

**CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE  
PROBLEMAS DE INESTABILIDAD EN UNA ZONA URBANA CASO DE  
ESTUDIO MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE  
SANTANDER, COLOMBIA. BARRIO: SAN LUIS - SECTOR UNIVERSIDAD DE  
PAMPLONA**

**JOSÉ ANTONIO PARADA COTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
MAESTRÍA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2018**

**CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE  
PROBLEMAS DE INESTABILIDAD EN UNA ZONA URBANA CASO DE  
ESTUDIO MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE  
SANTANDER, COLOMBIA. BARRIO: SAN LUIS - SECTOR UNIVERSIDAD DE  
PAMPLONA**

**JOSÉ ANTONIO PARADA COTE**

**Trabajo de grado presentado como Magíster en Geotecnia**

**Director:  
ÁLVARO PEDROZA ROJAS  
Magíster en Geotecnia**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL –  
MAESTRÍA EN GEOTECNIA  
BUCARAMANGA**

**2018**

Dedico este logro a mis Padres, a mis Hermanas, a mi Hijo, por su apoyo en cada proceso que realice para poder viajar y asistir a las clases de la Maestría, a la empresa MAB Ingeniera de Valor por brindarme el espacio para desarrollar mis estudios cada vez que necesitaba viajar, y a todos los docentes y personal administrativo de la Maestrea en Geotecnia, de la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas - Escuela de Ingeniería Civil.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por darme grandes bendiciones para continuar mi formación como profesional.

Al Gerente General, y Directores de Interventoría de la Empresa MAB ingeniería de valor, por darme el espacio y el tiempo para poder continuar mi formación académica y como profesional.

A la Universidad Industrial de Santander por darme la oportunidad de estudiar la Maestrea en Geotecnia, en la Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas - Escuela de Ingeniería Civil.

Al Director de la Maestría en Geotecnia, al Personal Administrativo, al Director del Proyecto de Grado y el Ing. José Alberto Rondón por brindarme la asesoría para dar la culminación a mis estudios.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	20
1. MARCO GENERAL .....	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 Objetivo general.....	23
1.2.2 Objetivos específicos .....	24
2. JUSTIFICACIÓN.....	25
2.1 LOCALIZACIÓN.....	26
2.2 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	28
2.3 DELIMITACIONES.....	29
2.3.1 Delimitación Espacial .....	29
2.3.2 Delimitación Temporal .....	30
2.3.3 Delimitación Conceptual .....	30
3. MARCO REFERENCIAL.....	31
3.1 ANTECEDENTES.....	31
3.2 MARCO CONTEXTUAL.....	34
3.3 MARCO TEÓRICO. ....	35
3.4 MARCO CONCEPTUAL.....	37
3.5 MARCO LEGAL.....	39
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	40
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	40
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	40
4.3 INSTRUMENTOS DE CAPTACIÓN DE DATOS. ....	41
4.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE PROCESAMIENTO DE DATOS. ....	43

5. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES. ....	45
5.1 ENCUADRE GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL ÁREA DE PROYECTO. ...	45
5.2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SECTORES OBJETOS DE ANÁLISIS.....	53
5.3 AMENAZAS NATURALES IDENTIFICADAS EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO.	56
5.3.1 Tectonismo y actividad sísmica .....	56
5.3.2 Análisis Sismológico Tectonismo y Actividad Sísmica Zonas de Estudio .....	57
5.4 PROCESOS DE REMOCIÓN NATURAL DE TIERRAS.....	62
5.4.1 Antecedentes históricos .....	62
5.5 RASGOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA VISIBLES EN EL ÁREA EVALUADA.....	65
5.5.1 Grietas de desecación .....	65
5.5.2 Procesos de reptación .....	72
5.5.3 Rasgos de procesos exógenos en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona) .....	73
5.5.4 Deslizamientos.....	74
6. AMENAZAS GEOLÓGICAS RELEVANTES EN EL SITIO EVALUADO.....	81
6.1 ASPECTOS SISMOLÓGICOS BARRIO SAN LUIS (SECTOR UNIVERSIDAD DE PAMPLONA).....	82
6.2 TRABAJO DE CAMPO EXPLORACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL BARRIO SAN LUIS, FRENTE A LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER.....	94
6.2.1 Metodología para el trabajo de campo.....	94
6.3 CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO. ....	105
6.3.1 Descripción de la Refracción Sísmica Línea 1.....	105
6.3.2 Descripción de la Tomografía Sísmica Línea 1.....	106
6.3.3 Ensayo de Ondas Superficiales MASW1D Línea 1.....	107
6.3.4 Descripción de Ondas Superficiales MASW1D Línea 1.....	108
6.4 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS .....	110

6.4.1 Barrio San Luis (Talud superior de la vía Pamplona Bucaramanga - Frente al campus de la Universidad de Pamplona) .....	110
6.5 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS Y TALUDES.....	120
6.5.1 Parámetros mecánicos .....	124
6.5.2 Análisis – Aplicación del software GEOSLOPE .....	125
7. CONCLUSIONES .....	139
8. RECOMENDACIONES.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	146
BIBLIOGRAFÍA.....	149

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localización del Barrio San Luis, objeto físicos de estudio.....	27
Figura 2. Localización del Barrio San Luis, objeto físicos de estudio.....	28
Figura 3. Escenarios del trabajo investigativo adelantado. ....	44
Figura 4. Sección del Cuadrángulo Geológico H13. ....	47
Figura 5. Leyenda estratigráfica correspondiente al Cuadrángulo Geológico H13. .....	48
Figura 6. Fallas en proximidad al sitio de análisis.....	49
Figura 7. Mapa de amenaza sísmica. Valores Aa, Av, Título A NSR-2010. ....	57
Figura 9. Zonificación geológica de Pamplona .....	72
Figura 10. Surcos erosivos formados por escorrentías y bloques de roca esparcidos en el sector intermedio del talud barrio San Luis. ....	74
Figura 11. Deslizamiento planar en macizo rocoso y Deslizamiento planar en macizo rocoso.....	75
Figura 12. Imagen satelital Google Earth del sector geográfico enunciado. ....	82
Figura 13. Polígono evaluado en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona.).....	84
Figura 14. Mapa de amenaza sísmica colombiana por franjas. ....	85
Figura 15. Punto del polígono sobre el cual fue corrido el programa Google Earth para establecer el record de actividad sísmica. ....	86
Figura 16. Herramienta en línea utilizada para establecer la información sísmica en campo, en el centro del polígono evaluado en el Barrio San Luis, Pamplona. ....	89
Figura 17. Información telúrica que revela la herramienta consultada.....	90
Figura 18. Gráfica de Magnitud momento vs Número acumulado de eventos. ....	92
Figura 19. ubicación del polígono analizado y la línea de Refracción Sísmica LS1	

para el Sector El Buque ubicado en el Barrio San Luis del Municipio de Pamplona, Departamento de Norte de Santander. ....	96
Figura 20. Sismógrafo GEODE utilizado para la ejecución de las líneas de Refracción Sísmica .....	97
Figura 21. Geófonos SPACE utilizados para la ejecución de las líneas de Refracción Sísmica. ....	97
Figura 22. Líneas topográficas de análisis, y línea de refracción sísmica. ....	101
Figura 23. Mapa topográfico logrado. ....	102
Figura 24. Perfil Topográfico Evaluado línea sísmica (LS1-1--LS1-24), sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga. ....	103
Figura 25. Perfil Topográficos Evaluado (P1-P2) sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga. ....	104
Figura 26. Perfil Topográfico Evaluado (P3-P4) sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga. ....	104
Figura 27. Resultado Ensayo de Refracción Sísmica o Modelo simplificado de dos capas. ....	105
Figura 28. Resultado Ensayo de Refracción Sísmica - Modelo Tomografía 2D. .	106
Figura 29. Resultado Ensayo de Ondas Superficiales MASW1D. ....	108
Figura 30. Perfil Geológico evaluado con cada uno de los Geomateriales línea sísmica (LS1-1--LS1-24). ....	109
Figura 31. Ubicación del estudio referente 1. ....	111
Figura 32. Área del polígono del barrio San Luis, y área donde se desarrolló el estudio de suelos para la construcción del salón de morfología en la UniPamplona. ....	111
Figura 33. Perfiles estratigráficos para cada uno de los apiques. ....	115
Figura 34. Perfil de suelos hallado en los apiques. ....	116
Figura 35. Secuencia de fases realizadas en la determinación de la estabilidad de las laderas. ....	123
Figura 36. Perfil topográfico Evaluados línea sísmica (LS1-1--LS1-24). Ladera evaluada Barrio San Luis, Pamplona, N.S. ....	127

Figura 37. Datos de entrada. ....	128
Figura 38. Se procesan los datos para el cálculo del F.S. con la condición inicial del talud análisis global.....	129
Figura 39. Condición estática del talud, aplicando carga en corona, nivel freático y análisis global. ....	130
Figura 40. Condición pseudoestática del talud, aplicando carga, nivel freático análisis dinámico.....	131
Figura 41. Condición pseudoestática del talud con corte o terrazas, nivel freático y coeficiente sísmico.....	132
Figura 42. Condición pseudoestática del talud con corte o terrazas, aplicando carga, nivel freático y coeficiente sísmico, más elementos de estabilización con anclajes activos.....	133
Figura 43. Condición pseudoestática del talud con corte o terrazas, aplicando carga, nivel freático y coeficiente sísmico, más elemento de estabilización con muro de contención en la terraza superior y anclajes activos.....	134
Figura 44. Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos .....	137

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Corte artificial magnificado por posteriores procesos de denudación. Superficialmente se aprecian vestigios de raíces de árboles preexistentes, vetas de geomaterial cuarzoso y/o calcáreo, y grietas de desecación por pérdida de humedad.....	50
Fotografía 2. Algunas de las obras de arte existentes a media ladera para el manejo de aguas lluvias presentan agrietamientos longitudinales como el observado en la estructura mostrada.....	50
Fotografía 3. Vista panorámica de la extensión de frontera agrícola para zonas de pastoreo de ganado vacuno perpetrada en el área de observación. ....	51
Fotografía 4. Grietas de desecación por pérdida de humedad. ....	51
Fotografía 5. Grietas de desecación sobre zonas en pendiente, caracterizadas por sedimentos finos arcillosos .....	52
Fotografía 6. Rasgos típicos de movimientos reptacionales y depósitos de detritos en ladera.....	52
Fotografía 7. Pulsos de energía. Descansos generados por la complejidad de los movimientos reptacional y flujo de detritos. ....	53
Fotografía 8. Grietas de contracción.....	67
Fotografía 9. Grietas de contracción. Surcos erosivos que se constituyen en canales de flujo. ....	67
Fotografía 10. Patologías (exudaciones, fisuramiento, filtraciones, enmohecimiento, etc.) en muro de contención. ....	68
Fotografía 11. Detalles de patologías observables en el muro de contención. ....	68
Fotografía 12. Fisuramiento en cuneta en concreto.....	69
Fotografía 13. Área analizada identificando las amenazas barrio San Luis.....	76

Fotografía 14. Huellas de antiguos corrimientos rotacionales de suelo. Barrio San Luis, .....	77
Fotografía 15. Rasgos de diferentes movimientos en masa en el Barrio Sal Luis, Pamplona, N.S.....	78
Fotografía 16. Grieta gravitacional, transversal a la pendiente, surgida en el área de estudio, en el año 2010 del barrio San Luis, época de alta precipitación en Colombia.....	79
Fotografía 17. Acumulación de bloques de Roca gravitando sobre las laderas. ...	80
Fotografía 18. Detalle centro de adquisición de datos de la Línea Sísmica LS1. ...	98
Fotografía 19. Detalle centro de adquisición de datos de la Línea Sísmica LS1. ...	98
Fotografía 20. Detalle de la demarcación y ubicación de la Línea Sísmica LS1....	99
Fotografía 21. Detalle de la generación de energía para la adquisición de datos en refracción sísmica y ondas superficiales.....	99
Fotografía 22. Resultados del software en la generación de energía para la adquisición de datos en refracción sísmica y ondas superficiales. ....	100

## LISTA TABLA

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Procesos geológicos identificados en las áreas de estudio. ....	36
Tabla 2. Documentos de interés geotécnico evaluado, en el marco del presente trabajo. Registra una relación de documentos y fuentes consultadas: .....	42
Tabla 3. Valores de PGA. ....	59
Tabla 4. Valores de PGA. Valores de KST amax Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes. ....	60
Tabla 5. Valores de coeficiente pseudoestático para el caso de estudio del Barrio San Luis. ....	61
Tabla 6. Relación de algunos eventos de procesos naturales ocurridos en Pamplona, Norte de Santander. ....	62
Tabla 7. Características de las zonas aledañas a los sitios de análisis. ....	65
Tabla 8. Procesos naturales que constituyen amenaza de origen geológico para el Barrio San Luis. ....	81
Tabla 9. Descriptores de la zona analizada. ....	83
Tabla 10. Coordenadas del polígono analizado. ....	84
Tabla 11. Relación de la magnitud momento y numero acumulado de sismos. ....	91
Tabla 12. Equivalencia de variables y cálculo de M. ....	93
Tabla 13. Propiedades de los perfiles de elevación evaluados. ....	103
Tabla 14. Datos obtenidos en los ensayos de Ondas Superficiales MASW1D. ....	107
Tabla 15. Descripción de resultados de la prueba SPT, y de la densidad relativa en términos del N <sub>spt</sub> . ....	112
Tabla 16. Propiedades índices y de clasificación de los suelos evaluados. ....	118
Tabla 17. Propiedades índices y de clasificación de los suelos evaluados. ....	119
Tabla 18. Variables de insumo para el uso del programa Geoslope en la tarea de	

evaluar la estabilidad del talud (Perfil de suelos de la línea de refracción sísmica LS-1). ..... 124

Tabla 19. Resultados de factores de seguridad hallados según diferentes métodos de cálculo en el marco de la técnica de equilibrio límite. .... 135

## **LISTA DE ANEXOS**

Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en base de datos de la Biblioteca UIS.

ANEXO A. Informe – Refracción sísmica – Sector

ANEXO B. Proyecto de piscina semiolímpica – Estudio geotécnico

## RESUMEN

**TÍTULO:** CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE INESTABILIDAD EN UNA ZONA URBANA CASO DE ESTUDIO MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA. BARRIO: SAN LUIS - SECTOR UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.\*

**AUTOR:** JOSÉ ANTONIO PARADA COTE\*\*

**PALABRAS CLAVES:** geología, geomorfología, caracterización, suelo, deslizamiento de tierra, amenaza, procesos, remoción, estabilidad y análisis.

### **DESCRIPCIÓN:**

El municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el Departamento de Norte de Santander, asociado al complejo geológico, topográfico (terrenos de alta montaña, con dimensiones superiores a 2300 m.), Características tectónicas e hidrometeorológicas del área de Pamplona, son procesos naturales, antropogénicamente dinamizados, que constituyen una amenaza (procesos de eliminación natural de tierras, procesos de erosión y meteorización, inundaciones, tectonismo).

Diferentes eventos de cada uno de los grupos de riesgo natural mencionados han sido detonados en la zona, implicando riesgos de diferentes magnitudes y comprometiendo vidas humanas, infraestructura, bienes, actividades y servicios. Tal es el caso del barrio: San Luis (área de la Universidad de Pamplona). El proyecto contempla la caracterización geológica, geotécnica y cultural (naturaleza y grado de intervención artificial) del área mencionada, así como la evaluación de las solicitaciones a las que está expuesta, a fin de poder realizar un análisis de las condiciones de posibles inestabilidades del área analizada y para proponer la (s) alternativa (s) de solución (es) más adecuada (s).

Se realizó reconocimiento de datos in situ y recopilación de datos, revisión y lectura crítica de la historia documental descriptiva del área evaluada, mapeo geológico, identificación de geomateriales, clasificación del macizo rocoso, entre otros desarrollos, a través del uso adecuado del software especializado y métodos de estabilidad, análisis de pendientes y pendientes frente a procesos de eliminación de masa, donde se dan soluciones alternativas al problema presentado.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil - Programa de Maestría en Geotecnia. 2016. Director: Álvaro Pedroza Rojas. Ingeniero Civil UFPS, Esp. Vol. ESING, M.Sc. Geotecnia SDSMT

## ABSTRACT

**TITLE:** CHARACTERIZATION, ANALYSIS AND ALTERNATIVES OF SOLUTION OF INSTABILITY PROBLEMS IN AN URBAN AREA, STUDY CASE OF PAMPLONA MUNICIPALITY IN THE DEPARTMENT OF NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA. NEIGHBORHOODS: SAN LUIS - UNIVERSITY OF PAMPLONA AREA.\*

**AUTHOR:** JOSÉ ANTONIO PARADA COTE\*\*

**KEYWORDS:** geology, geomorphology, characterization, soil, landslide, threat, processes, removal, stability, and analysis.

### DESCRIPTION:

The Pamplona municipality located in the Department of Norte de Santander, associated to the complex geological, topographic (high mountain terrains, with dimensions above 2300 m.), tectonic and hydrometeorological characteristics of the area of Pamplona, are natural processes, anthropogenically dynamized, which constitute a threat (processes of natural removal of lands, erosive and weathering processes, floods, tectonism).

Different events of each of the natural hazard groups mentioned have been detonated in the area, entailing risks of different magnitudes and compromising human lives, infrastructure, goods, activities and services. Such is the case for the neighborhoods: San Luis (University of Pamplona area). The project contemplates the geological, geotechnical and cultural characterization (nature and degree of artificial intervention) of the mentioned area, as well as the evaluation of the solicitations to which it is exposed, so as to be able to carry out an analysis of the conditions of possible instabilities of the analyzed area and to propose the most suitable alternative (s) of solution (s).

