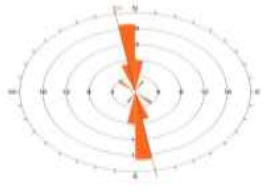





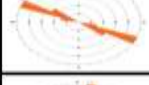
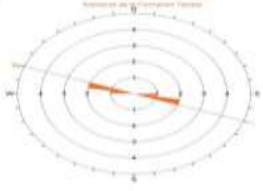


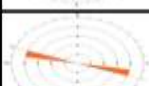

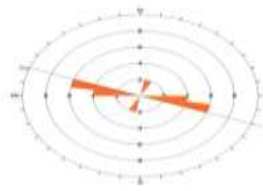


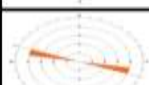
Fuente, ALICON & ING S.A.S

Figura 47. Tabla resumen de datos estructurales por zonas en el Municipio de Curití

SECTOR	ESTRATIFICACIÓN		FAMILIA	DIACLASAS		ROSETA
	DIP	DIR DIP		DIP	DIR DIP	
NE	10	85	1	86	129	
	8	89		87	111	
	9	51		88	114	
	7	48		89	108	
	5	47		85	119	
	14	83		88	121	
	12	81	72	122		
	16	87	79	110		
	11	79	77	114		
	15	76	81	112		
	13	84	76	115		
	12	82	31	221		
	13	84	81	121		
	16	86	84	244		
	17	85	87	246		
	12	87	82	249		
	11	79	83	245		
	8	84	85	246		
	14	77	88	170		
	13	80	76	167		
	16	87	78	174		
	14	81	83	167		
	11	79	80	172		
	11	77	78	171		
	14	81	84	169		
	11	86	87	19		
	13	84	86	26		
	14	80	89	23		
	15	77	86	27		
	10	274	87	16		
	7	272	87	28		
	9	274	88	24		
	12	274	89	26		
	10	276	89	16		
	14	280	86	26		
	9	274	87	21		
	11	294	88	29		
	12	286	89	29		
	15	274	81	33		
	14	291	84	26		
	14	271	82	31		
			84	29		
		81	34			
		80	32			
		89	114			
		87	123			
		88	119			
		89	120			
		87	124			
		89	127			
		86	121			
		88	104			
		87	101			
		85	105			
		85	100			
		83	104			
		81	108			
		82	106			
		84	101			
		87	109			
		86	104			
NW	Estratificación Areniscas de la Formación Tambor (No)		1	84	120	 <p>Las diclasas Pertenecen a las Areniscas de la Formación Tambor.</p>
	26	10		85	119	
	29	5		83	117	
	Estratificación Calizas de la Formación Rosablanca (SA)		2	64	210	
	19	12		64	210	
	10	109		65	198	
9	149	66	200			
7	146	69	191			
10	147	58	190			
		57	199			
		55	199			
		81	91			
		84	93			
		81	94			
		82	92			
SE	11	363				
	14	367				
	13	366				
	13	365				
		13	367			
SW	7	114	1	84	120	
	12	110		85	119	
	13	107		86	118	
	9	106	83	117		
	4	188	64	210		
	2	190	64	210		
	6	191	65	198		
	3	187	66	200		
	5	192	63	191		
	8	193	64	190		
	6	186	57	199		
	4	194	55	199		
5	189					
8	191					

Fuente, ALICON & ING S.A.S

Figura 48. Tabla resumen de la Geología estructural Local por zonas en el Municipio de Curití

SECTOR	ESTRATIFICACIÓN	FAMILIA	DIACLASAS	ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL MACIZO	FALLA ASOCIADA
NE		1		La orientación y la inclinación del Macizo solo coinciden con una familia de diaclasas por lo tanto el riesgo de fallamiento estructural es bajo, para las Areniscas de la Formación Tambor.	La orientación de las familias de diaclasas J1, J2 y J4 es NE y están asociadas a un lineamiento inferido hacia el NE del casco Urbano con dirección NE, la familia J3 con orientación NW se encuentra asociada a la Falla Curití.
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
NW		1		La orientación y la inclinación del Macizo solo coinciden con una familia de diaclasas por lo tanto el riesgo de fallamiento estructural es bajo, para las Areniscas de la Formación Tambor.	La orientación de las familias de diaclasas J1 y J4 es NE y están asociadas a un lineamiento inferido hacia el NE del casco Urbano con dirección NE, la familia J2 con orientación NW se encuentra asociada a la Falla Curití y la familia de diaclasas J3 se encuentra asociada al lineamiento inferido mas reciente con dirección NW
		2			
	3				
	4				
SW		1		La orientación y la inclinación del Macizo no están coincidiendo con ningún dato estructural de las familias de diaclasas no ocurrirá fallamiento por tendencias estructurales.	La orientación de la familia de diaclasas J1 es NE y están asociadas a un lineamiento inferido hacia el NE del casco Urbano con dirección NE, las familias de diaclasas J2 y J3 se encuentran asociadas al lineamiento inferido mas reciente con dirección NW
		2			
		3			

Fuente, ALICON & ING S.A.S

## **8. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA GENERAL**

Para determinar un perfil de suelo que se ajuste a la realidad es necesario contar con la mayor información posible de éste, identificando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de suelo encontrados; también es necesario comprender como son los contactos entre los diferentes suelos encontrados e identificar los afloramientos de los macizos rocosos si existen, así como los materiales de relleno, los drenajes existentes, entre otro parámetros que sirven para la toma de decisiones en los modelamientos geotécnicos.

Por medio de la exploración geotécnica y los ensayos de laboratorio, se obtienen las principales propiedades del suelo necesarias para el modelamiento de estabilidad.

### **8.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

La primera etapa de los estudios de suelos corresponde al reconocimiento del terreno por parte del grupo técnico de ALICON & ING. S.A.S. (con la presencia de un Ingeniero Civil, un Geólogo y el grupo encargado de manejar el equipo para los sondeos SPT y extracción de muestras) para realizar la ubicación en campo de la exploración geotécnica propuesta en los planos suministrados por el cliente para el desarrollo del proyecto, teniendo en cuenta que se requiere caracterizar los suelos y posteriormente ejecutar los ensayos de campo en los puntos estratégicos.

Figura 49. Panorámica de Municipio Curití



Fuente. ALICON & ING S.A.S

En la visita técnica encontramos zonas homogéneas con propiedades geotécnicas similares dados los materiales que reposan en el municipio. Se pudo observar que al sur del municipio encontramos la formación Rosa blanca, al norte tenemos la formación Tambor. De esta visita se definieron los perfiles críticos a los cuales se les realizara la extracción de muestras para analizarlas y determinar sus propiedades.

Se encontró que el casco urbano del municipio se encuentra ubicado sobre un residual arenoso y debajo la roca arenosa de la formación Tambor, se observa aflorando hacia la parte de la quebrada Curití. Hacia la parte alta de municipio al sur tenemos unas estratificaciones de shape, de la formación Rosa blanca con espesores de 1.5 a 3 metros que se asume como un suelo muy meteorizado, debajo un suelo poco meteorizado y luego la roca de la formación Rosa blanca. Al noroeste pasando la quebrada Curití, se observa un residual arenoso con afloramientos de roca superficial.

Se determinó zonas homogéneas: la ladera sur, lotes ubicados al noroeste pasando la quebrada, zona centro del municipio desde el inicio de la ladera y cerca al borde de la quebrada y la zona de la quebrada Curití.

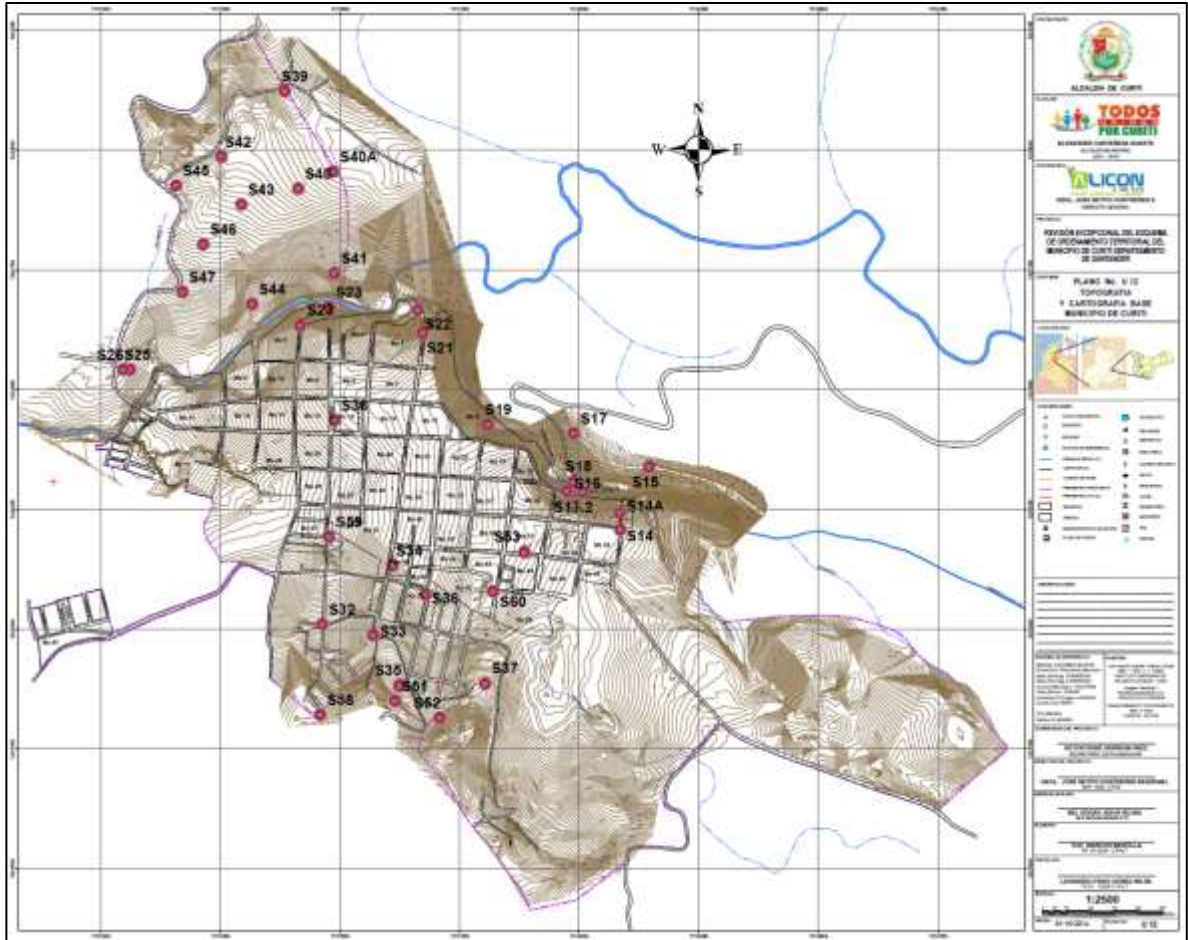
## **8.2 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO**

El plan de exploración geotécnica consistió en la dispersión y ejecución de cincuenta y nueve (59) sondeos SPT a percusión y la extracción de sesenta y tres (61) apiques de muestras inalteradas a profundidades promedio de 1,5 metros, además de tres refracciones sísmicas. Con el fin de conocer en detalle el comportamiento del suelo, el tipo de material aflorante, sus propiedades mecánicas y la distribución espacial.

A las muestras extraídas de la exploración geotécnica se les realizaron ensayos de humedad natural, límites de consistencia, granulometría, peso específico y ensayos de corte directo, con el fin de realizar un análisis detallado del comportamiento geotécnico del suelo en profundidad que presenta el Municipio.

A continuación se muestra la ubicación de los sondeos y apiques realizados dentro del área de análisis, seguida de las respectivas coordenadas leídas en campo.

**Figura 50.** Plano ubicación de sondeos SPT



Fuente. ALICON & ING. S.A.S

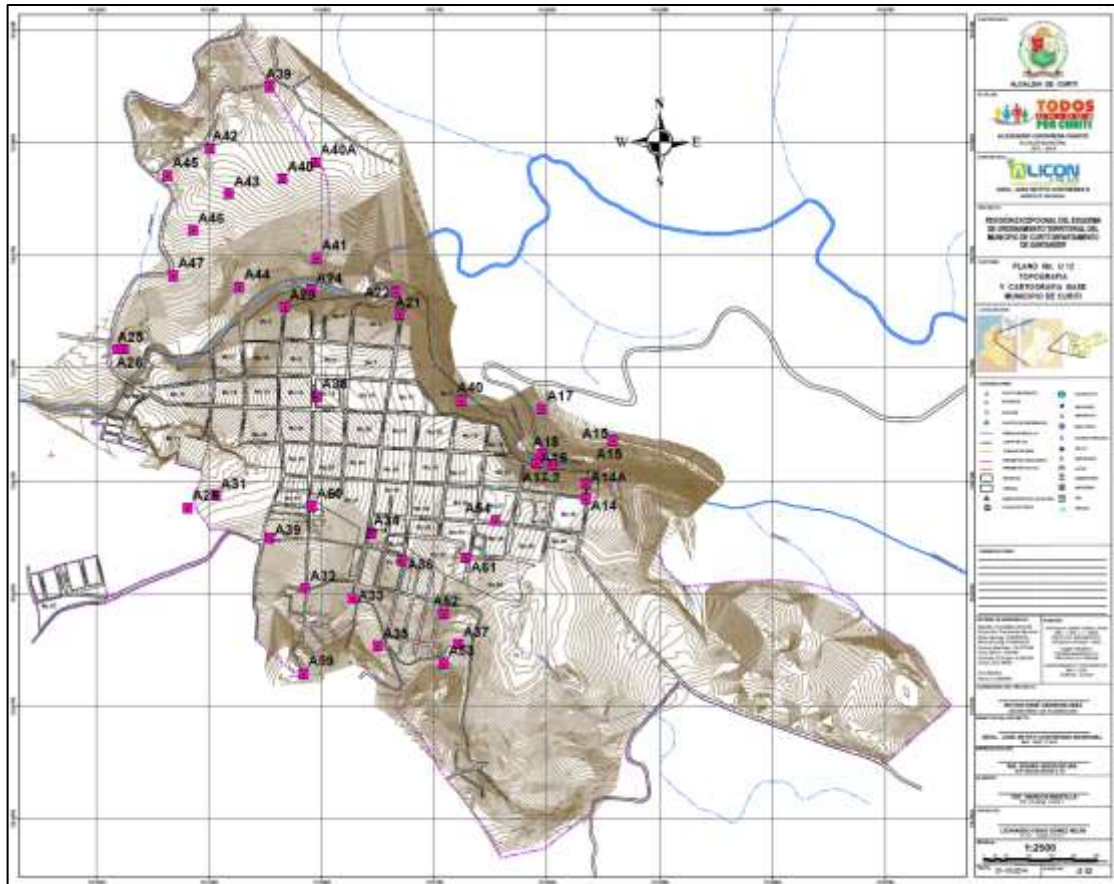
**Tabla 17** Ubicación de los sondeos realizados.

EXPLORACIÓN	COORDENADAS		Profundidad (m)
	Norte	Este	
SONDEOS			
P-SPTC-01	1223074.42	1111727.84	2.0
P-SPTC-02	1221838.10	1112274.51	2.0
P-SPTC-03	1222031.84	1112392.49	5.0
P-SPTC-04	1222110.38	1112431.95	5.0
P-SPTC-05	1221805.28	1112179.39	4.0
P-SPTC-06	1221908.94	1112217.28	2.0
P-SPTC-07	1222093.18	1112339.73	4.0
P-SPTC-08	1222138.70	1112357.14	4.0
P-SPTC-09	1221797.39	1112071.16	2.0
P-SPTC-10	1221969.52	1112177.24	4.0
P-SPTC-11	1222015.76	1112215.65	3.5

P-SPTC-12	1222126.62	1112310.03	3.0
P-SPTC-13	1222067.02	1112085.34	5.0
P-SPTC-14	1222207.96	1112085.80	3.0
P-SPTC-14A	1222243.22	1112085.41	3.5
P-SPTC-15	1222337.38	1112146.59	3.0
P-SPTC-16	1222287.00	1111975.58	4.5
P-SPTC-17	1222408.66	1111989.28	2.5
P-SPTC-17.2	1222286.09	1112008.55	2.5
P-SPTC-18	1222308.17	1111988.64	4.0
P-SPTC-19	1222426.22	1111808.86	3.0
P-SPTC-21	1222609.43	1111076.95	4.0
P-SPTC-22	1222667.38	1111663.15	4.0
P-SPTC-23	1222633.74	1111417.83	4.0
P-SPTC-24	1222671.40	1111476.66	4.0
P-SPTC-25	1222541.19	1111047.80	4.5
P-SPTC-26	1222542.29	1111062.58	6.0
P-SPTC-27	1222135.07	1111030.57	3.0
P-SPTC-28	1222191.33	1111198.00	4.0
P-SPTC-29	1222013.74	1111047.16	0.5
P-SPTC-30	1222047.20	1111245.54	2.0
P-SPTC-31	1222222.28	1111265.20	6.0
P-SPTC-32	1222009.69	1111463.50	3.5
P-SPTC-33	1221987.92	1111569.43	6.0
P-SPTC-34	1222132.74	1111609.83	3.0
P-SPTC-35	1221881.71	1111625.29	5.5
P-SPTC-36	1222071.78	1111679.12	4.0
P-SPTC-37	1221885.88	1111802.61	3.5
P-SPTC-38	1222434.91	1111488.93	3.5
P-SPTC-39	1223122.82	1111384.34	2.0
P-SPTC-40	1222917.28	1111414.07	4.0
P-SPTC-40A	1111485.87	1222954.10	4.0
P-SPTC-41	1111488.50	1222742.68	2.5
P-SPTC-42	1111251.61	1222985.19	2.5
P-SPTC-43	1111293.16	1222885.40	3.0
P-SPTC-44	1111317.12	1222678.13	4.5
P-SPTC-45	1111157.35	1222925.44	3.5
P-SPTC-46	1111214.61	1222804.20	2.0
P-SPTC-47	1111170.76	1222703.32	3.0
P-SPTC-51	1111615.93	1221852.28	2.0
P-SPTC-52	1111708.90	1221814.02	3.0
P-SPTC-53	1111885.39	1222159.86	4.5
P-SPTC-54	1110894.90	1221981.06	4.5
P-SPTC-55	1110850.92	1221872.69	5.0
P-SPTC-56	1111064.06	1221953.83	4.0
P-SPTC-57	1111242.05	1221937.98	4.0
P-SPTC-58	1111458.91	1221821.73	4.0
P-SPTC-59	1111477.47	1222193.20	3.5
P-SPTC-60	1111886.04	1222158.75	4.5

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Figura 51. Plano ubicación de Apiques.



Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Tabla 18 Ubicación de los Apiques realizados.

EXPLORACION GEOTECNICA			
EXPLORACIÓN	COORDENADAS		Profundidad (m)
	Norte	Este	
APIQUES			
APIQUE-01	1221778.26	1112233.56	1.5
APIQUE-02	1221840.05	1112273.94	1.5
APIQUE-03	1222031.49	1112394.20	1.5
APIQUE-04	1222110.68	1112430.72	1.5
APIQUE-05	1221806.83	1112180.96	1.5
APIQUE-06	1221909.13	1112218.31	1.5
APIQUE-07	1222092.42	1112340.36	1.5
APIQUE-08	1222138.14	1112357.25	1.5
APIQUE-09	1221797.16	1112070.59	1.5
APIQUE-10	1221968.80	1112176.97	1.5
APIQUE-11	1222015.28	1112214.95	1.5
APIQUE-12	1222126.22	1112309.56	1.5

APIQUE-13	1222065.89	1112084.88	1.5
APIQUE-14	1222208.27	1112086.27	1.5
APIQUE-14A	1222242.92	1112085.69	1.5
APIQUE-15	1222337.38	1112146.59	1.5
APIQUE-16	1222287.00	1111975.58	1.5
APIQUE-17	1222408.66	1111989.28	1.5
APIQUE-17.2	1222285.77	1112008.55	1.5
APIQUE-18	1222307.12	1111988.63	1.5
APIQUE-19	1222426.82	1111809.18	1.5
APIQUE-21	1222617.96	1111672.06	1.5
APIQUE-22	1222668.37	1111663.80	1.5
APIQUE-23	1222634.14	1111417.32	1.5
APIQUE-24	1222671.80	1111477.17	1.5
APIQUE-25	1222541.19	1111047.28	1.5
APIQUE-26	1222541.51	1111063.35	1.5
APIQUE-27	1222134.72	1111030.00	1.5
APIQUE-28	1222190.97	1111199.46	1.5
APIQUE-29	1222015.25	1111047.49	1.5
APIQUE-30	1222046.79	1111243.95	1.5
APIQUE-31	1222219.88	1111265.00	1.5
APIQUE-32	1222008.97	1111462.91	1.5
APIQUE-33	1221988.06	1111568.98	1.5
APIQUE-34	1222132.74	1111609.83	1.5
APIQUE-35	1221881.96	1111624.79	1.5
APIQUE-36	1222071.67	1111679.32	1.5
APIQUE-37	1221886.70	1111803.09	1.5
APIQUE-38	1222434.60	1111488.96	1.5
APIQUE-39	1222122.21	1111384.10	1.5
APIQUE-40	1222917.26	1111413.84	1.5
APIQUE-40A	1222954.02	1111485.94	1.5
APIQUE-41	1222742.80	1111489.58	1.5
APIQUE-42	1222986.19	1111252.65	1.5
APIQUE-43	1222884.80	1111294.20	1.5
APIQUE-44	1222679.55	1111315.73	1.5
APIQUE-45	1222925.04	1111156.83	1.5
APIQUE-46	1222803.39	1111214.59	1.5
APIQUE-47	1222703.32	1111170.76	1.5
APIQUE-48	1221818.98	1112777.87	1.5
APIQUE-49	1221924.87	1112568.75	1.5
APIQUE-50	1221682.35	1112563.23	1.5
APIQUE-52	1221956.75	1111761.27	1.5
APIQUE-53	1221849.01	1111764.72	1.5
APIQUE-54	1222158.82	1111885.97	1.5
APIQUE-55	1221871.76	1110850.45	1.5
APIQUE-56	1221872.74	1110849.61	1.5
APIQUE-57	1221955.10	1111063.71	1.5
APIQUE-58	1221938.76	1111241.71	1.5
APIQUE-59	1221824.76	1111459.78	1.5
APIQUE-60	1222192.80	1111477.99	1.5
APIQUE-61	1222078.44	1111820.12	1.5

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

La ubicación de los puntos estratégicos para la realización de ensayos de campo, se realizaron con la ayuda de un GPS de precisión Sub métrica (Mobile Mapper). Las refracciones sísmicas se realizaron teniendo en cuenta los sitios donde se pudiese tener mayor claridad sobre la distribución en profundidad de los materiales, dos ubicados en la zona sur sobre la ladera. Y la otra al nor oeste pasando la quebrada Curití.