There were performed in-situ data recognition and data collection, review and critical reading of descriptive documentary history of the assessed area, geological mapping, geomaterials identification, classification of the rocky massif, among other developments, through the proper use of the specialized software and methods of stability, analysis of slopes, and slopes in front of mass removal processes, where alternative solutions are given to the problem presented.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Civil Engineering - Masters Program in Geotechnics 2016. Director: Álvaro Pedroza Rojas. Civil Engineer UFPS, Esp Vol. ESING, M.Sc. Geotechnics SDSMT

## INTRODUCCIÓN

La construcción de obras de infraestructura implica el análisis previo de la información geológica y geotécnica del área de proyecto y la obtención de los parámetros físicos y mecánicos de los suelos del sitio específico donde se realizan las obras.

Tales análisis deben involucrar la identificación y evaluación de las amenazas naturales que potencialmente podrían afectar las obras del proyecto civil. Dentro de tales fenómenos naturales deben incluirse los procesos de remoción natural de tierra, cuyo desarrollo afecta seriamente los bienes materiales y aún a las personas mismas, de modo que los niveles de riesgo por pérdidas físicas y humanas son altos.

Infortunadamente existen registros serios de materialización de procesos naturales que han afectado poblaciones enteras (caso reciente, el casco urbano del municipio de Gramalote, en el Departamento Norte de Santander, destruido por un proceso de remoción natural de tierras complejo ocurrido en diciembre del 2010 y la destrucción de la infraestructura vial rural y urbana en varios sectores de Colombia, durante las épocas de inviernos de gran intensidad y duración). Los antecedentes descritos, por los impactos nefastos que dejaron tales procesos naturales, señalan la necesidad de buscar soluciones orientadas a reducir los daños que estos producen. Una gran variedad de técnicas de mitigación contra deslizamientos, han sido aplicadas en diferentes escenarios, con distintos resultados; algunas basan su diseño y funcionamiento en variables geométricas, otras están fuertemente influenciadas en la naturaleza y características de los geomateriales que conforman los terrenos en pendiente. La experiencia ha demostrado que no existen soluciones únicas para todo tipo de problema y que las más acertadas son aquellas basadas en la caracterización y estudio específico del sitio que se desea proteger y cuyo

diseño se base en el análisis de las características geomorfológicas, geométricas, geológicas, geotécnicas y culturales propias del sector.

La presente investigación de carácter aplicado está orientada a formular una solución apropiada para controlar y/o prevenir procesos de remoción en masa en el barrio San Luis (sector universidad de Pamplona), en el municipio del mismo nombre, en el Departamento Norte de Santander, Colombia. En tal sentido, el proyecto contempla la caracterización geológica, geotécnica y cultural (naturaleza y grado de intervención artificial) del sector mencionado, así como la evaluación de las solicitaciones a las que está expuesto, de modo de poder realizar un análisis de las condiciones de posibles inestabilidades del área estudiada y de proponer la (s) alternativa (s) de solución (es) más adecuada(s).

Para el propósito descrito se realizaron jornadas de reconocimiento y levantamiento de datos in situ, revisión y lectura crítica de antecedentes documentales descriptivos de la zona evaluada, diagnóstico de la infraestructura urbana a la luz de la normatividad NSR10, estudio de la cartografía geológica, identificación de geomateriales, clasificación del macizo rocoso, entre otros desarrollos, mediante el uso adecuado del software especializado y de métodos de análisis de estabilidad de laderas y taludes frente a procesos de remoción en masa.

Fruto del trabajo realizado se presentan algunas recomendaciones metodológicas sobre manejo de las zonas de inestabilidad.

## **1. MARCO GENERAL.**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

El Municipio de Pamplona presenta geoforma de artesa con pendientes moderadas a altas, geología compleja y, al menos cinco unidades geomorfológicas bien definidas: terrenos lacustres, depósitos coluviales, suelos aluviales, suelos residuales, macizos rocosos con diferentes grados de fracturación y de meteorización. En términos de la génesis geológica, el casco urbano registra materiales ígneos y sedimentarios.

La ciudad de Pamplona, al igual que la mayor parte de las poblaciones del Norte de Santander, está emplazada en un ambiente tectónico activo y catalogada como de amenaza sísmica alta.

En términos hidrológicos, la región de Pamplona constituye la esponja naciente del Río Pamplonita y configura, junto con el Páramo de Santurbán, una de las mayores reservas hídricas del Departamento y de las de mayor pluviosidad.

Asociado a las características geológicas, topográficas (terrenos de alta montaña, con cotas superiores a los 2300 m.s.n.m), tectónicas e hidrometeorológicas del área de Pamplona, resultan procesos naturales, antrópicamente dinamizados, que constituyen amenaza (procesos de remoción natural de tierras, procesos erosivos y de meteorización, inundaciones, tectonismo).

Diferentes eventos de cada uno de los grupos de amenazas naturales mencionados, han sido detonados en el área, conllevando riesgos de diferentes magnitudes y comprometiendo vidas humanas, infraestructura, bienes, actividades y servicios.

El asentamiento humano denominado **Barrio San Luis**, sector de la Universidad de Pamplona, es un ejemplo de reciente afectación producida por procesos de remoción natural de tierras.

Pese a existir en el municipio de Pamplona estudios de suelos en diferentes sectores de la ciudad, hace falta énfasis en que este tipo de documentos se complementen con estudios geotécnicos, los cuales posibilitan un mejor conocimiento del medio natural de modo que se puedan realizar desarrollos urbanos estables.

En el municipio de Pamplona, las entidades municipales encargadas de vigilar el cumplimiento de las normas constructivas, desconocen la importancia de solicitar la realización de estudios geotécnicos, que permitan entender el comportamiento del suelo de fundación o sus orígenes, estableciendo que tan apropiado puede ser un sitio para su desarrollo urbanístico.

## **1.2 OBJETIVOS**

**1.2.1 Objetivo general.** Determinar las condiciones de inestabilidad de laderas asociadas a los procesos de remoción en masa presentado en el barrio SAN LUIS, (sector Universidad de Pamplona), del municipio del mismo nombre en el Departamento de Norte de Santander, Colombia, y presentar propuesta de solución a la problemática encontrada y hacer recomendaciones para futuros desarrollos Urbanísticos.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Análisis de la información existente (estudios de suelos, sondeos y fotointerpretación), de tal manera que se puedan establecer parámetros geotécnicos que permitan analizar el talud de estudio.
- Proponer un modelo geotécnico que visualicen las condiciones de estabilidad del talud y en caso de requerirse proponer dos (02) posibles soluciones para su estabilización o mitigación.
- Analizar las posibles causas que pudieran generar la remoción en masa en la zona de estudio o sitios aledaños.
- Realizar una comparación y análisis de las causas que han ocasionado las remociones en masa y determinar si esta situación puede repetirse en otros sectores del casco urbano del municipio de Pamplona.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El estudio realizado tiene como argumento justificante la necesidad de esclarecer la realidad o el mito, frecuentemente esgrimido de la existencia de posibles problemas de inestabilidad de los terrenos en pendiente pertenecientes al barrio mencionado, en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander. Lo anterior conllevó a practicar varias jornadas de reconocimiento de campo, que permitieron realizar el levantamiento de información in situ, identificar rasgos característicos de la geología del sector, observar elementos descriptivos de procesos de remoción en masa, entre otras acciones.

Se realizó la Exploración Geofísica Mediante Refracción Sísmica en el sector analizado, el estudio de exploración Geofísica se realizó por medio de Refracción Sísmica y Ondas Superficiales, se realizan como complemento a los estudios Geotécnicos del área a explorar, básicamente se realizan para determinar la profundidad de la roca, espesores y/o capas de contacto basados en los registros de las respuestas sísmicas tales como las velocidades Compresionales ( $V_p$ ) y Velocidades de Corte ( $V_s$ ).

Por otra parte, el estudio realizado se justifica por cuanto conocer la problemática de inestabilidad de un sector urbano, permite adoptar con antelación las medidas preventivas que eviten que, al materializarse la amenaza, se produzcan situaciones indeseables de riesgo.

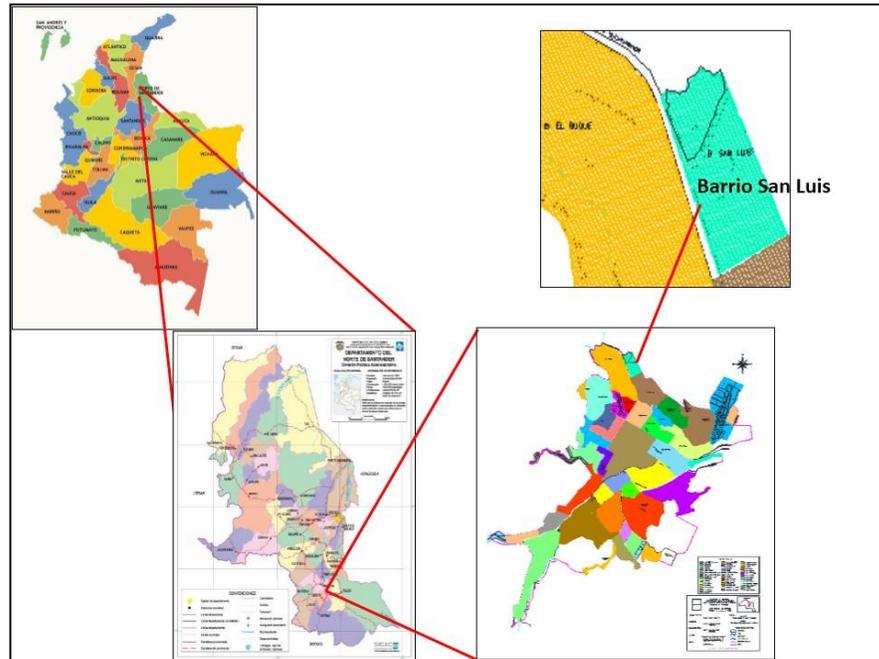
Así mismo, la investigación adelantada constituye un aporte tanto para el planeamiento urbano de la ciudad de Pamplona, Norte de Santander, como para las políticas de prevención de desastres. La investigación se convierte en un insumo de primer orden para complementar el análisis de vulnerabilidad y riesgos de la ciudad. De hecho, determinar el grado e índice de susceptibilidad estructural de las

edificaciones urbanas en la ciudad, dentro de un marco de planeación urbana y de protección civil, es apostarle a la cultura de la prevención de desastres, máxime cuando en los actuales momentos es casi imposible ejercer un estricto control de los procesos constructivos conforme a lo normado en la NSR10, y normas vigentes.

## **2.1 LOCALIZACIÓN**

El área evaluada (Barrio: San Luis) pertenecen al municipio de Pamplona, localizado al Nororiente de Colombia, en el Departamento Norte de Santander, con coordenadas geográficas 07° 22' 41" de latitud Norte y 72° 39' 09" de longitud Oeste. La municipalidad se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2.300 m y su temperatura promedio es de 15,4°C. Este campo territorial pertenece a la región sur-occidental del Departamento Norte de Santander y está integrada en forma conjunta con los municipios de Pamplonita, Chitagá, Silos, Cácuta y Mutiscua. La Figura 1 esquematiza la localización geográfica del predio evaluado en la presente investigación.

**Figura 1. Localización del Barrio San Luis, objetos físicos de estudio.**



Fuente: Adaptado de P.B.O.T. Pamplona 2001.

EL Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona): se localiza en el sector norte del casco urbano, se encuentra ubicado sobre la margen derecha de la vía que conduce a la ciudad de Bucaramanga, frente a la Universidad de Pamplona, a continuación, se describen unas características del barrio:

Área: 51.188 mt<sup>2</sup>

Numero de manzanas: 2

Sectores: 1

Límites: Norte: Vereda Sabanita, Sur: Calle 2<sup>a</sup> B. El Buque, Oriente: Finca Monroy, B/ Juan XXIII, Occidente: V. Sabanita Baja.

En La Figura 2 esquematiza la localización del Barrio San Luis.

**Figura 2. Localización del Barrio San Luis, objetos físicos de estudio.**



Fuente: Google Earth.

## **2.2 ALCANCES Y LIMITACIONES.**

La investigación adelantada es del tipo aplicada y descriptiva. Se basó esencialmente en análisis de la documentación existente, jornadas de reconocimiento en campo y ejercicios de simulación computacional. De conformidad con los objetivos, el desarrollo de la investigación enfatizó en aspectos propios de la geología y la geotecnia.

Se desarrolló ensayo en campo como: EXPLORACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL BARRIO SAN LUIS FRENTE A LA UNIVERSIDAD DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE

SANTANDER, se puede observar en el anexo (A).

No fueron realizados sondeos exploratorios, ni ensayos de caracterización de muestras en laboratorio. La información pertinente fue de carácter secundario correspondiente a estudios puntuales previamente realizados en los sitios evaluados.

La presente investigación es par con el proyecto de igual orientación y objetivos que en simultánea se realiza en el Barrio Valle del Espíritu Santo, por parte del Ingeniero Oscar Javier Jaime Cacua, compañero aspirante al título de Magíster de la UIS.

## **2.3 DELIMITACIONES**

**2.3.1 Delimitación Espacial.** Esta investigación recopila, genera y analiza datos e información referente al problema de inestabilidad de terrenos en pendiente en una zona urbana del Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia.

El proyecto de investigación propuesto hace parte de la Línea de investigación de la Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, institución que ofrece el programa de maestría que los ponentes están cursando; igualmente, el proyecto hace parte de la Línea de Investigación Geomedios del Grupo de Investigación Geoenergía, adscrito al Departamento de Geotecnia y Minería de la Universidad Francisco de Paula Santander, entidad de la cual es egresado de pregrado el tesista y a la que pertenece como docente el Director del proyecto.

El proyecto de grado como prerrequisito para completar las exigencias académicas para la obtención del Título de Magíster en Geotecnia, está bajo el control y supervisión del Consejo Académico y del programa de postgrado de igual nombre, adscrito a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.

El área de emplazamiento evaluada, situada en el municipio de Pamplona Norte de Santander, está demarcada por las fallas geológicas de Pamplona-Chitagá, las cuales son estructuras geológicas de tipo inverso, orientadas con un rumbo nortesur. No obstante, tanto en la zona del Barrio Cristo Rey como en la cuenca de la Quebrada El Escorial, se registran fallas de trazas normales.

La cabecera municipal de Pamplona, N.S, Colombia, ubicada en las estribaciones de la cordillera oriental colombiana, se caracteriza por suelos lacustres y depósito de ladera. La zona de estudio evaluada Barrio San Luis - sector (Universidad de Pamplona), corresponden a áreas de actual expansión urbana, con proyectos de desarrollo vertical de viviendas, y con precedentes de haber sido afectadas por procesos naturales de remoción de tierras.

**2.3.2 Delimitación Temporal.** La presente investigación académica se inició durante el segundo semestre académico de la Maestría en Geotecnia en el año 2014, y fue desarrollado conforme a los términos de referencia indicados en el plan de trabajo (anteproyecto) aprobado previamente y sustentado ante los jurados y Director del plan de estudios de Ingeniería Civil-UIS.

**2.3.3 Delimitación Conceptual.** Conforme fue señalado en líneas previas, la presente investigación está enmarcada en las áreas del conocimiento de la geología y la geotecnia, que hicieron parte esencial del programa de maestría cursado, y se enfatiza en procesos de remoción en masa y por ende en análisis de estabilidad de laderas.

### 3. MARCO REFERENCIAL

#### 3.1 ANTECEDENTES

Existe abundante literatura científica en diferentes latitudes sobre procesos de remoción en masa, métodos de análisis de estabilidad de terrenos en pendiente y desarrollos de software para efectuar dichos estudios, que hacen parte del estado del arte sobre la temática de la investigación adelantada.

La Ley 1523 de 2012, *“contiene los lineamientos que deben seguirse en el país sobre gestión del riesgo”*, el cual se define como: *“un proceso social que enmarca tres componentes principales: el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, cuyo fin es contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”*

El Decreto 1807 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio regula *“ los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa en suelos urbanos, de expansión urbana y centros poblados rurales, para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial”* y la Guía Metodológica mencionada desarrolla *“los procedimientos que a la luz del estado actual del conocimiento y de las capacidades técnicas y económicas del país resultan convenientes para la ejecución de estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escalas detalladas”*.

Según las disposiciones contenidas en el Decreto aquí referenciado, *“la revisión de los contenidos a mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa deben efectuarse, según el principio de gradualidad”*

indicado en la “*Ley 1523 de 2012, de acuerdo con dos escalas de trabajo y condiciones técnicas específicas en los denominados estudios básicos a escala 1:5000 y estudios detallados a escala 1:2000*”.

Ávila Á. Guillermo E. et al, 2014, desarrollaron en representación del MinMinas y el Servicio Geológico Colombiano, la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, en la cual

Se describen los lineamientos metodológicos para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa a escala detallada o local, que se podrán aplicar en la mayoría de las cabeceras municipales y centros poblados pequeños y medianos de Colombia; es decir, aquellos considerados dentro de las categorías 5 y 6, de acuerdo con las leyes 136 de 1994 y 1551 de 2012.

Por otra parte, constituye base documental precedente y/o antecedentes de la investigación adelantada, los siguientes referentes:

[1] INGEOMINAS y el U.S. Geological Survey, con el apoyo del Gobierno de Colombia y la Agency for International Development, U.S. Department of State, 1965-68, adelantaron un estudio detallado de cartografía, geología e investigaciones de campo. Los resultados de dicho estudio son presentados a manera de resumen en Ward et al. (1973).

[2] Ward et al. (1969a, 1969b, 1970) señalan que el área de estudio está enmarcada en el encuadre geológico definido por el Cuadrángulo H-12 de Pamplona, H-13, de Bucaramanga, I-12 e I-13 de San Gil y Málaga, cuya cartografía está representada en los mapas geológicos a escala 1:100.000.

[3] El P.B.O.T de Pamplona (Plan básico de ordenamiento territorial de Pamplona), 2001 (actualizado en diciembre de 2015), contempla una descripción física fundamental de dicho municipio, destacando que tal ente territorial, el cual cuenta con 318 km<sup>2</sup>, de extensión se encuentra localizado al Nororiente de Colombia, en

el Departamento Norte de Santander, en el marco geográfico delimitado por las coordenadas 07° 22' 41" de latitud Norte y 72° 39' 09" de longitud Oeste, con 2300 m.s.n.m y una temperatura promedio de 15,4°C.