### **8.3 REGISTROS DE PERFORACIÓN SPT (sondeos a percusión)**

El ensayo SPT de percusión consiste en hincar un tubo bipartido con dimensiones estándar, liberando una pesa de aproximadamente 63.5 kilogramos desde una altura de 76 centímetros. El valor representativo de N de penetración se define como el número de golpes necesario para hincar la tubería 12” y permite comprender la resistencia del suelo al punzoamiento. Además de estos sondeos SPT permiten la extracción de muestra de suelo, para la determinación de algunas de sus propiedades físicas y mecánicas que ayudan a comprender el comportamiento del suelo encontrado. Finalmente se utilizan correlaciones empíricas con los valores obtenidos de N de penetración para la determinación de algunas características del terreno.

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. Hay que tener en cuenta que el N se calcula sumando los dos últimos valores de las columnas 12” y 18” a la profundidad deseada. Se asume como rechazo del suelo los números de golpes superiores a 50 en cualquiera de 6” 12” y 18” o donde el N sea superior de 100.

Para el reconocimiento y análisis geotécnico del terreno, se dispersaron sobre el área directa del proyecto (58) sondeos SPT a percusión a profundidades promedio

de 6 metros o acuerdo a los rechazos obtenidos en el suelo, para posteriormente con las muestras de suelo recuperadas definir las características generales y los parámetros físico-mecánicos, mediante la realización de los ensayos de granulometría, humedad, peso específico y límites de consistencia.




**Figura 52.** Registro fotográfico sondeo 1



Fuente ALICON & ING. S.A.S.

A continuación se muestra un ejemplo del registro fotográfico y la tabla de los N del sondeo SPT #1. Las descripciones y los resultados en detalle de cada sondeo se encuentran en el anexo 1. Registro de perforación SPT y apiques del presente documento.

**Figura 53.** Registro de sondeo SPT Tabla de N sondeo

 <p><b>ALICON</b> &amp; ING. S.A.S. ALIANZA CONSULTORA &amp; INGENIERIA NIT: 900305485-3</p>		<b>REGISTRO DE PERFORACIÓN SPT</b>				<b>CÓDIGO</b>	<b>ALICON - FO - 39</b>
						<b>VERSION</b>	<b>0</b>
						<b>FECHA</b>	<b>03/27/2014</b>
						<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 1</b>
<b>PROCESO:</b>	GEOLOGIA Y DISEÑO GEOTECNICO					<b>FECHA: 03-07-2014</b>	
<b>PROYECTO:</b>	CURITI - ORDENAMIENTO						
<b>SONDEO</b>	35						
<b>U. SONDEO</b>	N:1170783.50 E:1108317.50					<b>NORMA</b>	
		I.N.V.E 111-07					
<b>MUESTRA</b>	<b>PROF (m)</b>	<b>6"</b>	<b>12"</b>	<b>18"</b>	<b>N</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
<b>1</b>	0.5	5	4	5	9	Suelo de color café claro, de textura limoarcillosa	
	1	5	3	6	9		
<b>2</b>	1.5	5	9	10	19	Suelo de color beige, de textura limoarcillosa, con fragmentos líticos de 4 a 5cm.	
	2	8	6	8	14		
<b>3</b>	2.5	8	8	9	17	Suelo de color cafe, de textura limoarcillosa, con pequeños fragmnetos líticos.	
	3	11	12	13	25		
<b>4</b>	3.5	10	10	10	20		
	4	10	10	4	14		
<b>5</b>	4.5	6	7	7	14	Suelo de color beige, con tonalidades naranjas debido a oxidación. De textura arcillosa, con fragmnetos líticos de 4 a 5cm.	
	5	10	9	10	19		
<b>6</b>	5.5	11	19	42	61		
	6	RECHAZO ROCA			0		
<b>7</b>	6.5	RECHAZO ROCA			0	----	
							
<b>Laboratorista:</b>	 Levinson Leon ortiz				<b>Reviso:</b>	Ing. Edward Fabian Quintanilla Diaz Tp 68202217733 STD	

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Observando el registro de N de los sondeos ubicado en la zona 1 hacia la vereda el Común Sureste del municipio, se aprecia que en los sondeos 7 y 11 con profundidades de hasta 2 metros, estos suelos se pueden denominar como suelos de baja resistencia pues sus N de penetración son muy bajos del orden de 10, otros como los sondeos 1, 3, 5, 8 y 10 que el suelo malo está a una profundidad de 1.5 metros, se considera que el suelo es bueno en general a una profundidades de 2 metros y más, no se registró presencia de niveles freáticos. Con estos N podemos definir un suelo muy meteorizado superficial de espesor de 1.5, un suelo poco meteorizado hasta una profundidad de hasta 5 metros.

Figura 54. Resumen N sondeos SPT zona 1

ZONA 1												
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
Mt	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
0.5	20	45	20	8	13	19	9	12	32	18	6	12
1	24	68	23	10	13	30	9	10	41	15	8	20
1.5	16	52	19	14	13	57	9	13	56	14	9	28
2	60	49	30	11	27	88	7	14	45	27	19	52
2.5	R	S	30	15	31	S	16	19	S	31	34	45
3			23	18	54		25	20		26	43	81
3.5			25	19	42		33	43		33	69	S
4			49	20	38		38	45		51	S	
4.5			44	27	S		R	S		S		
5			93	81								
5.5			S	S		R	RECHAZO ROCA					
6						S	RECHAZO SUELO					

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

La zona 2 se puede encontrar a ambos lados de la quebrada Curití y se extiende bordeando la zona urbana de este a oeste, notamos que presenta N grandes a profundidades pequeñas, se puede decir que es un suelo superficialmente bueno por la correlación de N con resistencia dados los resultados. Exceptuando el sondeo 24 que tiene un estrato muy malo con una profundidad de 4 metros,

inmediatamente después encontramos el rechazo de roca. En sector vemos como está aflorando la roca arenisca que hace referencia a la a formación Tambor que es la que predomina en esta zona, se definieron un dos suelos, uno muy meteorizado con una profundidad de dos metros y otro poco meteorizado de hasta 5 metros. Sin presencia de niveles freáticos.

Figura 55. Resumen N sondeos SPT zona 2

ZONA 2													
	S13	S14	S14A	S15	S16	S17	S17.2	S18	S19	S21	S22	S23	S24
Mt	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
0.5	10	14	20	20	27	18	7	18	33	16	6	15	5
1	10	15	27	31	30	26	8	25	41	26	5	24	4
1.5	19	17	33	55	30	37	5	33	60	47	9	31	5
2	18	18	39	39	37	58	5	37	73	63	11	49	6
2.5	19	27	51	43	41	80	10	45	87	75	10	65	5
3	25	45	62	54	47	S	R	53	101	82	10	84	2
3.5	31	84	82	S	50			78	S	91	9	91	4
4	42	S	S		59			45		50	45	52	80
4.5	53				70			S		S	S	S	R
5	59				S								
5.5	S							R	RECHAZO ROCA				
6								S	RECHAZO SUELO				

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Esta zona 3 la encontramos al noroeste del municipio pasando la quebrada Curití, encontramos buenos N de penetración mayores a 15 después del metro de profundidad, lo que indica el cambio de resistencia del suelo en este metro de profundidad. Los sondeos 40A, y 47 presentan un estrato de suelo muy meteorizado a una profundidad de 2 metros lo que nos proporciona información de la mala resistencia de este suelo a hasta esta profundidad. En esta zona existen afloramientos de roca hacia el norte.

Figura 56. Resumen N sondeos SPT zona 3

ZONA 3									
	S40	S40A	S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47
Mt	N	N	N	N	N	N	N	N	N
0.5	9	5	27	7	27	11	7	19	9
1	16	6	38	9	29	18	9	30	9
1.5	23	11	61	21	38	20	21	25	11
2	21	7	67	22	37	11	19	90	11
2.5	23	19	67	95	75	10	45	S	17
3	25	18	R	R	100	7	37		34
3.5	32	33			S	8	50		R
4	83	90				10	R		
4.5	S	S				63			
5						R			
5.5									
6		R	RECHAZO ROCA						
		S	RECHAZO SUELO						

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

Esta zona 4 esta ubicado hacia el sur del municipio sobre la ladera alli presente, se observa que existen espesores de mas o menos 1 metro de un suelo de baja resistencia, se definio como un suelo muy meteorizado de la formacion rosa blanca, existe otro debajo de mejor resistencia que lo asumimos como un suelo poco meteorizado de profundidad promedio de 4 metros y que esta por encima de la roca Tambor.

Figura 57. Resumen N sondeos SPT zona 4

ZONA 4													
	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S51	S52	S58	S59	S60
Mt	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
0.5	8	4	17	9	4	7	11	15	14	32	13	9	8
1	10	4	17	9	5	10	10	11	35	45	15	13	8
1.5	6	6	19	19	7	24	13	38	20	41	15	16	25
2	8	5	30	14	5	32	10	95	25	47	38	31	28
2.5	15	14	55	17	13	32	36	R		68	32	25	13
3	15	20	86	25	32	49	51			108	52	25	17
3.5	51	24	R	20	48	95	103			S	72	64	17
4	S	21		14	52	S	S				110	R	28
4.5		24		14	S						S		85
5		8		19									R
5.5		19		61			R	RECHAZO ROCA					
6		61		R			S	RECHAZO SUELO					
		S											

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

#### 8.4 REGISTROS DE APIQUES

Para la toma de muestras de suelo inalterada se realizaron 61 apiques a profundidades promedio de 1.5 metros dispersados de manera estratégica sobre el casco urbano, perimetral del municipio de Encino y en áreas rurales del municipio, para posteriormente realizar el ensayo de corte directo con el fin de encontrar los parámetros geotécnicos del suelo (cohesión y fricción) que tienen como objetivo ser utilizados en los modelos de estabilidad. En la siguiente figura se muestra el registro fotográfico del apique 1, seguido de una descripción visual realizada en campo, la totalidad de apiques se presentan en el anexo registro de perforación SPT y apiques:

Figura 58. Toma de apiques municipio del Curití.



Fuente. ALICON & ING. S.A.S

## 8.6 FASE DE LABORATORIO

Durante la fase de campo se tomaron muestras de suelo semis inalterados por medio de los sondeos SPT y muestras inalteradas extraídas de los apiques, las cuales posteriormente se empacaron en bolsas de polietileno debidamente referenciados para su correcta identificación, con el fin que no pierdan su humedad natural. Luego de seleccionaron las muestras representativas del terreno y se les realizo ensayos de: 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).

En el anexo normas de laboratorio y definiciones, se presentan los ensayos realizados siguiendo las normas INVIAS para el desarrollo del presente estudio.

#### **8.6.1 Resultados Ensayos de granulometría, peso específico, humedad natural y límites de consistencia.**

Se agruparon los resultados por zonas, para esta tabla corresponde la zona 1 comprendida al sur este del municipio hacia la vereda el Común, y comprende los sondeos del número 1 al 12.

Tabla 19 Resumen Resultados sondeos ZONA 1.

ZONA 1									
SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LIMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S1 - M1	0-2	ML	31.05	46.78	32.13	14.64	0.00	11.56	88.44
S2 - M1	0-2	ML	12.41	37.78	25.67	12.11	0.00	5.28	94.72
S3 - M1	0-2	ML	28.99	NP	NP	NP	0.00	15.80	84.20
S3 - M2	2-3	ML	24.98	37.72	33.41	4.31	0.00	13.68	86.32
S3 - M3	3-5	ML	19.91	NP	NP	NP	0.00	22.12	77.88
S4 - M1	0-2	ML	20.28	29.82	23.47	6.35	0.00	45.08	54.92
S4 - M2	2-4	SM	20.78	NP	NP	NP	0.00	50.28	49.72
S4 - M3	4-5	ML	17.28	36.24	25.83	10.40	0.00	23.80	76.20
S5 - M1	0-1	ML	31.67	43.15	34.33	8.81	0.00	10.04	89.96
S5 - M2	1-3	ML	25.17	29.98	23.54	6.43	0.00	19.08	80.92
S5 - M3	3-4	ML	24.17	40.16	31.24	8.92	0.00	9.00	91.00
S6 - M1	0-2	ML	27.95	45.99	32.40	13.59	0.00	15.72	84.28
S7 - M1	0-2	ML	23.96	24.88	22.27	2.61	0.00	16.24	83.76
S7 - M2	2-3	ML	18.23	34.14	24.88	9.26	0.00	1.52	98.48
S7 - M3	3-5	ML	21.14	37.71	27.33	10.38	0.00	6.32	93.68
S8 - M1	0-2	ML	27.66	41.66	31.27	10.39	0.00	19.48	80.52
S8 - M2	2-4	ML	25.85	47.67	42.26	5.41	0.00	47.64	52.36
S9 - M1	0-2	ML	24.66	42.91	35.88	7.03	0.00	13.68	86.32
S10 - M1	0-2	ML	16.18	32.82	27.05	5.77	0.00	20.72	79.28
S10 - M2	2-4	ML	18.30	38.91	30.65	8.26	0.00	16.36	83.64
S11 - M1	0-2	ML	16.34	28.94	23.84	5.10	0.00	25.84	74.16
S11 - M2	2-3	ML	22.44	39.10	31.89	7.21	0.00	18.48	81.52
S12 - M1	0-2	ML	25.03	20.86	20.56	0.30	0.00	29.44	70.56
S12 - M2	2-3	ML	24.86	52.88	34.83	18.05	0.00	15.72	84.28
<b>Valores Máximos</b>			31.67	52.88	42.26	18.05	0.00	50.28	98.48
<b>Valores Promedios</b>			22.89	37.62	29.27	8.35	0.00	19.70	80.30
<b>Valores Mínimos</b>			12.41	20.86	20.56	0.30	0.00	1.52	49.72

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Los resultados obtenidos para esta zona 1 muestras limos de baja compresibilidad, con lentes líquidos entre 52.88 y 20.86, y un promedio de 37.62. Además de un contar con un índice de plasticidad que está entre 18.05 y 0.30. Con porcentajes altos de finos del orden del 80 por ciento.

Esta zona está bordeando la quebrada Curití, a lado y lado de dicha quebrada en sentido este oeste.

Tabla 20 Resumen Resultados sondeos ZONA 2.

ZONA 2									
SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LIMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S13 - M2	2-5	ML	23.92	32.87	26.59	6.28	0.00	24.56	75.44
S14 - M1	0-1	SM-SC	18.02	26.36	21.58	4.79	0.00	50.20	49.80
S14 - M2	1-2	CL	18.03	29.44	20.57	8.87	0.00	31.66	68.34
S14 - M3	2-4	SM	12.66	NP	NP	NP	0.00	57.52	42.48
S15 - M1	0-2	ML	15.63	32.13	26.21	5.92	0.00	36.88	63.12
S15 - M2	2-3	ML	19.03	36.69	31.78	4.90	0.00	29.36	70.64
S14A - M1	0-2	CL	20.50	43.80	35.11	8.69	0.00	33.08	66.92
S14A - M2	2-4	SC	16.56	30.79	20.21	10.58	0.00	50.44	49.56
S16 - M1	0-2	ML	21.10	26.01	23.38	2.63	0.00	37.60	62.40
S16 - M2	2-4	ML	17.76	26.98	22.48	4.50	0.00	45.24	54.76
S16 - M3	4-5	ML	23.93	29.75	24.78	4.97	0.00	33.16	66.84
S17 - M1	0-1	ML	17.18	27.06	22.77	4.28	0.00	11.20	88.80
S17 - M2	1-3	SM-SC	13.49	26.90	20.44	6.46	0.00	54.24	45.76
S18 - M1	0-1	SM	8.90	NP	NP	NP	0.00	52.82	47.18
S19 - M1	0-1	ML	28.97	NP	NP	NP	0.00	36.64	63.36
S19 - M2	1-3	SM	21.70	NP	NP	NP	0.00	59.56	40.44
S21 - M1	0-2	CL	19.03	25.81	20.55	5.26	0.00	48.32	51.68
S21 - M2	2-4	SM	12.32	NP	NP	NP	0.00	54.62	45.38
S22 - M1	0-2	CL	20.48	NP	NP	NP	0.00	54.62	45.38
S22 - M2	2-3	CL	20.35	23.62	18.27	5.35	0.00	25.16	74.84
S22 - M3	3-4	CL	20.59	24.21	18.58	5.63	0.00	29.62	70.38
S22 - M4	4-5	CL	19.06	22.03	18.68	3.35	0.00	32.14	67.86
S23 - M1	0-2	ML	16.76	30.77	26.73	4.04	0.00	15.80	84.20
S23 - M2	2-4	ML	11.48	30.19	25.36	4.83	0.00	34.72	65.28
S24 - M1	0-2	SM	12.19	NP	NP	NP	0.00	59.64	40.36
S24 - M2	2-4	SM	10.35	NP	NP	NP	0.00	63.56	36.44
S24 - M3	4-6	SM	16.08	NP	NP	NP	0.00	68.60	31.40
<b>Valores Máximos</b>			28.97	43.80	35.11	10.58	0.00	68.60	88.80
<b>Valores Promedios</b>			17.63	29.19	23.56	5.63	0.00	41.89	58.11
<b>Valores Mínimos</b>			8.90	22.03	18.27	2.63	0.00	11.20	31.40

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Los resultados arrojados de esta tabla nos muestra una zona bastante arenosa, con presencia de materiales tales como arenas limosas, limos inorgánicos y arcillas inorgánicas, con lentes líquidos entre 43.80 y 22.03, y un promedio de 29.19. Además de un contar con un índice de plasticidad que está entre 10.58 y

2.63, para un promedio de 5.63. Con porcentajes considerables de finos aunque el promedio sea 58.11.

Esta zona 3 la encontramos al nor oeste del municipio, pasando la quebrada Curití.

Tabla 21 Resumen Resultados sondeos ZONA 3.

ZONA 3									
SONDEO	PROF (m)	USCS	WN %	LIMITES DE ATTERBERG			GRADACION		
				LL %	LP %	IP %	G %	A %	F %
S40 - M2	2-3	MH	21.70	55.66	32.50	23.17	0.00	7.84	92.16
S40 - M3	3-4	MH	23.63	61.48	40.38	21.09	0.00	11.16	88.84
S40A-M1	0-2	ML	20.97	49.62	34.96	14.66	0.00	17.96	82.04
S40A-M2	2-4	MH	19.73	65.33	32.85	32.48	0.00	17.84	82.16
S41 - M1	0-3	SM-SC	15.86	27.40	22.36	5.04	0.00	50.44	49.56
S42 - M1	0-3	MH	17.20	51.89	30.59	21.30	0.00	13.44	86.56
S43 - M1	0-2	ML	18.86	49.20	36.73	12.48	0.00	6.00	94.00
S43 - M2	2-3	ML	13.21	33.22	24.77	8.45	0.00	8.64	91.36
S44 - M1	0-2	ML	24.75	22.00	20.73	1.27	0.00	26.40	73.60
S44 - M2	2-5	ML	17.95	44.52	33.02	1.27	0.00	27.52	72.48
S45 - M1	0-4	ML	13.39	23.50	23.22	0.28	0.00	11.72	88.28
S46 - M1	0-2	ML	13.57	39.94	30.79	9.15	0.00	25.12	74.88
S47 - M1	0-2	ML	21.08	37.52	28.78	8.74	0.00	33.32	66.68
S47 - M2	2-4	SC	18.90	63.46	32.04	31.42	0.00	68.36	31.64
<b>Valores Máximos</b>			24.75	65.33	40.38	32.48	0.00	68.36	94.00
<b>Valores Promedios</b>			18.63	44.63	30.27	13.63	0.00	23.27	76.73
<b>Valores Mínimos</b>			13.21	22.00	20.73	0.28	0.00	6.00	31.64

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Observamos la presencia de porcentajes altos de finos del orden del 80 por ciento, en su mayoría limos inorgánicos de baja compresibilidad, y la aparición de limos de alta compresibilidad, ya que algunos límites de las muestras superaron el 50 por ciento.

Notamos que tiene esta zona un rango alto para sus límites líquidos que oscilan entre 65.33 y 22.00, para dar con un promedio de 44.63, considerablemente alto. Además de tener un rango de plasticidad entre 32.48 y 0.28, un rango basta el alto.

Esta zona la ubicamos en la parte sur del municipio en donde encontramos la ladera que está sobre la parte central del mismo.

Tabla 22 Resumen Resultados sondeos ZONA 4.