La lectura de la cartografía geológica, elaborada por el Servicio Geológico Colombiano (anterior Ingeominas), del municipio de Pamplona, Norte de Santander, permite observar que el casco urbano de dicho municipio se desarrolla sobre depósitos cuaternarios de origen fluvio - lacustre depositado discordantemente sobre rocas tipo gneis cuarzo monzonítico, perteneciente a la unidad Ortoneis.

[4] Según el Cuadrángulo geológico H12 de Pamplona, el casco urbano de esta municipalidad se desarrolla en el denominado Valle del Espíritu Santo, el cual se encuentra cortado por el cauce del río Pamplonita y bordeado por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias; éstas últimas pertenecientes a las formaciones Girón, Tibú-Mercedes y Aguardiente; la zona tiene fuerte control estructural que geomorfológicamente da origen a lomas y cuchillas.

[5] Así mismo, puede inferirse de la información geológica disponible que, estructuralmente el casco urbano de Pamplona se encuentra enmarcado por falla de Pamplona, la cual es de tipo inverso, con rumbo norte-sur y el sistema de fallas de Chitagá, de tipo inverso, con rumbo norte-sur, cortado por fallas de tipo normal, en el cerro de Cristo Rey y en la cuenca de la quebrada El Escorial.

[6] Estudio Geotécnico proyecto Piscina Semiolímpica Universidad de Pamplona. Laboratorio de suelos, concretos y materiales, Ing. Civil Msc José torres, diciembre del 2011.

[7] Estudio de suelos y cimentaciones para la ampliación del Laboratorio de Morfología de la Universidad de Pamplona, en el municipio de mismo nombre; elaborado por la Empresa Ingeniería + Control 2011 Sas. RI. Ing Civil Carolina

Jácome Romero. Febrero del 2015, (Barrio San Luis).

[8] Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: estudio de caso. Juan Gabriel Rodríguez Solano et al. Grupo de Investigación GESTIÓN INTEGRAL DEL TERRITORIO GIT Programa de Arquitectura, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona.

### **3.2 MARCO CONTEXTUAL**

Pese a que la ciudad de Pamplona dista 75km de la ciudad capital del Departamento Norte de Santander (Cúcuta) percibe la influencia colateral que ha dejado el cierre unilateral del paso fronterizo en el Estado Táchira por parte del gobierno venezolano y por los impactos generados en el país por los diálogos de paz que adelanta el Gobierno con el Grupo FARC.

El proyecto de investigación propuesto es adelantado por estudiantes del programa de Maestría en Geotecnia de la Universidad de Santander-Sede Bucaramanga y su desarrollo está cobijado en la Línea de Investigación de Ingeniería Fisicomecánicas de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS, y, adicionalmente hace parte de la Línea de Investigación Geomedios del Grupo de Investigación Geoenergía, adscrito al Departamento de Geotecnia y Minería de la Universidad Francisco de Paula Santander, entidad a la cual pertenece el Director del presente proyecto.

En esencia, el estudio estuvo direccionado a la evaluación de la estabilidad de las laderas en el barrio San Luis (sector universidad de Pamplona), en el área urbana del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

El área del proyecto hace parte de la macro región del Páramo de Santurbán, la cual ha sido objeto de discusión en relación a una confrontación de dos visiones: la ambiental, centrada en la dispensa de agua que es en sí, dicha reserva natural y, la minera, la cual constituye uno de los sectores económicos más fuertes de la región aportante del producto interno bruto nacional.

La municipalidad de Pamplona es frecuentemente sensible a los movimientos telúricos con epicentro en la región, especialmente a aquellos relacionados con la fuente sismogénica del Nido de Bucaramanga.

Los fenómenos cíclicos del Niño y La Niña encuentran en la ciudad de Pamplona lugar apropiado para impactos eco ambientales asociados a eventos de prolongada sequía o de alta precipitación en diferentes épocas del año.

### **3.3 MARCO TEÓRICO**

Los procesos de movimiento en masa en el área evaluada se asocian a mecanismos naturales de orden geomorfológico; son frecuentemente causados por la acción de fuerzas hidrometeorológicas y/o geológicas y son catalizadas por acción humana; tales procesos involucran desplazamientos de suelo, regolito y roca en tiempos relativamente cortos y su movilización es direccionada por la gravedad.

Dada la configuración geológica y topográfica de Pamplona y en razón a las condiciones ecológicas y climatológicas reinantes, los procesos naturales que dan origen a situaciones de amenaza (probabilidad de ocurrencia de eventos desastrosos en un lugar y tiempo determinado) en los sitios evaluados son, esencialmente:

En las zonas objeto de estudio fueron observados los procesos de remoción en masa señalados en la tabla No 1.

**Tabla 1. Procesos geológicos identificados en las áreas de estudio.**

Lugar de Observación	Procesos geológicos identificados	Rasgos observables in situ
Barrio San Luis (Sector UniPamplona)	<p>A. Actividad tectónica</p> <p>B. Meteorización</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meteorización química</li> <li>- Meteorización biológica</li> <li>- Meteorización mecánica</li> </ul> <p>C. Procesos erosivos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosión hídrica</li> <li>- Erosión eólica</li> <li>- Erosión antrópica</li> </ul> <p>D. Procesos de remoción en masa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reptación</li> <li>- Caída de rocas</li> <li>- Falla por cuña</li> <li>- Falla planar</li> <li>- Flujo de detritus</li> <li>- Deslizamientos (traslacional, rotacional)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pendiente variada (media a alta).</li> <li>- Depósitos coluviales clastos soportados heterogéneos (sobretamaños ígneos, metamórficos y sedimentarios).</li> <li>- Saltos de falla.</li> <li>- Escarpes de diferentes magnitudes.</li> <li>- Escalonamiento (terracedo o huellas pata de vaca)</li> </ul>

Algunos tipos de remoción de masa son complejos e incluyen fluencia, deslizamientos, flujos y caídas, cada uno con sus propias características, que tiene lugar en escalas de tiempo, de segundos a años.

El análisis de imágenes satelitales de los sectores estudiados permite evidenciar la ocurrencia previa en el sector de movimientos de tierra, en diferentes épocas, de los procesos mencionados en la Tabla 1.

La identificación de las huellas geológicas que dejaron tales movimientos sugiere que algunos de tales procesos ocurrieron a un ritmo muy lento, particularmente en las áreas afectadas por variación climática (períodos prolongados de lluvia y secado) y/o antrópica (cambios en la vocación y uso del suelo, cortes y cargas). Así mismo, existen rasgos que señalan la ocurrencia de movimientos a una velocidad muy alta [deslizamientos de rocas y/o tierra común], que pudieron tener consecuencias, inmediatas o diferidas en el tiempo, desastrosas.

Entre los factores modificadores de taludes y laderas, además de los señalados, se destacan: cambios en el ángulo de la pendiente, debilitamiento del material por procesos erosivos, ganancia del contenido de humedad, modificación de la cubierta vegetal, y sobrecargas indebidas en corona o cuerpo de los terrenos en pendiente.

La alta precipitación de la zona, no sólo facilita que la vegetación se establezca en la superficie (aspecto positivo), sino que, siendo excesiva, conlleva a que los geomateriales dispuestos en pendiente experimenten pérdidas de resistencia al corte, lo cual es una situación desfavorable.

### **3.4 MARCO CONCEPTUAL**

El presente documento hace uso de los siguientes conceptos:

Caracterización de los suelos a partir de su textura (tamaño y forma), propiedades índices, plasticidad y consistencia. Sistema unificado de clasificación de suelos.

Permeabilidad, entendida como la capacidad de un fluido de atravesar un medio poroso.

Compresibilidad de suelos cohesivos, concebida como la capacidad de un sedimento de dejarse reducir el volumen. Usualmente los suelos con alto contenido de materia orgánica y presencia de minerales de arcilla registran alta compresibilidad.

Resistencia al esfuerzo cortante; resistencia de un geomaterial a la cizalla dependiente de la naturaleza, humedad, estructura y meteorización de la masa térrea.

Procesos de remoción en masa o movimientos masivos activados por fuerzas externas (generalmente hidrometeorológicas) o endógenas (fuerzas tectónicas o magmáticas), referidos a desplazamiento, en tiempos relativamente cortos, de grandes volúmenes de material a lo largo de superficies de falla y en favor de la pendiente.

Deslizamientos: descenso hacia abajo y hacia afuera de una masa de tierra, usualmente direccionado por la pendiente y las fuerzas de la gravedad, en forma relativamente rápida, con capacidad de impactar en forma negativa bienes materiales situados sobre el derecho de vía del movimiento.

Los deslizamientos frecuentemente son considerados problemas de frontera: al estar demarcados por dos superficies perfectamente bien definidas: el relieve o perfil topográfico (frontera externa) y la superficie de falla a lo largo de la cual se dinamiza el movimiento en el interior de la masa afectada (frontera interna).

Flujos de tierra y/o lodos: referidos a movimientos másicos que involucran mezclas de materiales blandos y duros y que frecuentemente conllevan una alta dosis de humedad. La presencia de agua en la masa térrea define en gran medida el carácter de la inestabilidad y la velocidad a la cual corre la masa deslizada.

Reptación (Creep): movimiento de suelo en forma lenta y superficial que carece de superficie de falla. Diferentes rasgos han sido identificados como indicadores del proceso en mención: inclinación de los árboles y postes, corrimiento de carreteras y líneas férreas y aparición de grietas.

USCS: sigla, en idioma inglés para denominar el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, el cual utiliza la primera letra de los vocablos en inglés para denominar los diferentes tipos de suelo, así: Grava (G, de gravel), Arena (S, de sand), Limo (si bien se escribe Silt, no utiliza la S, debido a que ya fue empleada para denominar la arena; en su caso se denomina, M, “de mud”; Arcilla (C, de clay).

### **3.5 MARCO LEGAL**

La presente investigación tiene como marco jurídico las siguientes normas:

Ley 1523 de 2012, la cual contiene los lineamientos que deben seguirse en el país sobre gestión del riesgo.

Norma sismo resistente colombiana, NSR10

Normas que regulan la caracterización de suelos: ICONTEC, ASTM, AASHTO

Estatuto estudiantil Universidad Industrial de Santander.

## **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El trabajo investigativo adelantado tiene el carácter descriptivo, exploratorio (revisión documental) y de aplicación. Obedeció a un diseño no experimental, donde lo deductivo estuvo basado en la influencia geológica, geotécnica y antrópica del medio natural; en tanto que lo inductivo se centró en las necesidades de estabilización.

### **4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

El universo o población de la investigación lo integra la fracción del casco urbano del Municipio de Pamplona, situada sobre zonas de ladera y vulnerable a procesos de remoción en masa.

La muestra en el presente proyecto fue intencionalmente seleccionada al corresponder a zonas con alto potencial poblacional que previamente experimentaron eventos de remoción de tierras, como es: el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona).

### 4.3 INSTRUMENTOS DE CAPTACIÓN DE DATOS

La toma de información fue implementada en formato libre, apoyada preferencialmente en jornadas de campo, análisis de galería fotográfica y lectura de documentos pre-existente.

Dos tipos de información fueron de vital importancia en la presente investigación:

- La de carácter primario, contiene información nueva y original, resultado del ejercicio intelectual y está representada por textos, revistas científicas, periódicos, documentos oficiales de instituciones públicas, informes técnicos y de investigación de instituciones públicas o privadas y las normas técnicas consultadas en el marco del proyecto. Así mismo, se incluyen en esta categoría los datos generados o levantados con respecto al trabajo de campo realizado por el autor.
- La de carácter secundario de información corresponden a aquéllas organizadas, elaboradas, producto de análisis, extracción o reorganización que refiere a documentos primarios originales. En este caso, se citan las enciclopedias, antologías, directorios, libros o artículos que interpretan otros trabajos o investigaciones. En este grupo se incluye las metas análisis realizados sobre estudios de suelos realizados en el sector y documentos referenciales divulgados en la red, disponibles en organizaciones gubernamentales u accequible en bibliotecas y bases de datos.

Así mismo fueron consultados textos, periódicos, páginas web, trabajos de grados, revistas especializadas, enciclopedias y artículos científicos, a los cuales se le dio lectura crítica e interpretativa apropiada al objeto del proyecto. Ver Tabla 2

**Tabla 2. Documentos de interés geotécnico evaluado, en el marco del presente trabajo. Registra una relación de documentos y fuentes consultadas:**

Alcance del documento	Título	Autor	Fecha
Mapas	Cartografía topográfica y geológica de la municipalidad de Pamplona.	IGAC y SGC (anterior Ingeominas),	Diferentes épocas
Estudio de suelos, y estudio Geotécnico.	Estudio Geotécnico proyecto Piscina Semiolimpica Universidad de Pamplona.	Laboratorio de suelos, concretos y materiales.	Ing. Civil Msc José torres, diciembre del 2011.
Estudio de suelos y cimentaciones	Ampliación del Laboratorio de Morfología de la Universidad de Pamplona	Empresa Ingeniería + Control 2011 Sas. RI. Ing Civil Carolina Jácome Romero	Febrero del 2015, (Barrio San Luis).
Proyecto	Proyecto control de erosión y rehabilitación ambiental de los sectores veredales de Sabaneta, parte baja y Santa Marta	Convenio Corponor – Universidad de Pamplona, N.S	Febrero, 1987
Estudio de suelos	Para la construcción del Edificio de Laboratorio de Suelos Universidad de Pamplona	Perfoingeniería	Mayo, 2014-
Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UFPS	Zona El Buque	Javier Duarte, Rafael Díaz	Pamplona, 1987
(TESIS) Trabajo de grado como requisito para optar al título de: geólogo.	Caracterización geotécnica de los suelos del campus de la Universidad de Pamplona y los barrios el buque, Juan XXIII, Santa Marta, Cerro redondo, Chíchira y el progreso en el municipio de Pamplona, Norte de Santander.	Alexander rodríguez Blanco.  Manuel Esteban Cantillo Navarro	Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico-Químicas Escuela de Geología, Bucaramanga año 2006.

Alcance del documento	Título	Autor	Fecha
INFORME GEOLÓGICO AMBIENTAL.	Informe geológico ambiental. Preliminar para el área de Pamplona	Jesús Ramón Delgado Rodríguez, Geólogo M.Sc Geotecnia	Universidad de Pamplona Programa de Geología, Pamplona, Mayo 1 De 2011.

#### 4.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La recopilación, selección y análisis de los resultados obtenidos fueron objeto de análisis y discusión crítica a la luz de la normatividad vigente. De conformidad con el tema central del trabajo de aplicación, se hizo énfasis en la evaluación de la estabilidad de las áreas estudiadas, dispuestas en pendiente, frente a procesos de remoción en masa.

Los cuadros, tablas, mapas, figuras, esquemas mostrados en este informe han sido diseñados por los autores o apropiados de otras fuentes. Los anexos presentan información en extenso de temas considerados de interés para el proyecto, pero no considerados adecuados para conformar el cuerpo del informe técnico. Las diferentes actividades adelantadas pueden clasificarse según se ilustra en la Figura 3.

**Figura 3. Escenarios del trabajo investigativo adelantado**



## **5. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES**

### **5.1 ENCUADRE GEOLÓGICO – GEOTÉCNICO DEL ÁREA DE PROYECTO**

En el casco urbano del municipio de Pamplona, en el Norte de Santander, Colombia, afloran rocas metamórficas del proterozoico tardío al paleozoico (especialmente Ortoneis con medio a alto grado de meteorización, el cual constituye parcialmente el basamento metamórfico del Macizo de Santander, aflorante en el área, que se ha estructurado a partir de una compleja historia geotectónica) y, rocas sedimentarias del Cretáceo inferior, pertenecientes a la Cuenca de Maracaibo y sedimentos aluviales y coluviales cuaternarios, los cuales se encuentran ampliamente distribuidos en la zona cubriendo las litologías previamente mencionadas.

Consecuentemente, la zona centro del casco urbano de Pamplona se ha desarrollado sobre depósitos cuaternarios de origen fluvio – lacustre, depositados discordantemente sobre rocas ígneo metamórficas tipo gneis cuarzo monzonítico pertenecientes a la unidad Ortogneis, en el denominado Valle del Espíritu Santo, el cual está cortado por el cauce del río Pamplonita y bordeado por rocas sedimentarias pertenecientes a la formación Girón, Tibú-Mercedes y Aguardiente, lo cual realiza fuerte control estructural y da origen a un relieve de lomas y cuchillas.

La masa de sedimentos que integran los coluviones y aluviones cuaternarios son preferentemente clásticos de origen denudacional. Las geoformas básicas que dan geometría de vaso o artesa al casco urbano de Pamplona, son cadenas montañosas de alta pendiente, pertenecientes a la Cordillera Oriental Colombiana. En las partes bajas de las laderas y en el fondo del vaso natural (Valle del Espíritu Santo) se aprecian depósitos coluviales (conos de deyección, talus, pie de monte) y albardones, orillares y algunas micro terrazas de tipo aluvial cuaternario.

Sobre el basamento metamórfico yacen discordantemente rocas sedimentarias cretácicas [Formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente], las cuales integran el Grupo Uribante, y la Formación Capacho.

De igual manera, a menor escala, se aprecian venas y filones hidrotermales que cortan las unidades aflorantes en dicha región. A escala de afloramiento se identifican estructuras geológicas de deformación: fallas y plegamientos, que dan cuenta del carácter tectónico del área y del comportamiento frágil y/o dúctil de las rocas.

En el sentido de lo expuesto, son identificables zonas de falla, diaclasamiento, áreas de esquistosidad de la roca, lineaciones minerales, venas de cuarzo concordantes con la esquistosidad o cortantes de estas y, pliegues, entre otras estructuras.

Sugiere tal cuadro geológico que la zona objeto de estudio ha sido afectada por eventos tectónicos que han generado intenso fracturamiento, plegamiento y en general grandes deformaciones. De hecho; estructuralmente el casco urbano de Pamplona se encuentra enmarcado por dos fallas de tipo inverso, con rumbo **norte-sur**: La Falla de Pamplona y el sistema de fallas de Chitagá, el cual está cortado por fallas de tipo normal, en el Cerro Cristo Rey y en la Cuenca de la quebrada El Escorial<sup>1</sup>.

La Falla de Pamplona se extiende, desde el norte, y al oeste del Municipio de igual nombre, continúa con dirección sur a sur-suroeste, hasta terminar en la Falla de Morro Negro. A lo largo del trazo de esta falla, se evidencia que las rocas metamórficas de la Formación Ortoneis, en el bloque oriental, están en contacto con una faja delgada de rocas sedimentarias del Cretáceo en el bloque occidental.

---

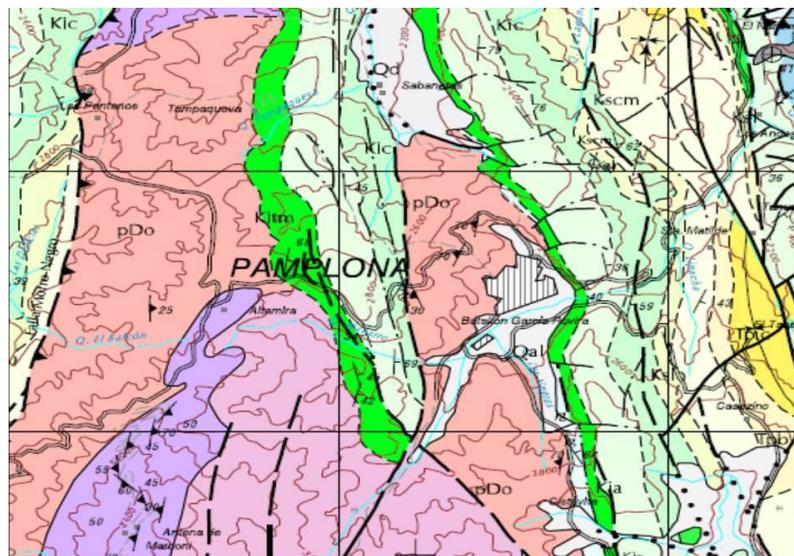
<sup>1</sup> Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Pamplona, 2001

Hacia el sur de Pamplona, esta falla corta al Granito de Durania, y más al sur pone en contacto a este cuerpo intrusivo con la Formación Silgará. Por otra parte, en la zona de estudio se encontraron evidencias de fallamiento como brechas, cambios de pendiente pronunciadas, hundimientos en el terreno.

En la Figura 3 se muestra una sección del Cuadrángulo Geológico H13, generado por Ingeominas (hoy Servicio Geológico Colombiano), donde se puede apreciar un conjunto de fallas geológicas orientadas en dirección N-S, desde el borde norte, en las áreas de Pamplona y Mutiscua hacia el sur, hasta el área de Soatá (WARD et al., 1973). La Figura 4 muestra la leyenda estratigráfica correspondiente al Cuadrángulo Geológico H13.

La mayoría de los rasgos tectónicos presentes en el área de Pamplona parecen ser de tipo normal y, algunos de tales, muestran grandes desplazamientos dejando al descubierto el contacto de rocas del Paleozoico Inferior o del Precámbrico con rocas del Terciario, ver Figura 5.

**Figura 4. Sección del Cuadrángulo Geológico H13**



Fuente: Ingeominas (hoy Servicio Geológico Colombiano).

**Figura 5. Leyenda estratigráfica correspondiente al Cuadrángulo Geológico H13**

Leyenda	
<b>Rocas Estratificadas</b>	
	Aluvi3n
	Coluvi3n, Talud, derrumbes.
Discordancia Angular	
	Formaci3n Barco, Arenisca pardo amarillenta a grisacea, dura, de grano fino; limolita, arenosa a lutitica.
	Formaciones Col3n y Mito Juan Mito Juan: Lutita Gris Verdosa; algunas capas limolíticas a arenosas; n3dulos limolíticos gris oscuro en la parte superior; mantos delgados de carb3n Col3n: Lutita gris a gris oscura, poco calcárea, con foraminíferos, n3dulos y lentes limolíticos.
	Formaci3n La Luna Parte Superior: Caliza, Lutita silicea y chert en capas delgadas de color gris oscuro a negro, con foraminíferos; capas fosfáticas en la parte superior. Parte Inferior: Lutita negra, calcarea con concreciones; caliza gris en capas delgadas.
	Formaci3n Capacho: Lutita gris oscura a negra, con caliza gris, masiva y fosilifera en las partes inferior y superior.
	Formaci3n Aguardiente: Arenisca clara, dura, de grano fino a grueso, con algunas capas de limolita y lutita carbonácea.
	Formaciones Tibu y Mercedes Mercedes: Caliza Gris, fosilifera, arenosa; lutita y arenisca de color gris oscuro. Tibu: Caliza gris, fosilifera, con lutita gris oscura, en la base arenisca clara cuarcítica de grano grueso a conglomerático.
Discordancia Angular	
	Formaci3n Gir3n: Arenisca conglomerática y conglomerados de color gris amarillento a pardo rojizo, masivos y lenticulares; limolita parda rojiza.
	Formaci3n Bocas: Arenisca y lutita de color gris a gris pardusco.
Discordancia Angular	
	Formaci3n Silgará: Filita, esquisto y cuarcita, la mayoría de grado metamórfico
	Neis de Bucaramanga: Paraneis y pocos esquistos; metamorfismo de alto grado, localmente con masas pequeñas de ortoneis.
<b>Rocas Igneas</b>	
	Cuarzo Monzonita y Granito, biotítico y muscovítico, gris claro a rosado pálido, de grano medio.
	Granito Durania, blanco de grano medio a grueso, muscovítico.
	Neis Cuarzo monzonítico y granodiorítico.

Fuente: Ingeominas (hoy Servicio Geológico Colombiano).

A 500m, al sureste del antiguo retén del DAS [Barrio San Luis - Zona El Buque] hacia la parte Norte de la Universidad de Pamplona, son observables afloramientos de areniscas bien cementadas con niveles menos resistentes y brechados, con alto contenido de fósiles de conchas fracturadas y desarticuladas en una matriz limosa o lodosa con costras de calcita, producto del lavado que actúan como cementante de la brechificación.

La forma y características superficiales del terreno observado en el Barrio San Luis, en la municipalidad de Pamplona, Norte de Santander, y otras áreas aledañas, es el producto de procesos geológicos asociados a la actividad de fuerzas internas, del campo gravimétrico, de la acción del agua, aire y el hielo, actuantes sobre las

rocas. Superficialmente los geomateriales son sometidos a constantes cambios en la superficie del terreno debido a la acción de agentes exógenos y en especial, a la actividad antrópica. En la Figura 6 se muestran las fallas que pasan en proximidad de los barrios analizados, las fallas son paralelas al área de estudio del barrio analizado, como son: La Falla de Pamplona; La falla de Chitagá y La falla de Morro Negro.

**Figura 6. Fallas en proximidad al sitio de análisis**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (anterior Ingeominas). Google Earth

Los procesos de remoción en masa visibles en las áreas de estudio y la misma dinámica geomorfológica dejan al descubierto unidades litológicas y estructurales y permiten comprender el proceso de modificación del relieve en el área, en diferentes momentos históricos. La información geológica detallada es necesaria para evaluar la susceptibilidad por amenazas naturales, analizar el riesgo geológico para la población e infraestructura y, para realizar una planificación adecuada del uso del suelo y ubicar las zonas de expansión urbana. Ver fotografías de la 1 a la 7.

**Fotografía 1. Corte artificial magnificado por posteriores procesos de denudación. Superficialmente se aprecian vestigios de raíces de árboles preexistentes, vetas de geomaterial cuarzoso y/o calcáreo, y grietas de desecación por pérdida de humedad**



**Fotografía 2. Algunas de las obras de arte existentes a media ladera para el manejo de aguas lluvias presentan agrietamientos longitudinales como el observado en la estructura mostrada**



**Fotografía 3. Vista panorámica de la extensión de frontera agrícola para zonas de pastoreo de ganado vacuno perpetrada en el área de observación**



**Fotografía 4. Grietas de desecación por pérdida de humedad**



**Fotografía 5. Grietas de desecación sobre zonas en pendiente, caracterizadas por sedimentos finos arcillosos**



**Fotografía 6. Rasgos típicos de movimientos reptacionales y depósitos de detritos en ladera**



**Fotografía 7. Pulsos de energía. Descansos generados por la complejidad de los movimientos reptacional y flujo de detritos**



**5.2 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SECTORES OBJETOS DE ANÁLISIS**

Sendas jornadas de campo, permitieron hacer levantamiento de información in situ e identificar aspectos geológicos y geotécnicos en el barrio objeto de estudio.

**Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona):** El barrio aquí evaluado tiene un área de 5,11 hectáreas, presenta un desarrollo de dos (2) manzanas y limita: al Norte, con la Vereda Sabaneta; al Sur, con la Calle 2ª y el Barrio El Buque; al Oriente, con la Finca de la Familia Monroy, y el Barrio Juan XXIII; al Occidente, con la Vereda Sabaneta, parte baja. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Pamplona, 2001

Se trata de un asentamiento humano con origen informal, que se ha ido integrando al desarrollo urbano de Pamplona en el sector norte, sobre terrenos situados hacia el costado Noroccidental de la vía Pamplona - Bucaramanga, frente a UniPamplona.

Las unidades de vivienda son edificaciones de bajas especificaciones constructivas y situadas sobre terrazas artesanalmente labradas en la ladera.

Geológicamente, los geomateriales son de naturaleza mixta: suelos limosos y/o arcillosos residuales, derivados de rocas grano monzonitas, suelos coluviales clasto soportados y rocas metamórficas, (ortogneis, que ha sido datado como cámbrico a pre-cámbrico) que presentan diferentes grados de meteorización, según el sitio de afloramiento. El sector revela metamorfismo regional y meteorización en distintos grados.

La zona de mayor pendiente, en la parte alta de la ladera, está caracterizada por un afloramiento de una secuencia estratigráfica de rocas sedimentarias cretácicas integradas principalmente por areniscas y calizas.

Sobre toda la superficie de la ladera, se identifican bloques térreos de diverso tamaño (en algunos casos superior a un (1) metro), que están dispuestos en forma aleatoria, de manera superficial o embebidos en una matriz fina con alto contenido orgánico; tales sobre tamaños, desprendidos de los afloramientos rocosos superiores, han sido movilizados por la gravedad, pendiente abajo, en desarrollo de mecanismos de caída de rocas o flujo de detritos.

Los sobretamaños rocosos dispuestos en la parte baja de la ladera, pueden provenir de los flancos que conforman el vaso de la microcuenca del Rio Chiquito o hacen parte de las masas rocosas que integran los procesos de remoción natural de tierras típicos de la zona.

Los fragmentos rocosos presentan geometría irregular, con aristas angulosas y algunos registran superficialmente una película de líquen (hongo), que da idea de la longitud en que han sido transportados desde el macizo rocoso natural.

En la parte alta de la ladera, en el sitio de afloramiento de los geomateriales sedimentarios existe un cambio abrupto de la pendiente, pasando de la verticalidad al escarpe, a una ladera de pendiente sostenida variable entre ( $7^{\circ}23'07,23''N$ ,  $72^{\circ}38'48,08''O$ )

El sector aquí evaluado corresponde a la vereda Sabaneta, parte baja, la cual muestra huellas de procesos de remoción natural de tierras tipo reptación, deslizamientos rotacionales y flujo de detritos, principalmente.

El sector, topográficamente más bajo, está conformado, por depresiones naturales que integran la micro cuenca del Río Chiquito y se direccionan hacia el centro de la municipalidad de Pamplona; los terrenos bajos están caracterizados por humedales, afloramientos de agua y suelos orgánicos. Todo el sector del Barrio San Luis y áreas adyacentes ha sido intervenido antrópicamente por operaciones de deforestación, cambio del uso del suelo, introducción de especies no nativas, desarrollos constructivos, apertura de vías, cría de semovientes, etc. Tales variaciones en el uso del suelo, ha llevado a modificaciones geomorfológicas y geoformas que eran originalmente convexas, lucen hoy geometría cóncava.

En el sector se aprecia cambio de la vegetación nativa por gramínea (pasto ganadero) y especies maderables y medicinales (pino, eucalipto). Infortunadamente, el pino es una planta invasora, que acaba con la biodiversidad y su uso como fuente de madera en edad adulta, la convierte en una especie de aplicación reservada, para propósitos de reforestación y de estabilización de terrenos en pendiente. A esta planta se le asocian procesos de esterilidad del suelo debido a las sustancias aceitosas que segrega, lo cual conlleva a la acidez y

erosionabilidad del suelo, que se ve estimulada por acciones de deforestación por tala y quema de árboles. El peso del árbol es una variable que debe ser analizada, cuando se hacen desarrollos forestales de estabilización de terrenos en pendiente, debido al incremento de sobrecarga, que conlleva.

Siendo el sector de alta montaña y de condiciones climáticas propias de bosque húmedo montano, según Holdrige, las condiciones de precipitación son altas y la ecuación “Infiltración – evapotranspiración” favorece procesos de deslizamiento lento superficial, (reptación).

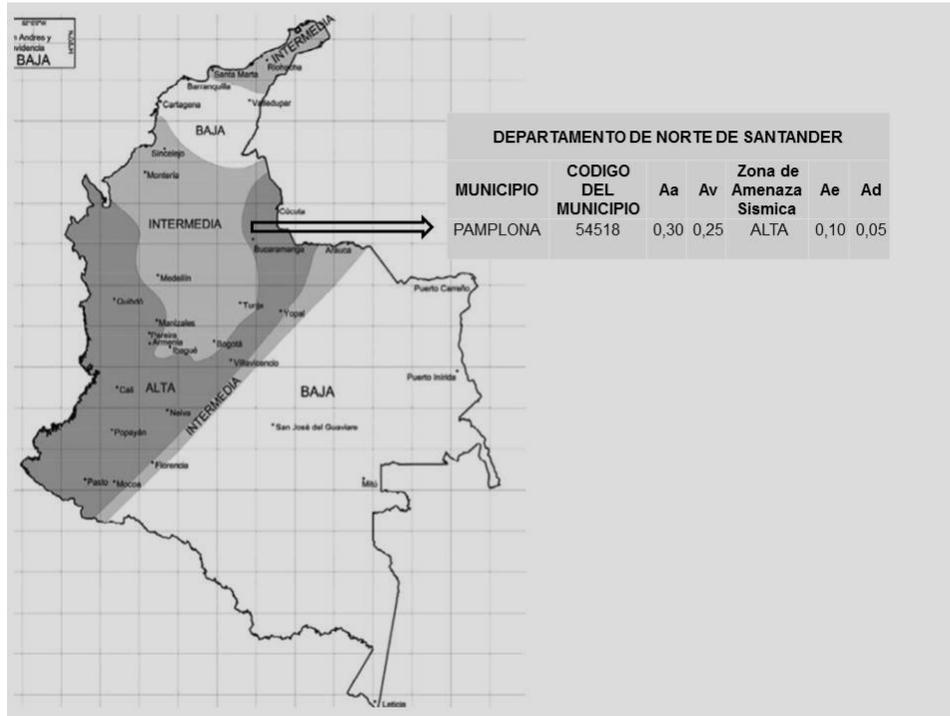
### **5.3 AMENAZAS NATURALES IDENTIFICADAS EN LAS ÁREAS DE ESTUDIO**

**5.3.1 Tectonismo y actividad sísmica.** Pamplona está situada en un ambiente tectónico activo en proximidad al punto de convergencia de las macro fallas “Bucaramanga - Santa Marta” y “Boconó”, las cuales configuran el punto vértice inferior (sur) de la microplaca del Lago Maracaibo. En el mapa de amenaza sísmica colombiano, la ciudad de Pamplona en el departamento Norte de Santander se localiza en zona de amenaza sísmica alta, correspondiéndole una intensidad de  $7^{3/4}$  en la escala de Mercalli, para un periodo de retorno de 100 años, conforme se consagra en la NSR-10. Los coeficientes de aceleración pico para la definición de los espectros sísmicos de diseño, son respectivamente:  $A_a = 0.30$  y  $A_v = 0.25^3$ . Ver figura 7.

---

<sup>3</sup> Apéndice A-4. Valores  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $A_c$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos (NSR-10).

**Figura 7. Mapa de amenaza sísmica. Valores Aa, Av, Título A NSR-2010**



Fuente: NSR 2010.

Pamplona y otros municipios del departamento (Cúcuta, Arboledas, Salazar) se han visto afectados por eventos telúricos que han cobrado, además de bienes materiales e infraestructura, decenas de vidas humanas. De hecho, la historia registra como sismos importantes el ocurrido el 16 de enero de 1644 que destruyó la ciudad de Pamplona; el sismo 1875 que literalmente arrasó la ciudad de Cúcuta y el terremoto del municipio de Arboledas en el año 1950.

### **5.3.2 Análisis Sismológico Tectonismo y Actividad Sísmica Zonas de Estudio.**

El análisis sísmico se basa en determinar el valor del Coeficiente Pseudo Estático, insumo necesario para ingresarlo en el programa SLOPE/W, en el cual factor de seguridad de la estabilidad de taludes se determina por el método de equilibrio límite.

Este Valor se utiliza en el método de equilibrio límite de Bishop (1955), y fue implementado en el programa de cómputo SLOPE/W de Geoslope International (1998), que determina el valor de la aceleración de fluencia, que se emplea en el método de deformación permanente, utilizado para realizar el análisis de la estabilidad de los taludes en condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

Generalmente el coeficiente sísmico pseudoestático corresponde a una **aceleración horizontal** y usualmente no se tienen en cuenta las aceleraciones verticales, por tanto, el coeficiente sísmico se representa como una fuerza horizontal. Valores de coeficiente k recomendados en el análisis pseudoestático (Abramson y otros, 2002).