ZONA 4									
S32 - M1	0-2	ML	19.18	31.03	25.03	6.00	0.00	5.56	94.44
S32 - M2	2-4	ML	19.67	28.78	22.01	6.78	0.00	3.44	96.56
S33 - M1	0-2	CL	24.81	32.83	19.97	12.85	0.00	2.92	97.08
S34 - M2	2-3	CL	24.81	32.83	19.97	12.85	0.00	2.92	97.08
S35 - M1	0-2	CL	14.59	34.58	22.63	11.95	0.00	1.84	98.16
S35 - M2	2-4	CL	13.15	32.47	21.82	10.64	0.00	2.14	97.86
S35 - M3	4-5	CL	17.36	35.39	23.16	12.23	0.00	0.84	99.16
S36 - M1	0-2	CL	18.18	31.52	24.21	7.30	0.00	2.52	97.48
S36 - M2	2-3	CL	20.64	33.19	25.99	7.20	0.00	0.72	99.28
S36 - M3	3-4	CL	17.00	33.13	22.96	10.17	0.00	1.24	98.76
S37 - M1	0-2	CL	14.12	48.11	23.27	24.84	0.00	2.00	98.00
S37 - M2	2-4	CL	10.17	31.97	22.89	9.07	0.00	3.88	96.12
S38 - M1	0-2	CL	15.82	30.38	22.27	8.11	0.00	23.26	76.74
S38 - M2	2-4	CL	14.52	33.15	23.31	9.85	0.00	3.36	96.64
S39 - M1	0-2	ML	22.00	39.99	25.10	14.88	0.00	9.08	90.92
S51 - M1	0-1	ML	14.84	NP	NP	NP	0.00	0.64	99.36
S51 - M2	1-2	ML	18.97	26.03	25.48	0.55	0.00	1.16	98.84
S52 - M1	0-2	MH	18.64	53.74	48.93	4.80	0.00	4.84	95.16
S52 - M2	2-3	CL	9.66	28.77	20.83	7.94	0.00	1.16	98.84
S58 - M1	0-2	ML	17.69	33.92	23.90	10.03	0.00	3.16	96.84
S58 - M2	2-4	CL	9.40	26.33	19.60	6.72	0.00	9.88	90.12
S59 - M1	0-1	CL	23.55	35.32	2.10	33.22	0.00	20.86	79.14
S59 - M2	1-3	ML	17.26	34.49	26.77	7.72	0.00	4.52	95.48
S59 - M3	3-4	ML	12.79	37.41	24.98	12.43	0.00	2.72	97.28
S60 - M1	0-2	ML	28.39	44.63	29.98	14.65	0.00	13.96	86.04
S60 - M2	2-3	ML	25.58	41.36	29.28	12.08	0.00	14.48	85.52
S60 - M3	3-5	MH	29.36	56.11	34.24	21.87	0.00	7.84	92.16
S61 - M1	0-1	ML	19.51	30.76	24.05	6.72	0.00	31.44	68.56
S61 - M2	1-3	ML	30.28	41.79	31.36	10.43	0.00	23.36	76.64
S61 - M3	3-5	ML	29.39	38.65	28.06	10.59	0.00	27.56	72.44
<b>Valores Máximos</b>			30.28	56.11	48.93	33.22	0.00	31.44	99.36
<b>Valores Promedios</b>			19.04	35.81	24.63	11.19	0.00	7.78	92.22
<b>Valores Mínimos</b>			9.40	26.03	2.10	0.55	0.00	0.64	68.56

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

En esta zona hace presencia la mayoría de muestras con clasificación CL (Arcillas inorgánicas), con altos porcentajes de finos. Y límites líquidos del orden promedio de 24.63, e índices de plasticidad entre 33.22 y 0.55.

Esta zona 6 está ubicada al sur oeste del municipio.

Tabla 23 Resumen Resultados sondeos ZONA 5.

ZONA 5									
S25 - M1	0-1	ML	17.83	40.75	30.16	10.59	0.64	20.92	78.44
S25 - M2	1-3	ML	21.50	47.61	37.46	10.15	0.00	9.84	90.16
S25 - M3	3-4	ML	22.21	53.72	38.50	15.22	0.00	6.52	93.48
S25 - M4	4-5	ML	19.30	48.11	34.63	13.48	0.00	15.38	84.62
S26 - M1	0-2	CL	10.69	25.22	19.73	5.48	0.00	40.22	59.78
S26 - M2	2-4	CL	11.86	26.35	18.66	7.69	0.00	36.94	63.06
S26 - M3	4-6	CL	14.37	NP	NP	NP	0.00	59.04	40.96
S27 - M1	0-2	MH	24.12	54.02	35.67	18.35	0.00	2.24	97.76
S27 - M2	2-3	ML	12.68	38.57	22.30	16.28	0.00	3.20	96.80
S28 - M1	0-2	ML	31.98	45.54	33.80	11.74	0.00	2.96	97.04
S28 - M2	2-4	ML	23.16	45.87	33.35	12.53	0.00	7.62	92.38
S29 - M1	0-2	ML	20.70	41.73	27.53	14.20	0.00	1.24	98.76
S29 - M2	2-4	ML	10.26	29.09	21.19	7.90	0.00	2.84	97.16
S30 - M1	0-2	CL	18.90	43.31	21.46	21.85	0.00	5.92	94.08
S31 - M1	0-3	CL	7.91	26.15	12.84	13.30	0.00	46.64	53.36
S31 - M2	3-6	CL	9.41	21.40	11.62	9.78	0.00	43.36	56.64
S53 - M1	0-2	ML	16.38	39.90	27.34	12.56	0.00	6.24	93.76
S53 - M2	2-3	ML	14.86	35.98	24.92	11.06	0.00	2.12	97.88
S53 - M3	3-5	CL	12.07	32.36	23.84	8.53	0.00	4.64	95.36
S54 - M1	0-1	CL	15.43	34.47	23.45	11.02	0.00	6.56	93.44
S54 - M2	1-2	CL	15.09	31.59	22.22	9.37	0.00	5.42	94.58
S54 - M3	2-4	ML	10.64	30.20	23.54	6.66	0.00	1.18	98.82
S54 - M4	4-5	CL	17.53	34.19	22.88	11.31	0.00	4.14	95.86
S55 - M1	0-2	CL	13.20	41.78	28.51	13.27	23.88	12.00	64.12
S55 - M2	2-3	ML	15.10	49.84	29.79	20.05	0.00	4.24	95.76
S55 - M3	3-4	CL	11.32	36.07	24.23	11.84	0.00	1.40	98.60
S55 - M4	4-5	ML	8.78	39.78	27.77	12.01	0.00	13.40	86.60
S56 - M1	0-2	CL	15.61	26.17	20.11	6.06	0.00	1.32	98.68
S56 - M2	2-4	CL	9.93	29.02	20.80	8.22	0.00	3.64	96.36
S57 - M1	0-1	CL	21.64	36.78	19.65	17.13	0.00	2.70	97.30
S57 - M2	1-3	CL	16.72	35.90	23.17	12.73	0.00	1.28	98.72
S57 - M3	3-4	CL	17.72	41.53	21.11	20.42	0.00	2.52	97.48
<b>Valores Máximos</b>			31.98	54.02	38.50	21.85	23.88	59.04	98.82
<b>Valores Promedios</b>			15.90	37.52	25.23	12.28	0.77	11.80	87.43
<b>Valores Mínimos</b>			7.91	21.40	11.62	5.48	0.00	1.18	40.96

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Así como en las zonas anteriores el predominio de los altos porcentajes de finos también aparece en esta zona. Valor promedio de porcentaje de finos 87.43.

### 8.6.2 Ensayos de Corte Directo

Tabla 24 Resultados de corte directo

APIQUE	DRENADO		NO DRENADO		TIPO DE SUELO	FORMACIÓN
	PHI (°)	C (KN/m <sup>2</sup> )	PHI (°)	C (KN/m <sup>2</sup> )		
27			1	15	MH	ROSA BLANCA
29	26.2	36.3			ML	ROSA BLANCA
32	15.5	29.9			ML	ROSA BLANCA
33	14.3	25.6			CL	ROSA BLANCA
34	13.1	38.9			CL	ROSA BLANCA
35			17.4	10.5	CL	ROSA BLANCA
36			12.5	17	CL	ROSA BLANCA
37			11.6	21.6	CL	ROSA BLANCA
59	25.7	20.7			CL	ROSA BLANCA
60	3.8	86.8			ML	ROSA BLANCA
61	2.1	92	2.9	17.1	CL	ROSA BLANCA
MAX	26.20	92.00	17.40	21.60		
PROM	14.39	47.17	9.08	16.24		
MIN	2.10	20.70	1.00	10.50		
DESV	8.73	27.34	6.18	3.59		

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

De estos resultados junto con las correlaciones obtuvimos los parámetros para el modelamientos de las propiedades geotécnicas de los diferentes materiales característicos del municipio de Curití. Con esta información además obtuvimos los parámetros de desviaciones y demás datos estadísticos para la obtención de la probabilidad de falla en los modelos de Slide.

Tabla 25 Resultados de corte directo

APIQUE	DRENADO		NO DRENADO		TIPO DE SUELO	FORMACIÓN
	PHI (°)	C (KN/m2)	PHI (°)	C (KN/m2)		
1			8.5	14.5	ML	TAMBOR
2			15.1	11.3	ML	TAMBOR
3			20.1	17.6	ML	TAMBOR
4			24.5	11.7	ML	TAMBOR
5			10.1	13.9	ML	TAMBOR
6			22.3	13.7	ML	TAMBOR
7			28.2	20	ML	TAMBOR
8	15.2	42.7			ML	TAMBOR
9	30.6	31.1			ML	TAMBOR
10	30	20.7			ML	TAMBOR
11	27.9	24.7			ML	TAMBOR
12	18.7	35.2			ML	TAMBOR
16			26.2	17.8	ML	TAMBOR
17			36.9	16.3	SM SC	TAMBOR
18			28.2	11.6	SM	TAMBOR
19	40	37.8			SM	TAMBOR
22	22.8	51.6			SM	TAMBOR
23	33.3	20.4			ML	TAMBOR
24			27.3	6.5	SM	TAMBOR
25			22.7	13.5	ML	TAMBOR
30			6.6	6.9	CL	TAMBOR
30A			8.4	17.8	CL	TAMBOR
38	15.5	29.5			CL	TAMBOR
40	16.8	53.5			MH	TAMBOR
40A	23.9	51.3			MH	TAMBOR
42	0.6	60.3			MH	TAMBOR
43	16	45.9			ML	TAMBOR
44	25.3	30			ML	TAMBOR
45	13.4	46.5			ML	TAMBOR
46	22.2	45			ML	TAMBOR
47	3.6	78.2			ML	TAMBOR
53	11.8	34.9			MH	TAMBOR
MAX	40.00	78.20	36.90	20.00		
PROM	20.42	41.07	20.36	13.79		
MIN	0.60	20.40	6.60	6.50		
DESV	9.81	14.41	8.91	3.86		

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

## **9. EVALUACIÓN DEL MODELO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO**

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 geo mecánica de los diferentes materiales presentes); donde de acuerdo a la topografía del terreno, geomorfología, la geología se seleccionaron 12 perfiles transversales para el análisis de estabilidad de ladera, los perfiles fueron caracterizados a partir de sus parámetros geomecánica partiendo de los ensayos de laboratorio realizados y los ensayos SPT. También se tomó en cuenta que sean los perfiles más críticos que se ubiquen cerca de los puntos estratégicos donde se realizó exploración geotécnica, con el fin de simular el caso más extremo y así garantizar la estabilidad de todo el predio analizado

### **9.1 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN**

Los parámetros de resistencia asignados se obtuvieron a partir de los resultados de los ensayos de campo por medio de los SPT realizado, de laboratorio por medio del ensayo corte directo efectuado a las muestras extraídas de los apiques, compresiones simples y correlaciones con el ensayo SPT.