Su valor generalmente corresponde a una aceleración horizontal, que no tienen en cuenta las aceleraciones verticales, por tanto, el coeficiente sísmico se representa como una fuerza horizontal. [6] (18)

Para la determinación del valor del coeficiente pseudo Estático, se tienen Cuatro (04) Criterios:

**1<sup>er</sup> Criterio:** Tiene en cuenta el tipo de material que conforma el macizo y El coeficiente sísmico de diseño se estimó como el 50% del valor del PGA (Aceleración Máxima del Suelo).

**2<sup>do</sup> Criterio:** Se determina fundamentado en la NSR- 2010, Capítulo 5, título H.5.2.5.

**3<sup>er</sup> Criterio:** Se determina según el criterio de Hynes – Griffin and Franklin, 1984, en el cual el coeficiente sísmico de diseño se estima como el 50% del valor de la aceleración máxima amáx, que está dado por la aceleración máxima del espectro de diseño para el período cero.

**4º Criterio:** Para verificar y reducir las incertidumbres epistémicas y considerando un PGA en el subsuelo de 0.25 g y la ecuación del coeficiente horizontal  $(1/3 * (PGA)^{1/3})$  (Towhata, 2008) se obtiene un coeficiente de aceleración horizontal de 0.20 g.

A continuación, se realiza el cálculo del valor del coeficiente Pseudo Estático por los cuatro métodos y se determina el valor del trabajo para tener en cuenta en la modelación del problema.

**Criterio 1: Teniendo** en cuenta el tipo de suelo y de conformidad con la tabla N° nnnnn y teniendo en cuenta el estudio Tomografico, se determina que es un suelo de la zona 5, “Depósitos Recientes” y se estima como valor del P.G.A. 0,50, ver tabla N3. Valores de PGA de acuerdo a amenazas de movimientos en masa de laderas realizado por Ingeominas.

**Tabla 3. Valores de PGA**

Zona No.	Nombre	UGS	PGA (g)
1	Roca	Rd, Ri, Rb, Sr, Sft3, Sft4, Sft3	0.30
2	Suelo Rígido	Sal, Sat, Sft2, Sft1, Sft2	0.40
3	Llenos	Sla	0.65
4	Depósitos Antiguos	Sfe1, Sco2	0.45
5	Depósitos Recientes	Sfe2, Sco1	0.50
6	Ronda de Río	Sft1, Sft5	0.35

Fuente: Ingeominas 2007.

Por lo cual el coeficiente sísmico de diseño “Coeficiente Seudo Estático” se estima como el 50% del valor del PGA.

$$\text{Coeficiente Seudoestático} = 0,50 * 50\% = 0.25 \text{ g}$$

**Criterio 2: SISMO DE DISEÑO** — Para efectos del análisis y diseño de taludes, se debe emplear la aceleración máxima del terreno,  $a_{max}$  obtenida bien sea de un espectro (aceleración del espectro de diseño para periodo cero) o por medio de análisis de amplificación de onda unidimensionales o bidimensionales, correspondiente a los movimientos sísmicos definidos en el Capítulo A.2 título H de la NSR-10, ver tabla N 4. Valores de  $K_{ST} a_{max}$  Mínimos para Análisis Seudoestático de Taludes

**Tabla 4. Valores de PGA. Valores de  $K_{ST} a_{max}$  Mínimos para Análisis pseudoestático de Taludes**

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

Fuente: NSR-2010, Tabla H.5.2-1

De la anterior tabla se determina el valor de  $K = 0,67$

Y teniendo en cuenta el análisis sismológico y la norma NSR-2010, pamplona se ubica en una Zona de amenaza sísmica: Alta entonces:  $a_{max} = 0.25 \text{ g}$

Coeficiente Pseudoestático:  $= 0.25 * 0.67$ ;  $K_{st} = 0.1675 \text{ g}$

**Criterio 3:**

$a_{máx}$ : Aceleración del espectro para periodo cero  $= A_a * F_a * I$

$A_a = 0,30$

$F_a =$

amás:  $0.30 * 1.3 * 1 = 0.325$

Coeficiente Seudoestático =  $0,39 * 50\%$

Coeficiente Seudoestático = 0,195

#### **Criterio 4:**

Para verificar y reducir las incertidumbres epistémicas y considerando un PGA en el subsuelo de 0.25 g y la ecuación del

Coeficiente horizontal =  $(1/3 * (PGA)^{1/3})$  (Towhata, 2008)

Se obtiene un coeficiente de aceleración horizontal de 0.21 g.

A continuación, en la tabla N5. Se realiza el comparativo de los valores de coeficiente pseudoestático para el caso de estudio del Barrio San Luis del Municipio de Pamplona Norte de Santander, para determinar el valor a utilizar en el SLOPE/W

**Tabla 5. Valores de coeficiente pseudoestático para el caso de estudio del Barrio San Luis**

CRITERIO	PGA	COEFICIENTE SEUDOESTATICO
INGEOMINAS	0,50	0,25 g
NSR-10	0,25	0,1675 g
HYNES – GRIFFIN AND FRANKLIN	0,39	0,195 g
TOWHATA	0,25	0,21 g

## 5.4 PROCESOS DE REMOCIÓN NATURAL DE TIERRAS

**5.4.1 Antecedentes históricos.** En la Tabla 6 se hace referencia a algunos eventos naturales que han constituido amenaza en el área urbana de Pamplona, en diferentes épocas, con impactos de importancia.

**Tabla 6. Relación de algunos eventos de procesos naturales ocurridos en Pamplona, Norte de Santander**

Evento	Lugar	Características	Manifestaciones	Fuente
Terremoto de Pamplona El 16 de Enero de 1644	Casco urbano y rural del Municipio de Pamplona	Dstrucción del 60% de las edificaciones existentes		Profesora Clara Acero
Inundación del Río Monteadentro y Pamplonita, el 3 de Noviembre de 1963	Quebrara Monteadentro sector del Colegio la Normal	Se presentó un represamiento, en la parte alta dela cuenca de la quebrada Monteadentro, y esto genero un represamiento que arrastro material en grandes cantidades que afecto el colegio y llego hasta el sector de la Plazuela Almeyda	Daño en muros de contención del rio Pamplonita y Dstrucción de Casas	Defensa Civil Colombia. Profesora Clara Acero
Inundación Quebrada Navarro y Pamplonita. Del 23 de Abril de 2011	Avenida Santander, Barrios El Zulia, Barrio Santander.	Por la erosión en la parte alta de la quebrada Jurado, y por el aumento en la intensidad de las	Perdida de la Calzada en la vía Bucaramanga, Pr 113+200 Arrastre de Material y Daño en	Defensa Civil Colombia. Y La Opinión.

Evento	Lugar	Características	Manifestaciones	Fuente
		lluvias, genero un represamiento que produjo un deslave que arrastro material desde la parte alta del talud.	Casas Ubicadas en la ribera de la Quebrada.	
Inundación y Deslave Quebrada Baritogh, del 8 de Octubre de 2010.	Casco Urbano del Municipio	Inundación con arrastre de material	Arrastre de material y Daños en el colegio Brighton	La opinión y C.L.E. Pamplona
Remoción de Talud Sector de la Universidad de Pamplona, del 10 de Marzo de 2010	Barrio San Luis	Remoción en masa afectación del sector de la piscina y del barrio San Luis.	Daños en la Piscina de la Universidad y 3 Casas barrio San Luis.	La Opinión.
Derrumbe Sector del Paso del Burro-sector el buque Barrio Santa Marta, del 15 de abril de 2011	Barrio Santa Marta, Sector Barrio el Buque.	Remoción en masa de la parte Alta del talud, afecto 15 viviendas.	Afectación de Viviendas	Defensa Civil Colombia. y La Opinión.
Deslizamiento rotacional retrogresivo (remontante)	Camino a la vereda Sabaneta, parte alta de la Universidad de Pamplona.	Registro de grietas de tracción en los suelos movilizados. Capa de suelo coluvial matriz soportado, con cantos de arenisca en matriz lodosa. Causa de los desplazamientos: i. Saturación del coluvión, por agua lluvia y sobrantes de operaciones de riego	Grietas paralelas y ortogonales a la pendiente del terreno, (en la parte alta – Camino a Sabanetas y, en la parte baja de la zona en pendiente: junto a la vía Pamplona-Bucaramanga. 40 cm.	informe geológico ambiental Preliminar para el área de pamplona. Pamplona, mayo 1 de 2011.

Evento	Lugar	Características	Manifestaciones	Fuente
		y ductos del acueducto rural rotos. ii. Manejo inadecuado del drenaje en el camino a sabanetas.		
Movimiento en masa, superficial focalizado, con afectación de los terrenos situados en los taludes (inferior y superior) de la vía en balcón Pamplona-Bucaramanga.	Barrio El Buque	Esta vía fue cerrada debido al movimiento de tierra ocurrido. En la zona existen evidencias de procesos de remoción anteriores, de mayor magnitud, con saldo de una casa sepultada. Las edificaciones del lugar son de bajas especificaciones técnicas constructivas, situadas en ladera y con deficiente contención lateral.	El movimiento, debido al grado de saturación de la masa térrea, exhibió características de flujo.	Informe geológico ambiental Preliminar para el área de Pamplona
Se reseña la ocurrencia posterior de un incendio forestal inducido, que cubrió un área aproximada de 10 Hectáreas, e incluyó las zonas Sabaneta, Picapiedra, Los animes, y Brighton, en algunas de las cuales habían sido afectadas por movimientos previos de masa.				

Jornadas de campo orientadas a reconocimiento de las áreas de estudio, en el marco de la presente investigación, permitió establecer, según se indica en la Tabla 7.

**Tabla 7. Características de las zonas aledañas a los sitios de análisis**

Zona	Nivel de amenaza por procesos de remoción en masa	% cobertura habitada (aproximada)	Tipo de edificaciones	Uso actual de los suelos	Aspecto de excepción
Vereda Sabaneta – parte alta del sector Universidad de Pamplona	Alta	40% del área total	Casas de uno y dos pisos, de mampostería simple a reforzada, de especificaciones bajas a medias.	Vivienda- Forestal- Agrícola- Ganadera	Proliferación de caminos  Falta de drenajes de aguas de escorrentías
El Buque	Alta	80%		Vivienda- Comercio formal e informal	

Los fenómenos naturales citados predominan en las áreas de estudio [Barrio San Luís - Sector Universidad de Pamplona]. Conocer antecedentes de los procesos naturales en una determinada área de interés constituye un buen punto de partida para la evaluación de amenaza y riesgo.

## **5.5 RASGOS DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA VISIBLES EN EL ÁREA EVALUADA**

**5.5.1 Grietas de desecación.** Están referidas a aberturas que se producen en épocas de verano en suelos predominantemente arcillosos como consecuencia de la desecación del geomaterial con posteridad a un período de invierno.

La pérdida de humedad en suelos arcillosos conlleva procesos de contracción que pueden dar lugar a la formación de grietas de hasta 4 cm de anchura y más de 1 m de profundidad. La longitud vertical (profundidad) de las grietas de desecación puede estimarse mediante la ecuación (1):

$$Hg = \frac{2C\sqrt{K_A}}{\gamma K_A} \quad (1)$$

Siendo, Hg: profundidad de la grieta, c: cohesión del suelo,  $\gamma$ : peso unitario del suelo y  $K_A$ : coeficiente de presión lateral activo de tierras.

Los cambios de temperatura y la acción de otros agentes atmosféricos, pueden en un terreno con grietas de desecación causar procesos de denudación, deslaves y ensanchamiento por erosión ulterior de las paredes de las grietas.

En el **Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona)**, durante el prolongado período de sequía asociado al último fenómeno del niño prevalente en Colombia, durante los años 2013 -2016, se observaron grietas de contracción aleatorias en diferentes sectores, de variadas dimensiones en abertura, longitud y profundidad.

La modificación de la vocación forestal de los suelos hacia vegetación de tipo cultural (frecuentemente pastos para el desarrollo de las áreas de pastoreo), favorece el surgimiento de las grietas de desecación.

Adicionalmente, y guardando relación con la resequedad del terreno y la falta de precipitación, se observaron los siguientes rasgos: pastos resecos, surgimiento de zonas calvas, grietas de desecación, fisuramiento en muros y cunetas, y proliferación de mangueras de riego de áreas dedicadas a pastos y cultivos de pan coger en la zona. En época seca, las grietas de desecación se constituyen en canales de flujo, por los que transita el agua sobrante, de riego, precipitación, etc.,

lo cual es perjudicial para la estabilidad de los terrenos en pendiente. Ver fotografía de la 4 a la 8.

**Fotografía 8. Grietas de contracción**



**Fotografía 9. Grietas de contracción. Surcos erosivos que se constituyen en canales de flujo**



**Fotografía 10. Patologías (exudaciones, fisuramiento, filtraciones, enmohecimiento, etc.) en muro de contención**



**Fotografía 11. Detalles de patologías observables en el muro de contención**



### Fotografía 12. Fisuramiento en cuneta en concreto



En razón a las demandas de agua que tienen los cultivos (y más, en época seca) el riego artificial se notó incrementado, así como la densidad de mangueras (no tubería de presión). Usualmente, la morfología del relieve y las altas pendientes prevalentes en el área de estudio, establecen cambios fuertes de presión hidráulica que son resistidas por las mangueras, las cuales terminan fallando y consecuentemente siendo fuente de vertimientos indeseados de aguas no controladas sobre las laderas. Infortunadamente, en la mayoría de las veces, los vecinos del lugar tardan días o no se dan cuenta del daño de las mangueras, y de la constante pérdida e infiltración del agua en los terrenos agrietados por desecación, las cuales causan daños irreparables en los suelos en pendiente.

Fueron observadas plantas de pinos cuyas zonas bajas (pata) están inclinadas, y su tallo trata de ser normal a las pendientes. Este rasgo ha sido asociado a proceso de reptación (deslizamiento lento superficial). El terreno reptado luce un relieve de micro deformación, terracedo o balconeado y alrededor de los pies de los pinos se aprecian montículos secundarios.

En algunos sectores se ven zonas calvas (áreas desprovistas de vegetación) y en otros, se muestran cambios en el verdor de la cubierta vegetal superficial.

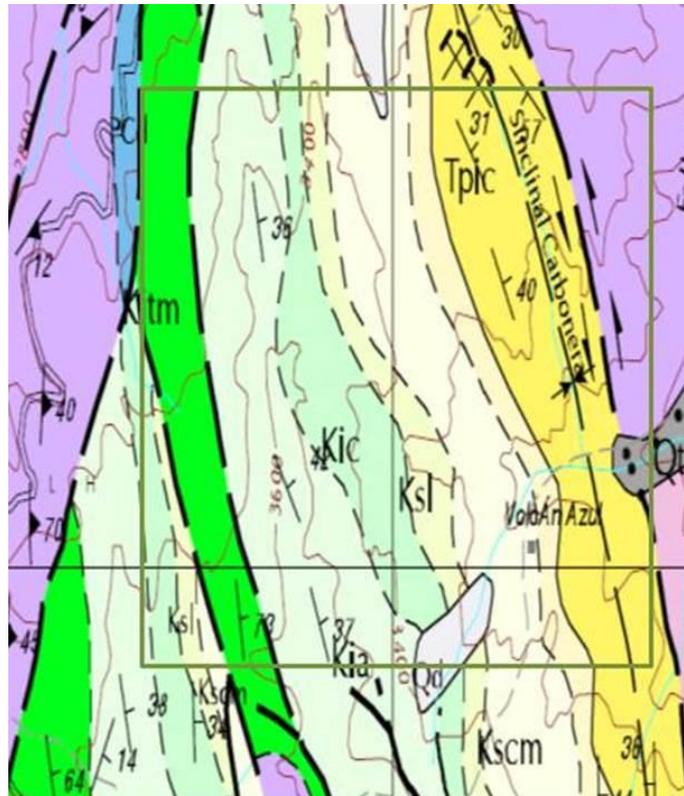
En la zona evaluada se identifican, casi en la totalidad de la ladera y taludes, bloques esparcidos de diferente naturaleza (areniscas, calizas, dioritas, granitos, etc., con distinto grado de meteorización) y tamaño, producto de procesos de caída de rocas y flujo de detritos.

Los cortes naturales y/o artificiales evidenciados permiten observar la existencia de material regolítico de espesor variable, depósitos de geomaterial coluvial producto de denudación de las rocas situadas en la parte alta de la ladera y, suelos residuales.

Se registra un afloramiento de rocas cretácicas en un escarpe vertical abrupto, que demarca claramente un lineamiento de falla este-oeste, y que sirve de corona a la geoforma en ladera sobre el cual se desarrolla el barrio. Pese a que dicho afloramiento rocoso podría constituirse en una buena fuente de material pétreo, no se observó durante el tiempo de ejecución del proyecto actividad de explotación de canteras.

Se ha destacado el área de afloramientos de rocas cretácicas sobre una sección del mapa geológico H13 de Pamplona. Ver Figura 8.

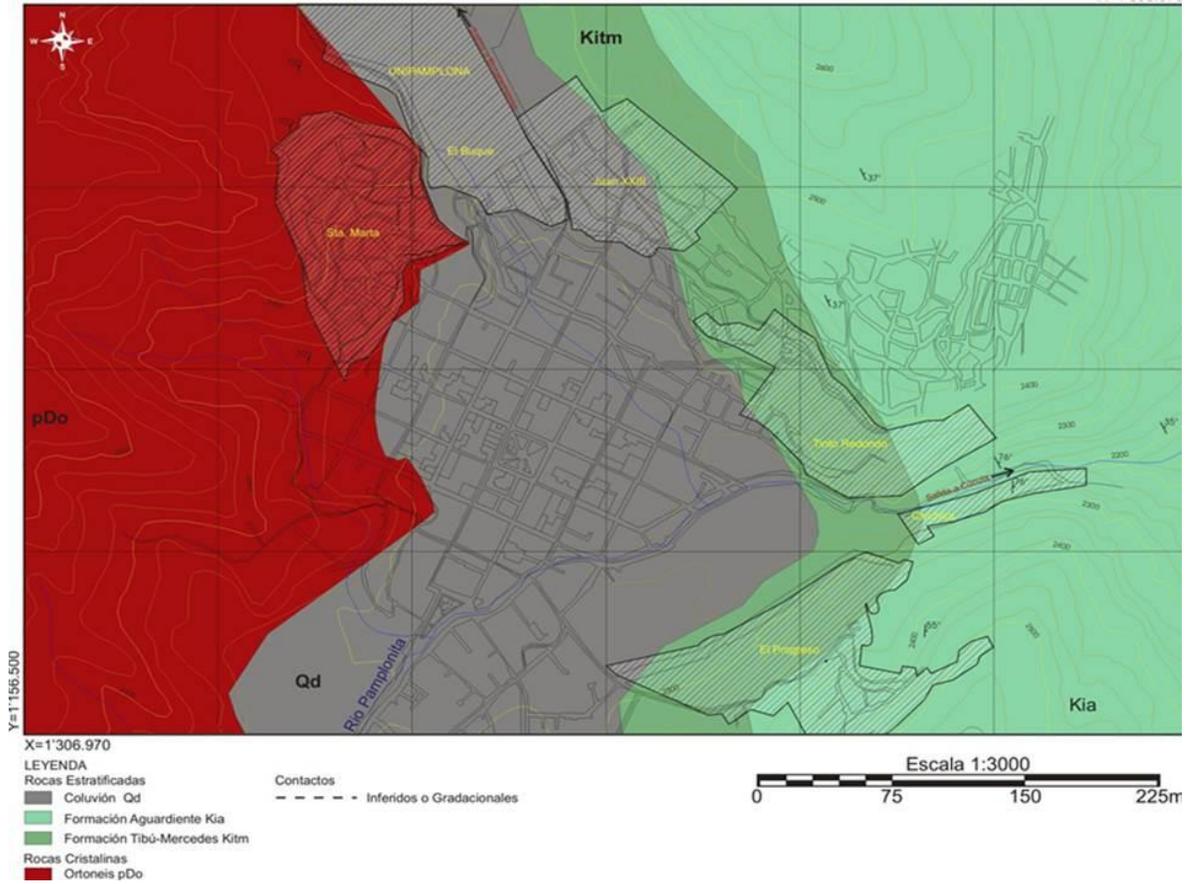
**Figura 8. Sección resaltando el área de afloramientos de rocas cretácicas sobre el Cuadrángulo geológico H13**



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (anterior Ingeominas).

Por su parte, en la Figura 9 ilustra la zonificación geológica del municipio de Pamplona, resaltando las áreas en ladera con predominio de suelos coluviales, las zonas donde afloran sedimentos cretácicos y el sector donde dominan los afloramientos ígneos metamórficos.

**Figura 9. Zonificación geológica de Pamplona**



Fuente: Ingeominas (hoy Servicio Geológico Colombiano).

**5.5.2 Procesos de reptación.** Es un evento de remoción en masa generalizado en la ciudad de Pamplona; ayudado por la geomorfología de montaña abrupta, y las condiciones meteorológicas adecuadas (alta precipitación); se trata de un movimiento de tierras superficial y lento, que carece de superficie de falla, el cual moviliza el espesor coluvial, direccionado por la pendiente del terreno y la gravedad.

**5.5.3 Rasgos de procesos exógenos en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona).** Por su parte, en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona) son identificables los siguientes procesos de remoción natural de tierras: reptación, deslizamientos rotacionales y flujo de detritos, principalmente, con predominio del primero de los procesos nombrados.

Al proceso de reptación se asocian los daños en la infraestructura vial, las viviendas y, los desplazamientos del terreno observados. En las áreas no pobladas se aprecian los siguientes rasgos característicos de reptación: terraceteo (pequeños escalonamientos de la cubierta más superficial del terreno en pendiente); tal escalonamiento es utilizado como camino de paso de las reses produciendo compactación de los mismos y dando celeridad a los procesos de deformación volumétrica del terreno.

El proceso de reptación evidenciado en la zona puede estar relacionado a una o varias de las siguientes causas: Topografía abrupta en un ambiente predominantemente lluvioso; cambio de la vocación forestal del terreno, la cual fue convertida en zona de pastoreo de reses de paso y actividades agrícolas no rotativas. La fotografía 10 ilustra detalles del sector San Luis.

Adicionalmente, se evidencian escarpes relacionados con otros tipos de movimientos de tierra, que llegan a los dos (2) metros de altura.

**Figura 10. Surcos erosivos formados por escorrentías y bloques de roca esparcidos en el sector intermedio del talud barrio San Luis**



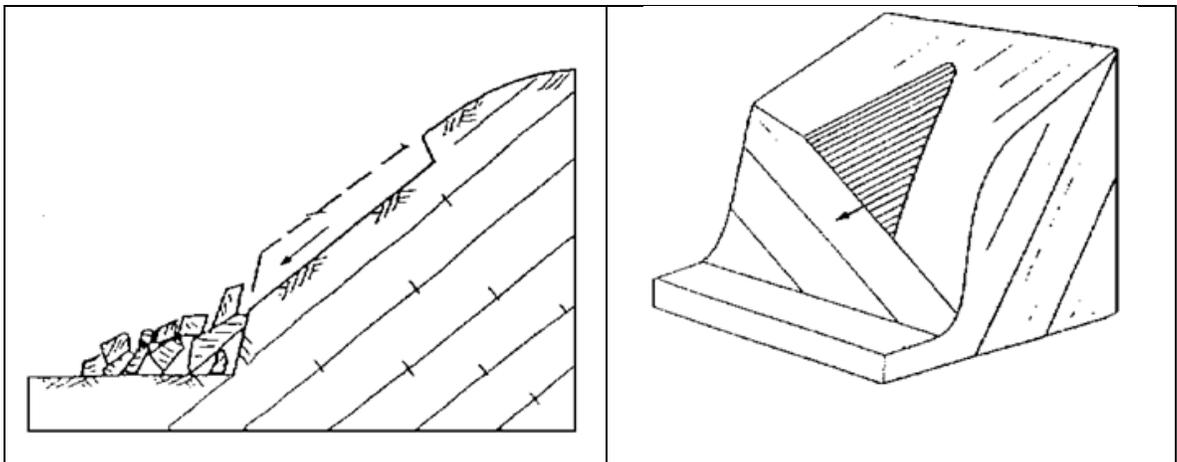
**5.5.4 Deslizamientos.** En el área evaluada, se han registrados en diferentes épocas algunos eventos de remoción en masa, rápidos, de tipo planar y rotacional. En los de carácter planar, la masa térrea se movilizó en forma paralela a la superficie de falla, en aquellas zonas donde la pendiente estructural del terreno (buzamiento de la masa rocosa base sobre la cual se moviliza la masa deslizable) es paralela a la pendiente topográfica del mismo.

Dado el paralelismo entre la pendiente estructural de la roca basal y la pendiente del terreno, tales terrenos presentan control estructural. También se aprecia conformación de fallas en cuña (típica de terrenos rocosos): un tipo especial de falla planar, en la cual la masa deslizable se corre friccionando sobre dos superficies planas. Las Figura 9 muestra esquemas de tales procesos de deslizamientos.

Por su parte, los procesos tipo rotacional presentan superficie de falla con geometría de “cuchara”.

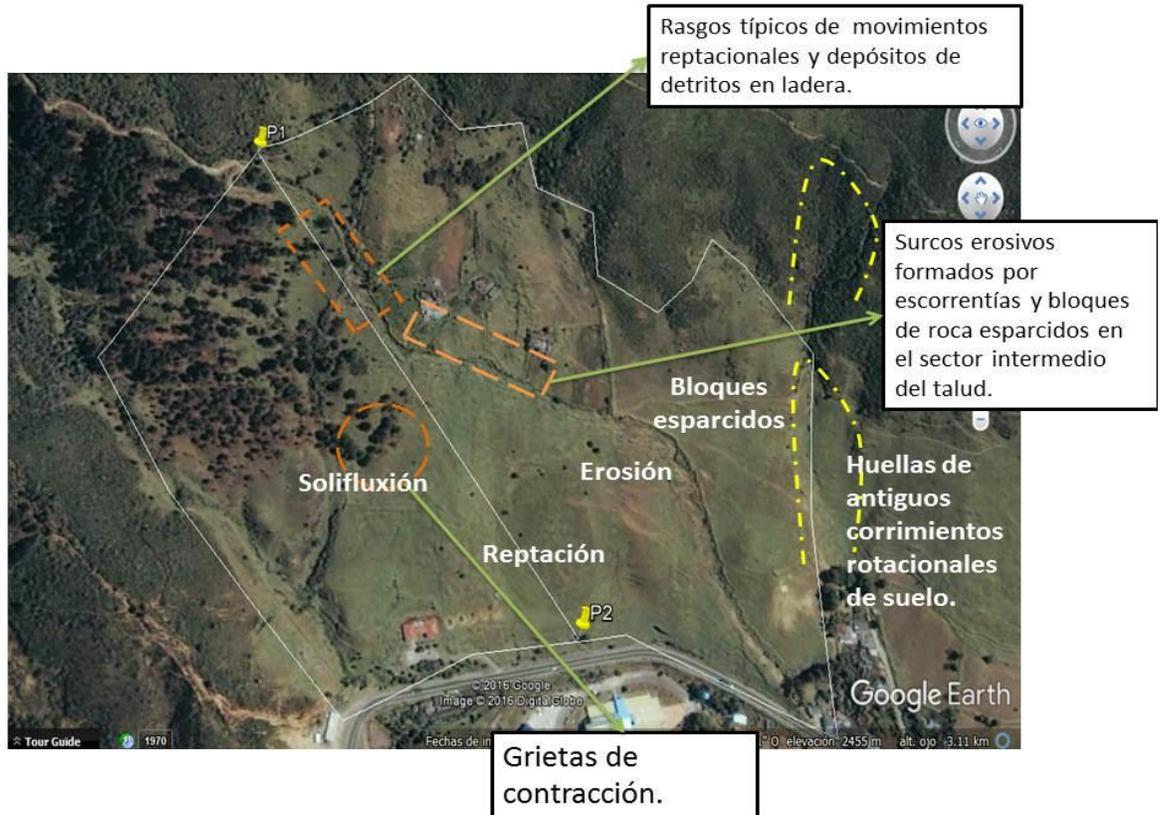
Por su parte, la cantidad de bloques esparcidos en las áreas observadas sugiere la ocurrencia de flujo de detritos, vuelco y caída de rocas: se trata de movimientos potencialmente destructivos en regiones montañosas, dada la energía y velocidad que desarrollan en razón de la pendiente. La fotografía 9 enseña algunos deslizamientos en el área analizada.

**Figura 11. Deslizamiento planar en macizo rocoso y Deslizamiento planar en macizo rocoso**



Fuente: DISASTER. Vulnerabilidad de los sistemas de aguas. Potable frente al deslizamiento. [En línea] [Citado 10 de diciembre de 2016] Disponible en; [www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/cap3](http://www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/cap3). PDF.

### Fotografía 13. Área analizada identificando las amenazas barrio San Luis



En la parte alta del Barrio San Luis, en vecindad de la Universidad de Pamplona, se aprecia un escarpe de rocas sedimentarias integradas por areniscas, calizas y Chert, predominantemente, cuyo buzamiento se orienta en dirección de la pendiente. La topografía abrupta y el grado de fracturación y diaclasamiento que registra el afloramiento, favorece la ocurrencia de vuelcos, caídas, fallas en cuña y desprendimiento planar de rocas.

De igual forma, en la zona coluvial se notan rasgos de deslizamientos rotacionales caracterizados por movimientos de masa hacia abajo y hacia afuera que siguieron una superficie de falla marcadamente curva, haciendo que la masa basculara y girara alrededor de un punto de pivoteo situado fuera del medio térreo movilizado.

Como factores causantes de tales movimientos se citan la alta pendiente, la existencia de una masa térrica coluvial matriz soportada, la evidencia de procesos de meteorización y de fuerzas de filtración de aguas lluvias durante el invierno. El registro de imágenes satelitales y de fotografías tomadas en el área durante algunos de tales eventos, que se ilustran a continuación, dan testimonio de lo expuesto. Ver Fotografías 10 y 11.

**Fotografía 14. Huellas de antiguos corrimientos rotacionales de suelo. Barrio San Luis**



Fuente: Google Earth

Saber interpretar los signos tempranos de los diferentes tipos de falla facilita abordar el estudio de caso y adoptar medidas de control, prevención y/o mitigación.

**Fotografía 15. Rasgos de diferentes movimientos en masa en el Barrio Sal Luis, Pamplona, N.S.**



Fuente: Google Earth

La soliflucción es un proceso geomorfológico consiste en el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas u otros tipos de suelo sobre el permafrost a causa de la plasticidad y fluidez adquirida por aquéllos cuando absorben gran cantidad de agua. La soliflucción es propia de los suelos que han sido debilitados por la acción recurrente de heladas y, en consecuencia, las características originales del terreno a menudo están muy alteradas.

Usualmente, en las etapas tempranas del deslizamiento se forman grietas de tensión, luego de la falla parcial se generan grietas gravitacionales y una serie de pequeños hundimientos y escarpes, y al momento de la falla total se pueden apreciar varios escarpes en la superficie además de grietas de tensión concéntrica y profunda, así como una gran masa de material incoherente al pie del talud, Ver

fotografía 12.

**Fotografía 16. Grieta gravitacional, transversal a la pendiente, surgida en el área de estudio, en el año 2010 del barrio San Luis, época de alta precipitación en Colombia.**



Fuente: FRONTERA. Dra Pilar Garay responde a las declaraciones dadas por la alcaldesa Emperatriz Misse. 7 de mayo de 2011. [en línea] [citado 15 de noviembre de 2016] Disponible en: [http://zfrontera.blogspot.com.co/2011\\_05\\_01\\_archive.html](http://zfrontera.blogspot.com.co/2011_05_01_archive.html).

Fotografía 17. Acumulación de bloques de Roca gravitando sobre las laderas.



## 6. AMENAZAS GEOLÓGICAS RELEVANTES EN EL SITIO EVALUADO.

En la tabla 8 se listan los procesos naturales que constituye amenaza de origen geológico y cuya ocurrencia podría impactar apreciablemente en el Barrio San Luis, en la ciudad de Pamplona.

**Tabla 8. Procesos naturales que constituyen amenaza de origen geológico para el Barrio San Luis.**

Proceso natural [Amenaza potencial de origen geológico]	Procesos de remoción en masa	Barrio San Luis	Característica.
Procesos denudacionales	Erosión y Deslave	Si	Hídrica, eólica [Geometría laminar, surco y carcavamiento
	Meteorización	Si	Mecánica, Química, Biológica]
Procesos de remoción en masa	Deslizamiento traslacionales	Si	En coluviones y suelos residuales
	Reptación	Si	Toda el área
	Deslizamiento rotacional	Si	En la masa coluvial
	Caída de bloques	Si	Bloques individuales
	Flujo de detritos	Si	Desprendimiento y esparcimiento de masa.
	Flujo y avalanchas	Si (históricos)	
	Lahares	No	No aplica
Inundación		No	Dada la Alta pendiente
Actividad sísmica		Si	Amenaza sísmica alta
Vulcanismo		No	No aplica.

A continuación, se presenta una descripción semi detallada de rasgos morfológicos del sector de estudio.

## 6.1 ASPECTOS SISMOLÓGICOS BARRIO SAN LUIS (SECTOR UNIVERSIDAD DE PAMPLONA)

La Figura 12 corresponde a una imagen satelital Google Earth del sector geográfico enunciado, sobre la cual se han situado algunos descriptores descritos en la Tabla 9.

**Figura 12. Imagen satelital Google Earth del sector geográfico enunciado.**



Fuente. Google Earth.

**Tabla 9. Descriptores de la zona analizada**

Indicador	Descripción
1	Área arborizada en pino silvestre; densamente revegetalizada en la parte superior de la ladera de alta pendiente.
2	Manifestaciones de deslizamiento de tipo rotacional: escarpes, saltos de falla. Masa de suelo coluvial con presencia de sobretamaños y gravas en matriz areno limo arcillosa
3	Registro de asentamiento humano caracterizado por edificaciones de bajas especificaciones y situadas sobre terrazas artesanalmente esculpidas en la ladera.

Las áreas señaladas con los indicadores 1 y 2 muestran geometría de superficie corrugada con geometrías de montículos y depresiones adosadas en forma continua, lo cual sugiere existencia de fuerzas compresivas, y al tiempo la acción de aguas de escorrentías que se movilizan a velocidades relativamente altas debido a la alta pendiente topográfica.

La dinámica geológica en los sectores 1 y 2 afectan tanto los taludes superior e inferior, como la banca de la vía Pamplona-Bucaramanga. Mediante el empleo de herramientas Google Earth fue estimada el área aproximada del sector evaluado, correspondiendo a 0.08 km<sup>2</sup> (8 hectáreas), para un perímetro de 1,12 km. Sobre la figura 13 (imagen satelital Google Earth) ha sido señalada el área estudiada y trazada la grilla de análisis de pendientes.