Con el fin de tener en cuenta la variación en las propiedades geotécnicas de ángulo de fricción, cohesión y peso específico de los materiales, se realizó un análisis estadístico de las magnitudes de las propiedades de los materiales y los valores de parámetros correlacionados con el ensayo SPT en las zonas donde se presentaron valores N de penetración de suelos. Estos datos son necesarios para el análisis de probabilidad de falla por el método de Monte Carlo mediante la utilización de esta herramienta en el software SLIDE de la Firma Rocscience.

A continuación se presenta los parámetros utilizados en el modelamiento y sus respectivas dispersiones por medio de la desviación estándar.

Tabla 26 Propiedades de los materiales

<b>PROPIEDADES MATERIALES</b>				
<b>MATERIALES</b>		<b>P. E. (KN/m3)</b>	<b>COHESION (KN/m2)</b>	<b>FRICCION (°)</b>
<b>SUELO MUY METEORIZADO</b>	<b>ROSA BLANCA</b>	13.8	12	10
<b>SEULO POCO METEORIZADO</b>	<b>ROSA BLANCA</b>	15.2	22	16
<b>ROCA</b>	<b>ROSA BLANCA</b>	21.2	50	41
<b>SUELO MUY METEORIZADO</b>	<b>TAMBOR</b>	16	13	22
<b>SEULO POCO METEORIZADO</b>	<b>TAMBOR</b>	17	19.4	28
<b>ROCA</b>	<b>TAMBOR</b>	21.4	40	40.5

Fuente. ALICON & ING. S.A.S.

## 10. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

En este capítulo se presentan los trabajos realizados para determinar la amenaza por fenómenos de movimientos en masa de la ladera situada en el proyecto, implementándose metodologías determinísticas y probabilísticas para la obtención de las probabilidades de falla, con estas se efectúa un tratamiento estadístico para la determinación del riesgo específico. Las metodologías determinísticas, consisten en la modelación geológica geotécnica de la ladera con parámetros únicos obtenidos de los ensayos de laboratorio, para la determinación determinística de la amenaza, se sectorizan los factores de seguridad obtenidos y de acuerdo a la categorización de la amenaza. En cambio en las metodologías probabilísticas, se tiene en cuenta la posible variación de las propiedades de los materiales, debido a la heterogeneidad de estos y las condiciones puntuales, por medio de desviaciones estándar de cada material, el modelo probabilístico utilizado pertenece al modelo de Monte Carlo, este método toma en cuenta la dispersión de las propiedades del suelo y se realiza iteraciones variando las propiedades geotécnicas de acuerdo a la desviación estándar de estos datos.

Para tal efecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Identificación de las laderas críticas.
- Levantamiento del perfil topográfico.
- Identificación de la geología local y el perfil de suelo.
- Identificación de las características geotécnicas de las unidades cartografiadas.
- Modelamiento geológico Geotécnico de las laderas identificadas, mediante el software Slide de la Firma Rocscience.
- Calculo de factores de seguridad determinísticos y probabilísticos, con su respectiva probabilidad de falla, utilizando el método Monte Carlo.
- Identificación de la inestabilidad de las laderas para los diferentes escenarios planteados, de acuerdo a la categorización de la amenaza.

## **10.1 METODO DE ANALISIS “EQUILIBRIO LÍMITE Y TALUD INFINITO”**

Los métodos de equilibrio límite están basados en asumir una superficie de falla circular en la cual se presentan condiciones críticas de estabilidad que pueden clasificarse mediante el factor de seguridad y el método de talud infinito asume una superficie de falla entre el contacto de roca y suelo. Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no requieren en general información sobre la relación esfuerzo –deformación.

La teoría de equilibrio límite supone que en el caso de generarse un movimiento en masa, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de toda la superficie de falla, y equivalentes a un factor de seguridad 1.0. 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.

Para los análisis de estabilidad, se utilizó el método de equilibrio límite, asumiendo superficies de falla circular, esta superficie de falla es característica de los movimientos analizados sobre las unidades geológicas identificadas en las zonas críticas, en los modelos de análisis de estabilidad de taludes se aplicaron metodologías conocidas.

Para el análisis de estabilidad por Talud infinito, se aplica una superficie de falla planar que es característica de la superficie de falla de estos taludes, ya que hay presencia de roca a profundidades bajas.

## **10.2 ESCENARIOS PROPUESTOS**

Con el fin de identificar la amenaza por fenómenos de movimientos en masa actual, y para una condición crítica de ascenso máximo del nivel freático aceleración pseudo estática, se propone 1 escenario de modelamiento,

**Tabla 27** Escenario Planteado

<b>ESCENARIO 1</b>	Terreno natural con ascenso máximo de nivel freático y aceleración pseudo estática. 0.13 g (2/3 Aa=0.20).
--------------------	---

### 10.3 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA

Como criterios para definir los niveles de amenaza, se determinaran los factores de seguridad del talud ante fenómenos de movimientos en masa y se utilizaron los especificados en el título H de la Norma Sismo Resistente NSR-10. En este título se encuentra la tabla H.2.4-1 que muestra los factores de seguridad mínimos directos para garantizar la estabilidad del terreno.

**Tabla 28** Factores de seguridad básicos mínimos directos

Condición	$F_{SBM}$		$F_{SBUM}$	
	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. NSR-10

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.

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 Pseudo estática, que se asume como 2/3 de la aceleración pico horizontal que se encuentra sectorizada en esta misma norma en el título A. Con este escenario crítico modelado y según el capítulo H.2, se realiza la zonificación de la amenaza de la siguiente forma:

**Tabla 29** Categorización de la amenaza

AMENAZA	Descripción	FS	
		Pseudo Estático	Estático
<b>BAJA</b>	Son terrenos geológicamente estables, donde las amenazas por fenómenos de movimientos en masa, mínimas o no existen	FS > 1,2	FS > 1,5
<b>MEDIA</b>	Pertenece a terrenos clasificados como relativamente inestables, donde se pueden implantar obras urbanísticas, sin embargo se debe adelantar previamente las obras de prevención, mitigación y estabilización.	1,05 < FS < 1,2	1,2 < FS < 1,5
<b>ALTA</b>	Esta clasificación pertenece a terrenos clasificados como inestables, sobre los cuales no se debe adelantar implantaciones urbanísticas.	FS < 1,05	FS < 1,2

Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Con el fin de discriminar las amenazas, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia, se realizaron tratamientos estadísticos, de los resultados de estabilidad y probabilidad de falla, determinados mediante el software Slide de la forma Rocscience, por medio del método Monte Carlo, que se presenta en el siguiente capítulo.

Criterios establecidos por la Resolución 227 de 2006 como se resume a continuación:

Tabla 30 Categorización de amenaza a partir del factor de seguridad, FS.

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

Fuente. Resolución 227 de 2006

Se caracterizó la amenaza por la categorización de la resolución 227 de 2006, que es similar a la ofrecida por la NSR-10. Para este proyecto se trabajó con una amenaza en condiciones extremas solamente.

#### 10.4 PERIODO DE RETORNO DE LAS AMENAZAS

Con el fin de realizar un análisis probabilístico de las superficies de falla, se consultó el método de Monte Carlo, donde se determina la probabilidad de falla de la ladera. La probabilidad de que ocurra una amenaza de determinada magnitud en un determinado tiempo, está dada por la expresión:

$$p = 1 - \left( 1 - \frac{1}{T} \right)^t$$

Dónde:

**p**= probabilidad

**T**= período de retorno

**t**= tiempo considerado

El período de retorno T de las amenazas a deslizamientos, depende principalmente de los períodos de retorno de los eventos lluviosos extraordinarios

y de los sismos de gran magnitud. Las evaluaciones de amenaza se deben realizar para tiempos considerados (t) dentro de la vida útil de las estructuras.

Para una vida útil de las estructuras de 50 años, se considera apropiado utilizar un Período de retorno de 100 años para las lluvias y los sismos que pueden activar deslizamientos.

### **Evaluación De La Probabilidad De Falla**

Arthur Casagrande, en la Conferencia de Terzaghi de 1964, presentó la definición del cálculo del riesgo para los usos dentro de la ingeniería geotécnica (Whitman, 1984). Él hizo hincapié en que las incertidumbres son inherentes a cualquier proyecto y los niveles de incertidumbre deben ser reconocidos. Afirmó que el riesgo calculado debe ser reconocido y tratado en dos pasos:

El uso del conocimiento imperfecto, guiados por el juicio y la experiencia, estimación de los rangos probables de todas las cantidades pertinentes que afectan a la solución del problema.

La decisión sobre un nivel adecuado de seguridad, o el grado de riesgo, teniendo en cuenta factores económicos y la magnitud de las pérdidas que se derivarían de la falla.

Las incertidumbres en las propiedades del suelo, condiciones ambientales, y los modelos teóricos son la razón de la falta de confianza en los análisis deterministas (Alonso, 1976). En comparación con un análisis determinista, el análisis probabilístico tiene en cuenta la variabilidad inherente y las incertidumbres en los parámetros de análisis. Un análisis probabilístico se cuantifica mediante la producción de una distribución de resultados en lugar de un valor fijo único. Por lo tanto, un análisis probabilístico produce una estimación directa de la distribución

de cualquiera de los factores de la seguridad o la altura crítica asociada a un diseño o análisis de la situación.

Hay varias técnicas probabilísticas que se pueden utilizar para evaluar geotécnicas situaciones. Específicamente, para el análisis geotécnico, los investigadores han llevado a cabo análisis probabilísticos utilizando: simulaciones de Monte Carlo y Estimativos puntuales.