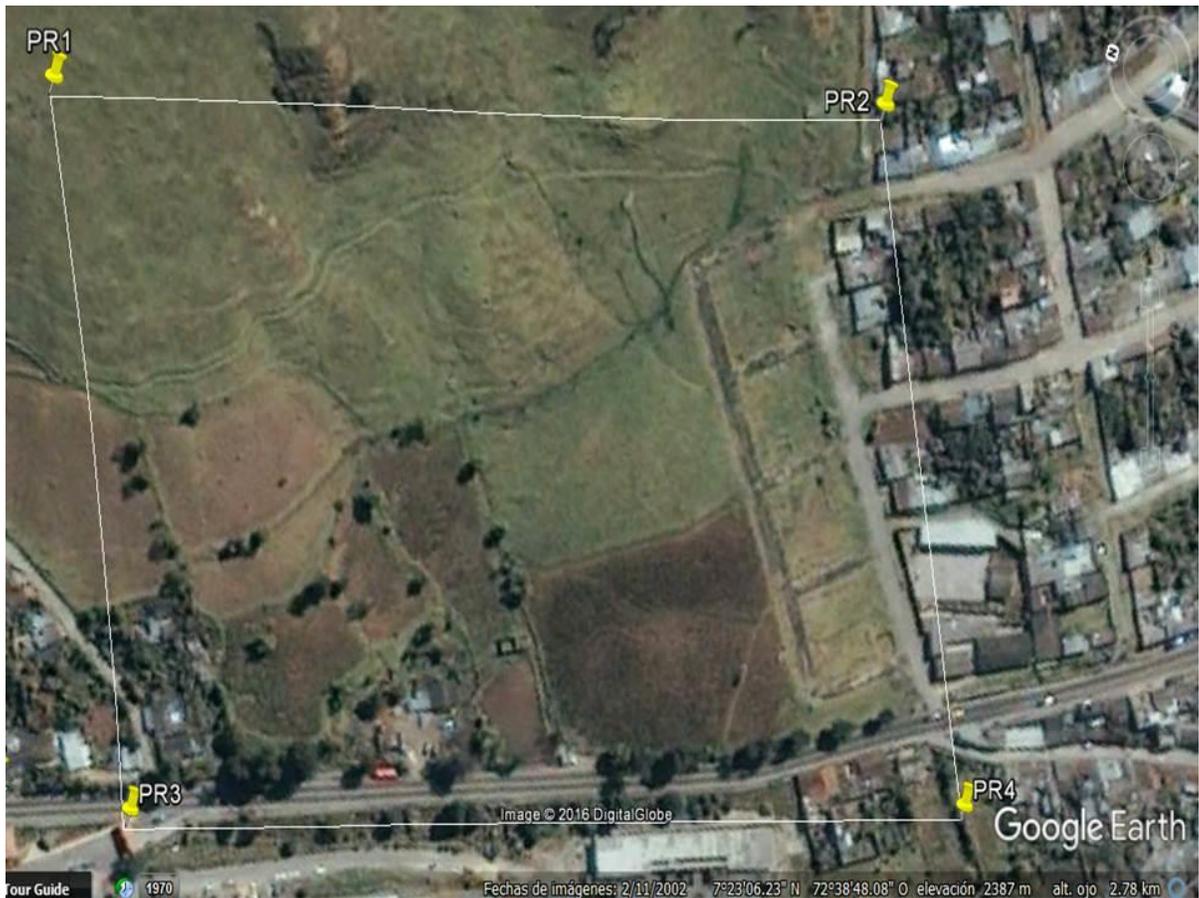
En el área seleccionada refleja intervención antrópica (cambio de vegetación, trazo de caminos de servidumbre, adecuación de potreros); así mismo, muestra procesos denudacionales (erosión, deslave, meteorización) y de remoción en asa (reptación, predominantemente).

Los puntos de referencia o esquinas del polígono evaluado (PR1, PR2, PR3 y PR4) están definidos por las coordenadas destacadas en la Tabla 10.

**Tabla 10. Coordenadas del polígono analizado**

Punto de referencia poligonal	Coordenadas	
	N	O
PR1	7°23'13.33"	72°38'46.75"
PR2	7°23'03.98"	72°38'42.95"
PR3	7°23'00.25"	72°38'49.75"
PR4	7°23'10.65"	72°38'53.57"

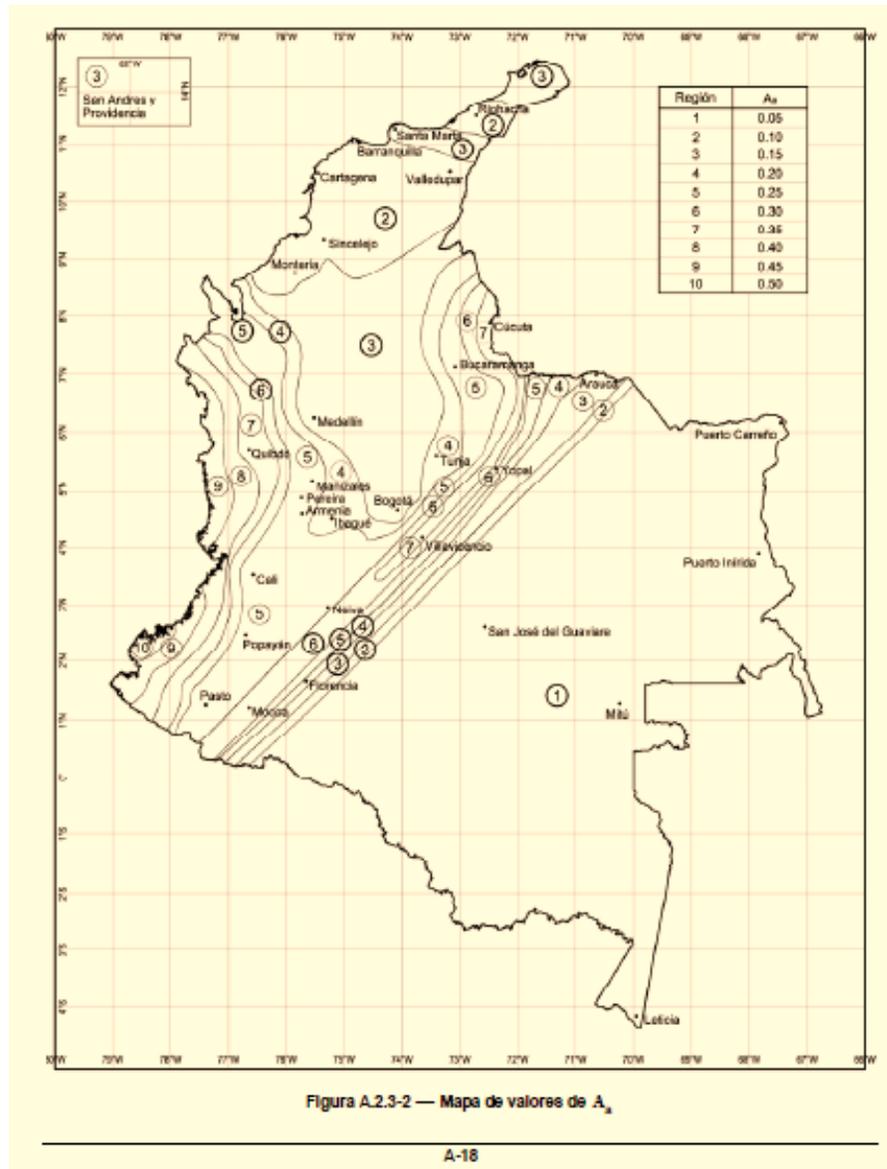
**Figura 13. Polígono evaluado en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona.)**



Fuente. Google Earth.

El sector evaluado hace parte de la franja 6 del mapa de amenaza sísmica colombiano mostrado en el Título A de la NSR 10, la cual se califica como de amenaza sísmica alta. Ver Figura 14.

**Figura 14. Mapa de amenaza sísmica colombiana por franjas**



Fuente. NSR-10.

Los coeficientes de aceleración pico para la definición de los espectros sísmicos de diseño, son respectivamente:  $A_a = 0.30$  y  $A_v = 0.25$ . Lo que concluye que Pamplona está situada en un ambiente tectónico activo en proximidad al punto de convergencia de las macro fallas “Bucaramanga - Santa Marta” y “Boconó”, las cuales configuran el punto vértice inferior (sur) de la microplaca del Lago Maracaibo, localmente el municipio está surcado y delimitado por trazas de fallas regionales conocidas: falla Chitagá, falla de Pamplona, falla de Pamplonita.

**Figura 15. Punto del polígono sobre el cual fue corrido el programa Google Earth para establecer el record de actividad sísmica**



Fuente. Google Earth.

Sobre la figura 15 en la que se ha destacado el polígono evaluado. Se realizó un análisis preliminar y básico donde se señaló el punto centro cuyas coordenadas han sido consignadas y, sobre el cual fue consultada la información sísmica con la herramienta en línea del Centro sismológico internacional: [“ISC: international seismological centre (centro sismológico internacional) (Boletín ISC)” es accesible en la red de redes (internet: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>).

Esta herramienta permite obtener el número de eventos sísmicos con sus correspondientes características que han influenciado un punto específico del globo terráqueo. En el caso analizado, el punto evaluado corresponde al centro del polígono cuyas coordenadas son indicadas sobre la imagen satelital (Figura 16). Respecto de este punto fue evaluada una franja de terreno con un radio de influencia de un (1) grado en las dos direcciones cardinales. La búsqueda se realizó para un rango de profundidad focal entre 0 y 100 Km y para un dominio de magnitud momento variando entre 3° y 10°.

El **Boletín de la ISC** es un producto impreso bianual que ofrece información sobre eventos sísmicos y que permite interpolar tales datos en áreas carentes de estación; la publicación mencionada presenta un análisis de un período de media al año correspondiente de los datos ISC disponible para los suscriptores; contiene además, información sobre la propia ISC, sus partidarios y los proveedores de datos, la historia, el personal y los estatutos de trabajo, así como importantes normas y procedimientos sismológicos utilizados por el ISC en sus operaciones. Así mismo, incluye artículos sobre eventos sísmicos notables que ocurrieron durante cada período de medio año, las estadísticas de los informes de datos originales a la CAI y la información sobre las instituciones que proporcionan los datos más completos y versátiles a la ISC.

Analizado el Catálogo sísmico de la Red sísmica nacional administrada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y aplicada la herramienta computacional en línea (ISC), anteriormente descrita, se aprecia que en la ventana de tiempo 1980 - 2015 han ocurrido 145 sismos, de magnitud variable entre 3 y 10 en la escala de Richter y con profundidades entre 0 y 100 Km. Tales eventos sísmicos han sido calificados como superficiales, con el hipocentro situado entre 0 y 60 km de profundidad, con magnitudes variables entre 3 y 10, e intermedios, aquéllos en los que el hipocentro está situado entre 60 y 150km de profundidad, con magnitudes variables entre 3 y 10. La Figura 16 muestra un pantallazo de la herramienta en línea utilizada para establecer la información sísmica en campo, en el centro del polígono evaluado en el Barrio San Luis, Pamplona.

**Figura 16. Herramienta en línea utilizada para establecer la información sísmica en campo, en el centro del polígono evaluado en el Barrio San Luis, Pamplona**

The screenshot shows the ISC Bulletin search tool interface. The browser address bar displays 'www.isc.ac.uk/cgi-bin/wel' and the page URL is 'iscbulletin/search/catalogue/'. The page title is 'scbulletin/search/catalogue/'.

**Choose search region:**

- Rectangular search
  - Bottom latitude (-90 to 90): 6.26
  - Top latitude (-90 to 90): 8.25
  - Left longitude (-180 to 180): -73.40
  - Right longitude (-180 to 180): -71.40
- Circular search
  - Central latitude (-90 to 90): [input]
  - Central longitude (-180 to 180): [input]
  - Search radius: [input] degrees
- Global search
- Flinn-Engdahl region (only one option needed)
  - Seismic region number (1 to 50): [input]
  - Geographic region number (1 to 757): [input]

**Select time period:**

Start date: 1980 01 01 Time (HH:MM:SS): 00:00:00  
 End date: 2015 10 18 Time (HH:MM:SS): 00:00:00

**Additional search parameters:**

Min depth (km): 0 Max depth (km): 100 Include events with [unknown depths](#):   
 Min magnitude: 3 Max magnitude: 10 Include events with [unknown magnitudes](#):   
[Magnitude type](#) (use CTRL for multiple types): Any MB Magnitude author: Any (E.g. ISC, NEIC, GCMT/HRVD, JMA)

**Output options:**

Output [links](#) in the output.

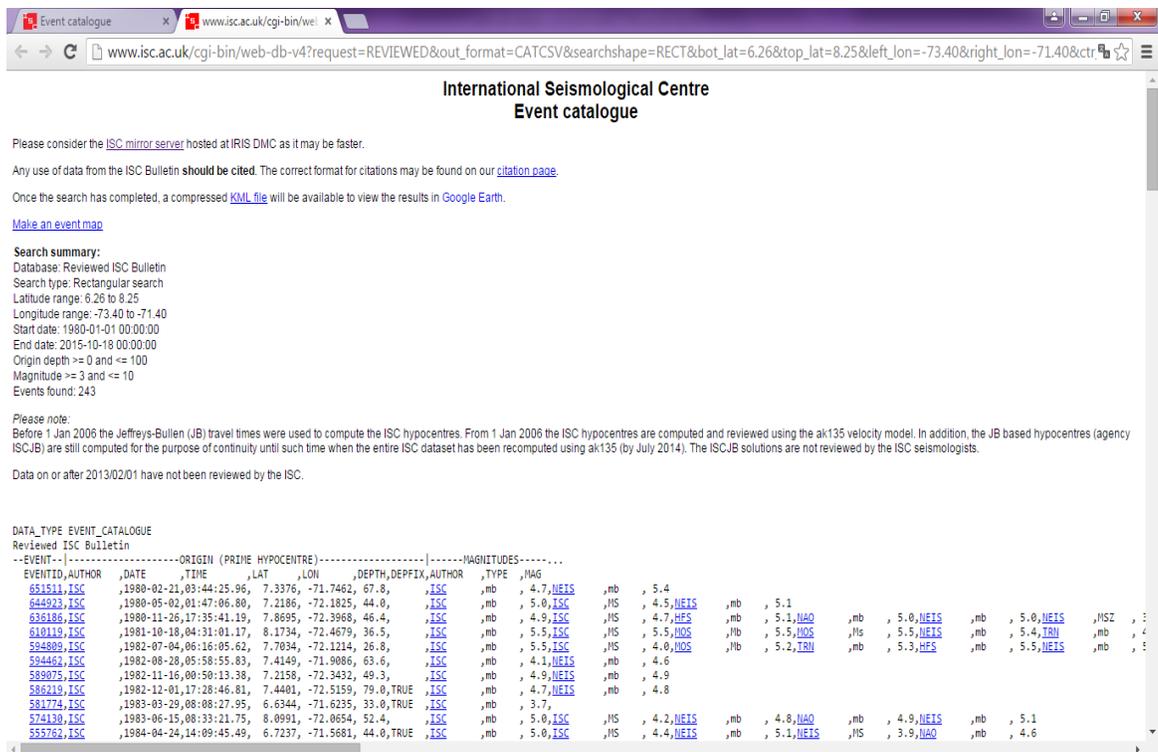
Fuente: INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE ISC Bulletin: event catalogue search. [En línea] [Citado 14 de noviembre de 2016] Disponible en; <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

Como dato de entrada a la herramienta deben digitarse las coordenadas (arriba y abajo, del punto referenciado; para el caso corresponde a las coordenadas del punto seleccionado incrementadas en un (1) grado a lado y lado. Posteriormente

deben destacarse los rangos de profundidad y magnitud momento y el período de observación. Al activar la herramienta, ésta produce la información sísmica requerida.

La Figura 17 corresponde a la información telúrica que revela la herramienta consultada. Datos de salida de la herramienta “international seismological centre”

**Figura 17. Información telúrica que revela la herramienta consultada**



INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE ISC Bulletin: event catalogue search. [en línea] [Citado 14 de noviembre de 2016] Disponible en; <http://www.isc.ac.uk/isbulletin/search/catalogue/>

Empleando la información de salida se ha elaborado la Tabla 11 cuyos datos han sido graficados en la Figura 17; en ella se relaciona la magnitud momentos con número acumulado de las magnitudes (N) en el período de tiempo analizado, y establecida la curva de tendencia de variación de la magnitud momento (Mw) respecto del log del

número de datos, la cual dio de tipo lineal con un grado de correlación del 92,03%. La ecuación (2) muestra la relación de tendencia  $M_w$  vs Log N encontrada.

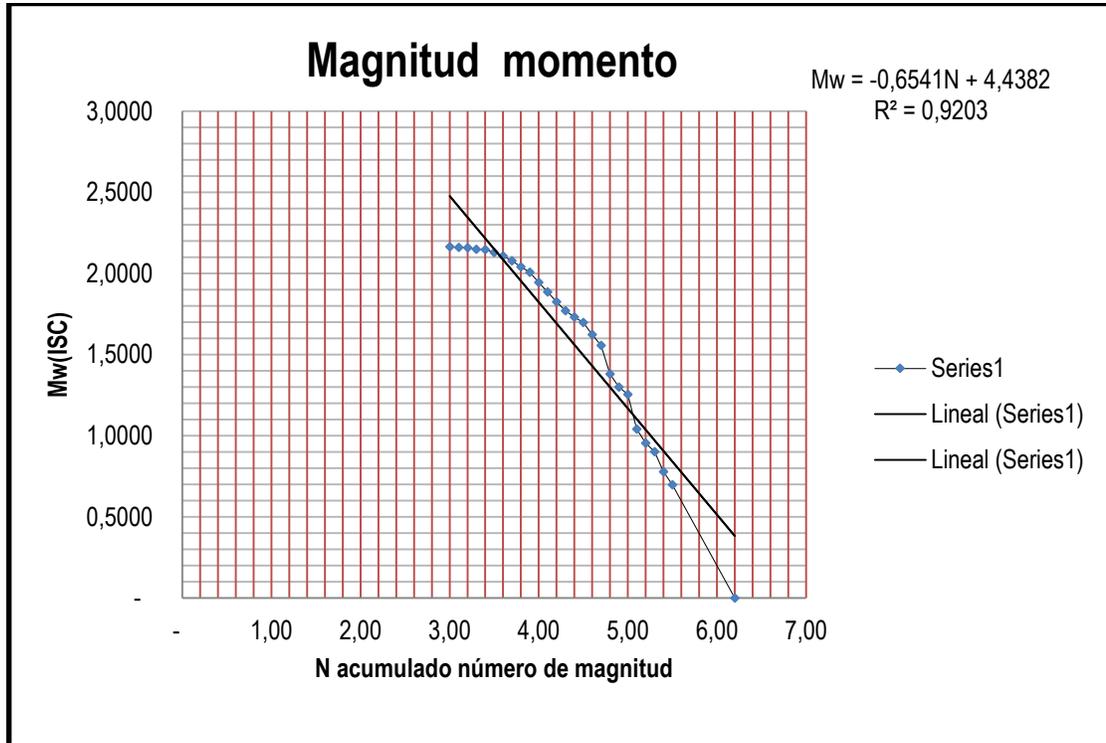
$$M_w = -0,6541N + 4,4382 \quad (2)$$

**Tabla 11. Relación de la magnitud momento y numero acumulado de sismos**

$M_w$	Log 10 N acumulado (números de sismos)
3,00	2,1644
3,10	2,1614
3,20	2,1584
3,30	2,1492
3,40	2,1461
3,50	2,1303
3,60	2,1072
3,70	2,0792
3,80	2,0414
3,90	2,0086
4,00	1,9445
4,10	1,8865
4,20	1,8261
4,30	1,7709
4,40	1,7324
4,50	1,6990
4,60	1,6232
4,70	1,5563
4,80	1,3802
4,90	1,3010
5,00	1,2553
5,10	1,0414
5,20	0,9542
5,30	0,9031
5,40	0,7782

M <sub>w</sub>	Log 10 N acumulado (números de sismos)
5,50	0,6990
6,20	-

Figura 18. Gráfica de Magnitud momento vs Número acumulado de eventos



El ISC establece la relación logarítmica (3) entre la magnitud momento y el número acumulado de eventos.

$$\text{Log}_{10} (N_{\text{acum}}) = a - bM \quad (3)$$

De esta forma, la tendencia lineal encontrada entre los datos para el punto evaluado, de la forma  $y = mx + b$  y dada por la ecuación (1), puede por comparación equipararse con las variables de la ecuación (2), según se muestra en la Tabla 12.