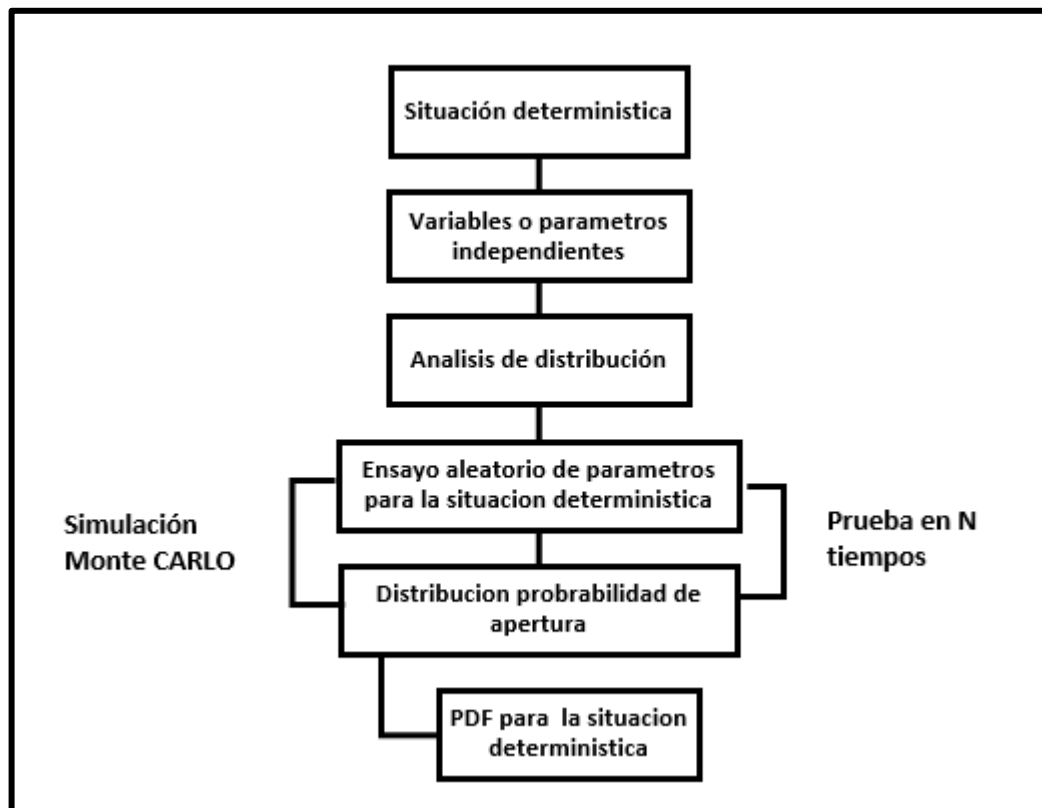
El método de Monte Carlo se desarrolló en 1949 cuando John von Neumann y Stanislaw Ulam publicó un artículo, "El Método de Montecarlo." Neumann y Ulam definieron específicamente el uso de procedimientos de muestreo al azar para el tratamiento determinista de situaciones matemáticas. El método de Monte Carlo ha ganado importancia con el desarrollo de las computadoras para automatizar los cálculos laboriosos.

En la siguiente figura se ilustra un esquema general de una simulación de Monte Carlo (Hutchinson Y Bandalos, 1997). El primer paso de una simulación de Monte Carlo es identificar un modelo determinista en el que múltiples variables de entrada se utilizan para estimar un resultado único valor. En el paso dos se requiere que todas las variables o parámetros sean identificados. A continuación, la distribución de probabilidad para cada variable independiente se establece para el modelo de simulación (es decir, normal, beta, Log-normal, etc.).

A continuación, se inicia un proceso de prueba al azar para establecer una función de distribución de probabilidad de la situación determinista que está siendo modelado. Durante cada paso, un valor aleatorio de la función de distribución para cada parámetro se selecciona y entra en el cálculo. Numerosas soluciones se obtienen al hacer varias iteraciones través de la programa para obtener una solución para cada paso. El número adecuado de iteraciones para un análisis es una función del número de parámetros de entrada, la complejidad del modelo

situación, y la precisión deseada de la salida. El resultado final de la simulación de Monte Carlo es una distribución de probabilidad del parámetro de salida.

Figura 59. Enfoque General de la Simulación de Monte Carlo



Fuente. Tomado de Hutchinson & Bandalos, 1997

Comúnmente, las distribuciones: normal, log-normal, y beta han representado las funciones de los parámetros de la función de comportamiento (Función del factor de seguridad en términos de las variables o parámetros).

El número de repeticiones para cada modelo de simulación para producir resultados adecuados varía. Sobre la base de la investigación realizada por

Hutchinson y Bandalos, se encontró que entre e 10.000 a 100.000 iteraciones son necesarias para representar adecuadamente una solución determinista.

Para el presente modelo, los parámetros aleatorios de entrada son: la cohesión (c), el ángulo de fricción ( $\phi$ ) y el peso específico, estos materiales fueron tratados como normalmente distribuidos, e independientes. El uso de la simulación de Monte Carlo para evaluar esta zona proporciona una metodología práctica y lógica para evaluar la probabilidad de estabilidad del talud.

## **10.6 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA.**

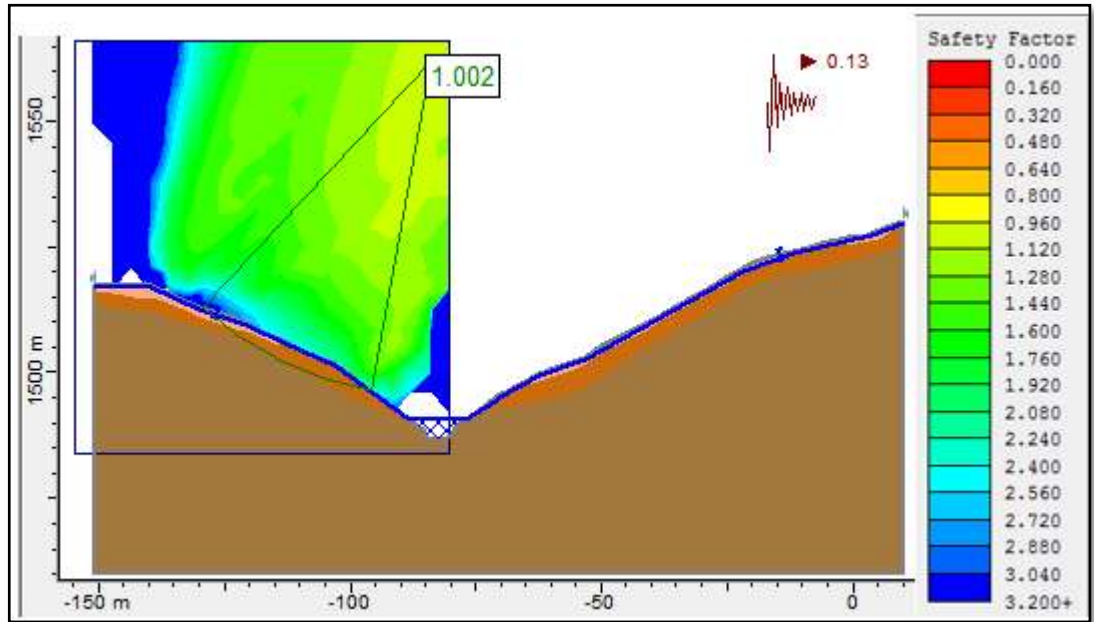
Por medio del análisis de estabilidad de los taludes, se realizó el modelamiento de estos en el software SLIDE de la firma ROSCIENCE, se analizó la estabilidad general por medio de la teoría de equilibrio límite y la teoría de talud infinito, determinando los factores de seguridad de falla para los dos escenarios propuestos.

Para la determinación de estos factores de seguridad se asumió La teoría de equilibrio límite por la Metodología de Bishop, ya que este método es adecuado para el análisis de fallas circulares, y fallas planares utilizamos el método de talud infinito, los cual son representativos de los taludes analizados.

En las siguientes figuras se muestra un ejemplo de los resultados de amenaza por fenómenos de movimientos en masa para los tres escenarios. Los resultados de los modelamientos completos, se encuentran en el anexo resultados de amenaza.

### 10.6.1 Resultados Amenaza Escenario 1

Figura 60. Resultados de amenaza por fenómenos de remoción en masa, método equilibrio limite. Perfil 1, escenario 1



Fuente. ALICON & ING. S.A.S – SLIDE

A continuación se presenta los factores de seguridad determinísticos, por los métodos planteados por Bishop, Janbu, Spencer y Morgenstern and Price.

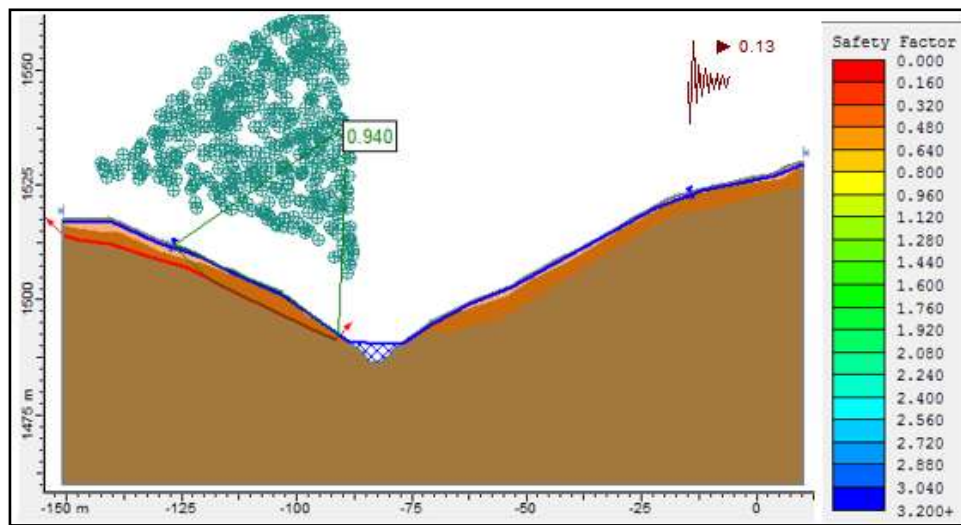
Tabla 31 Resumen de factores de seguridad por diferentes métodos Perfil 1 Escenario 1

METODO	FS DET	FS PROB	PF
BISHOP	1.061	1.210	43.500%
JANBU	1.069	1.013	51.202%
SPENCER	1.062	1.012	0.026%
MORGENSTERN-PRICE	1.063	1.011	51.013%

Fuente. ALICON & ING. S.A.S – SLIDE

El perfil número 1 del escenario 1, presenta las condiciones extremas del terreno. El ascenso del nivel freático máximo (nivel freático cercano a la superficie) y la aceleración pseudo estática de 0.13, para el análisis de la amenaza bajo estas condiciones. Filtrando las superficies de falla que representan amenaza baja, media y alta, de acuerdo a la categorización de la amenaza.

Figura 61. Resultados de amenaza por fenómenos de remoción en masa, método talud infinito. Perfil 2, escenario 1



Fuente. ALICON & ING. S.A.S – SLIDE

A continuación se presenta los factores de seguridad determinísticos y la probabilidad de falla, por los métodos planteados por Bishop, Jambu, Spencer y Morgenstern and Price.

Tabla 32 Resumen de factores de seguridad por diferentes métodos Perfil 10 Escenario 1

METODO	FS DET	FS PROB	PF
BISHOP	0.940	0.992	55.241
JANBU	0.933	2.650	4.348
SPENCER	1.567	1.000	53.731
MORGENSTERN-PRICE	0.934	0.996	54.726

Fuente. ALICON & ING. S.A.S – SLIDE

De este escenario donde se evalúa el análisis de amenaza en condición extrema, que contempla las condiciones de ascenso máximo del nivel freático en el terreno y aceleración pseudo estática, se puede identificar la estabilidad del modelo geológico geotécnico en algunos perfiles.

En los anexos al proyecto, se encuentran los resultados de estabilidad para la determinación de la amenaza del proyecto en todos los perfiles geológicos geotécnicos presentados. A continuación se presenta el resumen de los factores de seguridad asumidos y la probabilidad de falla para el método de Bishop (asumido), para los perfiles geotécnicos modelados:

Tabla 33 Resumen Factores de seguridad y probabilidad de falla para los 11 perfiles

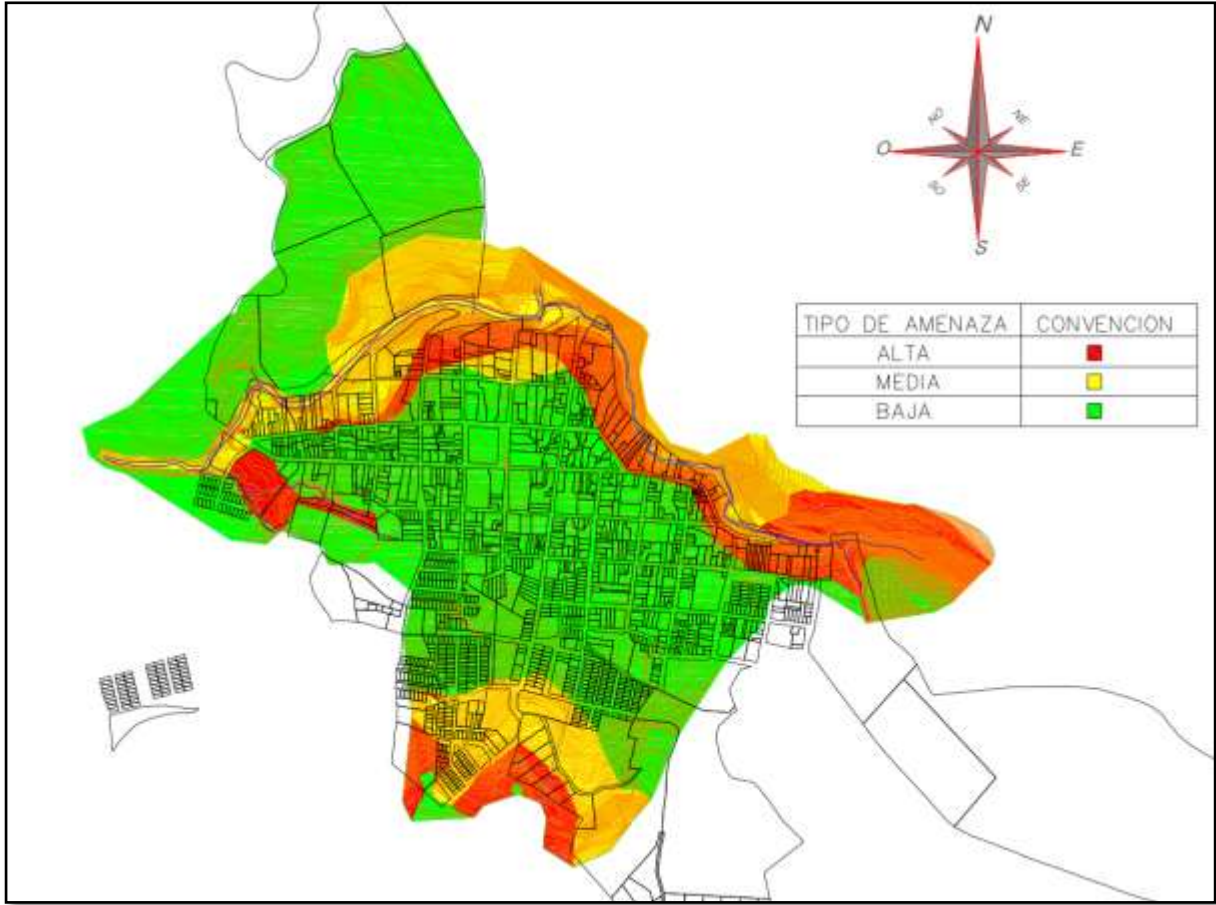
<b>Perfil</b>	<b>FS (BISHOP) Equilibrio limite</b>	<b>PF (%)</b>	<b>FS (BISHOP) Talud infinito</b>	<b>PF (%)</b>
1	1.061	43.5	1.354	10.40
2	0.914	55.5	0.963	51.25
3	1.262	26.5	1.410	8.8
4-LD	0.956	58.5	0.971	52.78
4-LI	1.002	50.4	0.940	55.24
5-LD	1.537	2.1	1.327	7.51
5-LI	1.014	46.1	1.014	44.98
6-LD	1.428	8.6	1.228	9.31
6-LI	0.661	99.4	0.897	75.26
7-LD	1.544	2.3	1.364	5.81
7-LI	1.368	6.9	1.445	3.1
8-LD	2.196	0.00	2.062	0.0
8-LI	1.612	17.8	1.599	5.0
9	0.786	78.7	0.791	81.81
10	0.771	83.2	0.777	86.64
11	1.310	15.7	1.184	23.3
12	0.893	69.9	0.898	67.86

Fuente. ALICON & ING. S.A.S – SLIDE

De la tabla de factores de seguridad, se puede encontrar la inestabilidad de la ladera ubicada al sur del municipio, encontrando factores de seguridad inestables de acuerdo a la categorización de la estabilidad para los perfiles en condiciones de alta pendiente.

A partir de los resultados de factores de estabilidad geotécnica, se generó el plano de amenaza por fenómenos de movimientos en masa para este escenario. Asumiendo como parámetro para categorizar el plano de amenaza el método de talud infinito, pues es el que mejor para caracterizar el tipo de deslizamiento más probable. Para la realización del plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa, se realizó filtrado las superficies de falla que representan amenaza media y alta (en función del factor de seguridad), ubicando espacialmente el área directamente implicada en el movimiento en masa presente, con esta información se generó el plano en planta de amenazas para este escenario que se presenta a continuación.

Figura 62. Plano de amenaza por movimientos en masa escenario 1.



Fuente. ALICON & ING. S.A.S

Analizando los resultados de los factores de seguridad arrojados por los modelos de Slide de los perfiles definidos como críticos podemos analizar y realizar el plano de amenaza para el escenario en condiciones extremas (ascenso máximo del nivel freático y aceleración pseudo estática), que para nuestro caso se definió como escenario uno.

Encontramos que la ladera ubicada en la parte sur de este municipio presenta en sus partes más pendientes una amenaza alta debido a los espesores de suelo y sus propiedades, pasando por pendientes medias con amenaza media con espesores más pequeños que en la parte superior. Hacia la falda de la ladera encontramos afloramientos de roca y estratos pequeños lo que nos proporciona una amenaza baja. Llegamos al borde de la quebrada Curití donde cambian los materiales debido a que en la parte sur es formación Rosa blanca y ya en el borde del municipio lugar por donde bordeando pasa la quebrada Curití, allí aparece la formación Tambor (areniscas). A lado y lado de quebrada se evidencian afloramientos de esta formación, pero también dos tipos de suelos, uno muy meteorizado superficial y otro poco meteorizado debajo de este, estos espesores de suelo proporciona una amenaza alta hacia la parte urbana debido a sus propiedades y la alta pendiente que en que se encuentran soportados. Pasando la quebrada observamos una amenaza media, y hacia el nor oeste sitio de menor pendiente con afloramientos de roca superficial tenemos una amenaza baja.

## 11. CONCLUSIONES

Durante la fase de exploración geológica realizada a la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití, se pudieron identificar dos unidades geológicas diferentes, las cuales hacen parte de la secuencia estratigráfica del Cretácico inferior y corresponden a la Formación Tambor (Kit) y la Formación Rosablanca (Kir), lo cual difiere de la Plancha Geológica 135 San Gil debido a que la geología que contiene la plancha no concuerda con la geología encontrada durante la fase de exploración geológica.

Además la zona urbana y la zona de expansión urbana del Municipio de Curití se encuentra dominada por una geomorfología denudacional que da origen a laderas que presentan pendientes casi horizontales a muy inclinadas.

También se hacen presentes en menor proporción las unidades geomorfológicas de origen fluvial con la presencia de la Quebrada Curití.

En cuanto a los sectores críticos definidos por movimientos en masa evidenciados en la zona urbana y la zona de expansión urbana son mínimos debido a la disposición de las capas en estas formaciones no superan los 10° de inclinación, considerando también la competencia de las mismas.

Cabe anotar que la intensidad de estos movimientos en masa es bajo y es por esta razón que se considera que el impacto producido por los movimientos en masa es bajo.

A partir de los resultados de factores de estabilidad geotécnica, se generó el plano de amenaza por fenómenos de movimientos en masa para este escenario. Asumiendo como parámetro para categorizar el plano de amenaza el método de

talud infinito, pues es el que mejor para caracterizar el tipo de deslizamiento más probable.

Para la realización del plano de amenaza por fenómenos de remoción en masa, se realizó filtrado las superficies de falla que representan amenaza media y alta (en función del factor de seguridad), ubicando espacialmente el área directamente implicada en el movimiento en masa presente, con esta información se generó el plano en planta de amenazas para este escenario

Encontramos que la ladera ubicada en la parte sur de este municipio presenta en sus partes más pendientes una amenaza alta debido a los espesores de suelo y sus propiedades, pasando por pendientes medias con amenaza media con espesores más pequeños que en la parte superior.

Hacia la falda de la ladera encontramos afloramientos de roca y estratos pequeños lo que nos proporciona una amenaza baja. Llegamos al borde de la quebrada Curiti donde cambian los materiales debido a que en la parte sur es formación Rosa blanca y ya en el borde del municipio lugar por donde bordeando pasa la quebrada Curití, allí aparece la formación Tambor (areniscas). A lado y lado de quebraba se evidencian afloramientos de esta formación, pero también tos tipos de suelos, uno muy meteorizado superficial y otro poco meteorizado debajo de este, estos espesores de suelo proporciona una amenaza alta hacia la parte urbana debido a sus propiedades y la alta pendiente que en que se encuentran soportados.

Pasando la quebraba observamos una amenaza media, y hacia el nor oeste sitio de menor pendiente con afloramientos de roca superficial tenemos una amenaza baja

## BIBLIOGRAFIA

HERMELIN, Michel. 1987. Bases de Geología Ambiental. Universidad Nacional, Facultad de Minas. Medellín. 300 p.

INGEOMINAS. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta. Subdirección de Amenazas Geológicas y Entorno Ambiental, Bucaramanga. 2007. 631 p.

ROYERO GUTIÉRREZ, José María y CLAVIJO TORRES, Jairo. Mapa geológico generalizado Departamento de Santander. Memoria explicativa. Escala 1 : 300 000.

INGEOMINAS, Bogotá D.C. 2001. 91 p.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Geotecnia de la Vía Bucaramanga Barrancabermeja en el sector La Azufrada – Río Sogamoso. 2011. Disponible en <[www.erosion.com.co](http://www.erosion.com.co)>.

GONZALES PULIDO, Orlando. Geología de la plancha 135 San Gil. Escala 1: 100 000. INGEOMINAS, Bogotá D.C. 1985. Versión digital 2009. 1 hoja.

## **ANEXOS**

**ANEXO A. GEOLOGIA**

**ANEXO B. GEOTECNICO**

**ANEXO C. CARTOGRAFIA**