De esta forma, al resolver (2) se tiene que  $M = a/-b$

**Tabla 12. Equivalencia de variables y cálculo de M.**

Ecuación (1)	Ecuación (2)	Valores para el punto estudiado
$y = mx + b$	$\text{Log}_{10} (N_{\text{acum}}) = a - bM$	
y	$\text{Log}_{10} (N_{\text{acum}})$	
m	-b	0,6541
x	M	6,79
b	a	4,4382

$N_{\text{acum}}$ : número de sismos con magnitud mayor que M  
a: constante: es el logaritmo del número de sismos con magnitud mayor que cero y corresponde a la intersección de la recta resultante del ajuste lineal del log del número de sismos con la magnitud, con el eje de la variable dependiente (magnitud).  
b: proporción de sismos de una cierta magnitud (corresponde a la pendiente de la recta resultante del ajuste lineal del log del número de sismos con la magnitud)

La variación con el tiempo del valor de b, para una región dada, se ha utilizado como índice a tener en cuenta en la predicción de sismos. Sin embargo, esta variación puede ser producida por la falta de homogeneidad en los datos y no representar un efecto de la variación en las condiciones del material lo que disminuye su utilidad como predictor (Udias y Mezcuca, 1986)<sup>4</sup>.

$\text{Log}_{10} (N_{\text{acum}}) = a - bM$	
$\text{Log}_{10} (N_{\text{acum}}) = 4,4382 - 0,6541M$	
$M_w = a/-b$	

a	4,4382
b	0,6541
$M_w$	6,79

<sup>4</sup> ALFARO CATILLO, Andrés José. Introducción a la ingeniería sismológica, Universidad de la Salle. Bogotá 2010.

De conformidad con los cálculos precedentes, la escala sismológica de magnitud de momento (**M<sub>w</sub>**) obtenida para el periodo de tiempo analizado (1980 – 2015), fue 6,79 con base en los eventos sísmicos ocurridos durante la citada ventana de tiempo.

## **6.2 TRABAJO DE CAMPO EXPLORACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL BARRIO SAN LUIS, FRENTE A LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER**

De los estudios por medio de la Sísmica de Refracción y del Ensayo de Ondas de Superficiales (MASW1D) realizados por la empresa **INGEOEXPLORACIONES SAS**, como complemento de los Estudios y diseños Geotécnicos del presente trabajo de Grado, para el Barrio San Luis del Municipio de Pamplona, frente a la Universidad de Pamplona al costado derecho de la vía Nacional Pamplona -Bucaramanga PR+122, en el Departamento de Norte de Santander.

La exploración Geofísica se realizó como complemento a los estudios Geotécnicos del área a explorar, básicamente se realizan para determinar la profundidad de la roca, espesores y/o capas de contacto basados en los registros de las respuestas sísmicas tales como las velocidades Compresionales ( $V_p$ ) y Velocidades de Corte ( $V_s$ ), se puede ver la información en el anexo (A).

**6.2.1 Metodología para el trabajo de campo.** Para la ejecución del Estudio Geofísico se efectuaron cuatro (4) fases o etapas de trabajo que incluyeron las siguientes actividades:

- i. **Fase de Reconocimiento Lito-Estratigráfico y Estructural:** Realizada en los alrededores del área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación (actitud) de las capas de roca en superficie.
- ii. **Fase de Adquisición de Datos:** Efectuada con la visita puntual en el sitio del proyecto para planear la ubicación y ejecución de una (1) Línea de Refracción Sísmica y Ondas Superficiales (ver Figura 19) con una profundidad de investigación Geofísica de **30 metros** aproximadamente.
- iii. **Fase de Valoración de Información:** Revisión bibliográfica y análisis de la Información geológica existente de superficie y subsuelo, para el sector del estudio.
- iv. **Fase de Procesamiento e Interpretación:** Con los datos adquiridos de las fases anteriores y utilizando los softwares de inversión y modelización SEISIMAGER 2D Y SEISIMAGER/SW de la compañía Geometrics Inc, se realizó el procesamiento e interpretación de los datos.

**Figura 19. ubicación del polígono analizado y la línea de Refracción Sísmica LS1 para el Sector El Buque ubicado en el Barrio San Luis del Municipio de Pamplona, Departamento de Norte de Santander.**



Fuente. Google Earth.

Para el ensayo se utilizó la Estación Portátil de Prospección Sísmica de última generación GEODE (Figuras 20 y 21), fabricado por la empresa Geometrics INC, el cual contiene 24 canales de registro y sus accesorios constan entre otros de cables con espaciamento de hasta 10.0m, es de mencionar que el espaciamento empleado en el presente trabajo fue de 4 metros entre geófonos magnéticos y una computadora portátil para almacenar los registros.

**Figura 20. Sismógrafo GEODE utilizado para la ejecución de las líneas de Refracción Sísmica**



**Figura 21. Geófonos SPACE utilizados para la ejecución de las líneas de Refracción Sísmica**



En las siguientes fotografías de la 14 a la 18 se detalla las actividades del trabajo en campo que fue desarrollado:

**Fotografía 18. Detalle centro de adquisición de datos de la Línea Sísmica LS1**



**Fotografía 19. Detalle centro de adquisición de datos de la Línea Sísmica LS1**



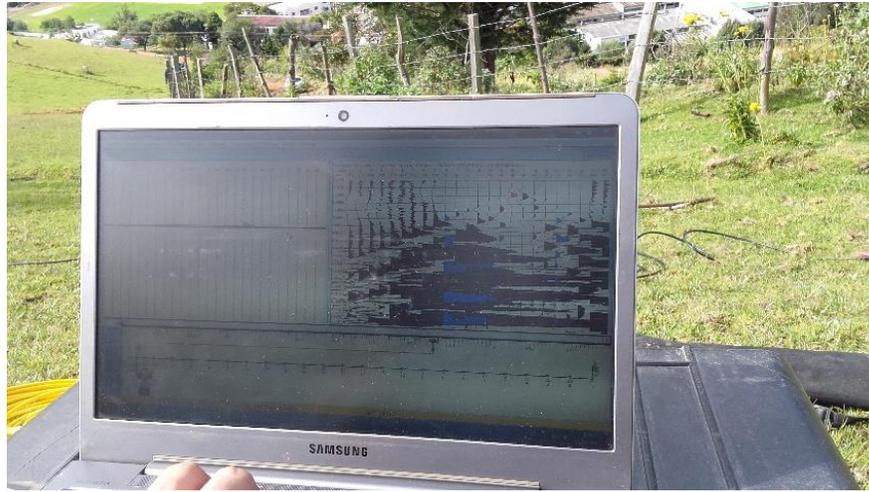
**Fotografía 20. Detalle de la demarcación y ubicación de la Línea Sísmica LS1**



**Fotografía 21. Detalle de la generación de energía para la adquisición de datos en refracción sísmica y ondas superficiales**



**Fotografía 22. Resultados del software en la generación de energía para la adquisición de datos en refracción sísmica y ondas superficiales**



**Perfiles topográficos seleccionados para análisis en el Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona).** El programa Google Earth fue utilizado para determinar los datos morfológicos y topográficos de cada una de las zonas evaluadas. Empleando las herramientas del programa mencionado fue franjeada el área y hecha una grilla de rectas paralelas distanciadas aproximadamente 200 m entre ellas, tal y como se ilustra en la imagen satelital mostrada en la figura 22.

**Figura 22. Líneas topográficas de análisis, y línea de refracción sísmica**



Fuente. Google Earth.

Las curvas de nivel fueron determinadas utilizando el programa “Global Mapper” al área topográfica demarcada previamente sobre imagen satelital Google Earth. Posteriormente, mediante el uso de “AutoCAD 2015” se hicieron detalles de rigor. La Figura 23 ilustra el mapa topográfico logrado.

### **Línea sísmica 1**

**LOCALIZACIÓN:** Sector El Bosque/Barrio San Luis, Pamplona/NS.

**LONGITUD DEL TENDIDO:** 92 metros

**ESPACIAMIENTO ENTRE GEOFONOS:** 4 metros

**PROFUNDIDAD INVESTIGADA:** 30 metros

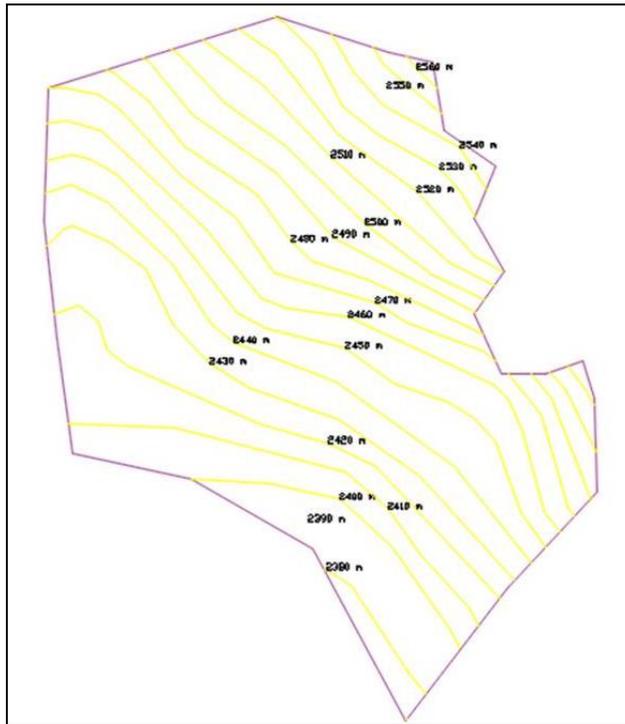
**TERRENO:** Plano - Inclinado

**COORDENADAS:**

Geófono No 1 = Norte (X)= 1'309.082 Este (Y)= 1'157.846 Z= 2447 m

Geófono No 24 = Norte (X)= 1'309.147 Este (Y)= 1'157.975 Z= 2455 m

**Figura 23. Mapa topográfico logrado**



Fuentes. Google Earth, global mapper, AutoCAD 2015.

Empleando la función “perfiles de elevación” incluidos en herramientas Google Earth, fueron establecidos los perfiles topográficos para análisis de estabilidad de laderas. La elección de los perfiles sobre el área topográfica se hizo teniendo en cuenta criterios fotogeológicos al analizar rasgos morfológicos y el sistema de drenaje de escorrentías, observadas sobre las imágenes satelitales Google Earth. Las Figuras 24, 25, y 26 muestran los perfiles de elevación evaluados, cuyos datos característicos han sido mostrados en la Tabla 13.

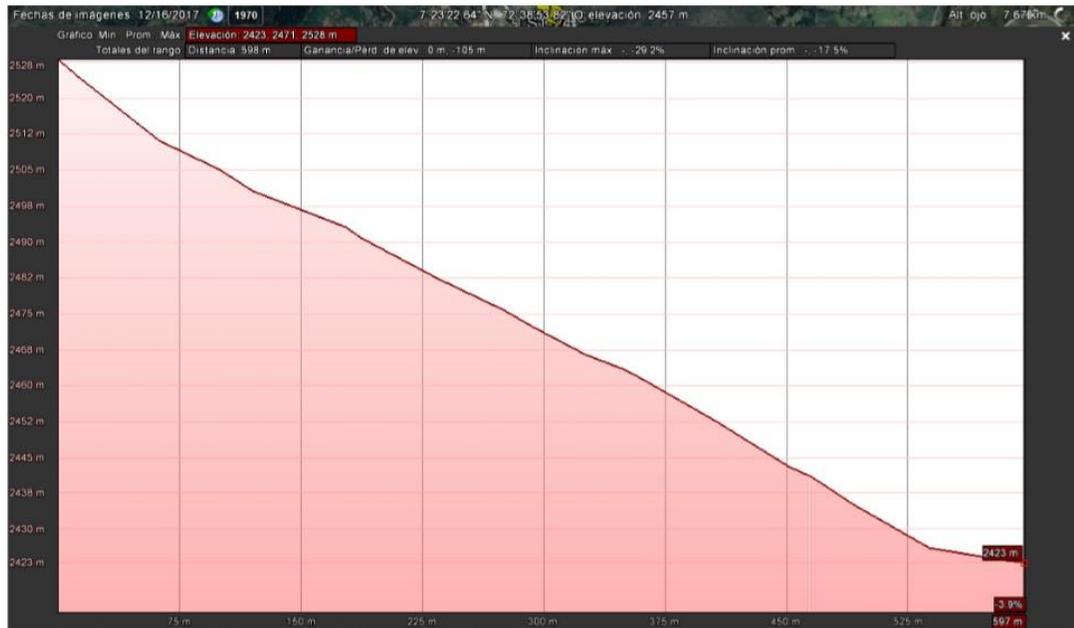
**Tabla 13. Propiedades de los perfiles de elevación evaluados**

Perfil de elevación	Longitud, m	Pendiente promedio,%	Criterio	Observación
Línea sísmica LS1	88,6	13	Topografía	Trayecto cruzado por camino de herradura, presentando bloques de roca y escalonamientos en toda su longitud.
P1-P2	504	31	Topografía	Cubierta vegetal en P1. Vegetación gramínea en el trayecto P1-P2. Trayecto cruzado por camino de herradura, depresiones en escalonamientos por efectos de escorrentía superficial y pendiente del terreno.
P3-P4	642	28	Topografía	Cubierta vegetal en P3. P4, sobre la vía Pamplona-Bucaramanga. Trayecto cruzado por camino de herradura, en la parte alta del talud se observa una gran cantidad de árboles y cruzando por camino de herradura, depresiones en escalonamientos por efectos de escorrentía superficial y pendiente del terreno.

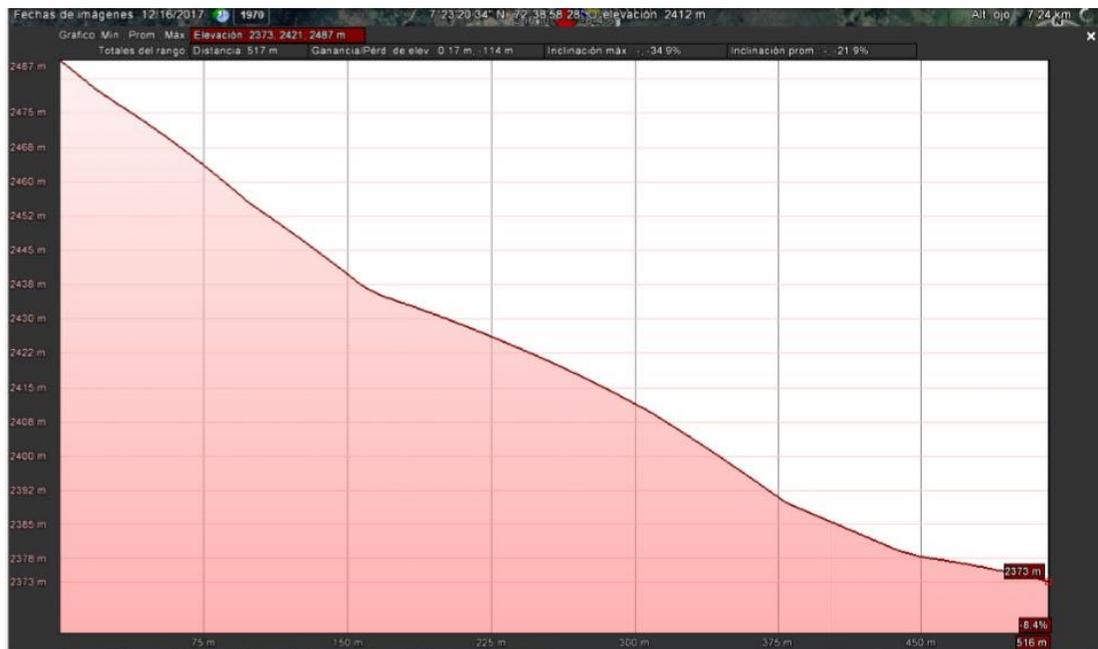
**Figura 24. Perfil Topográfico Evaluado línea sísmica (LS1-1--LS1-24), sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga**



**Figura 25. Perfil Topográfico Evaluado (P1-P2) sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga**



**Figura 26. Perfil Topográfico Evaluado (P3-P4) sobre la ladera superior a la vía Pamplona-Bucaramanga**

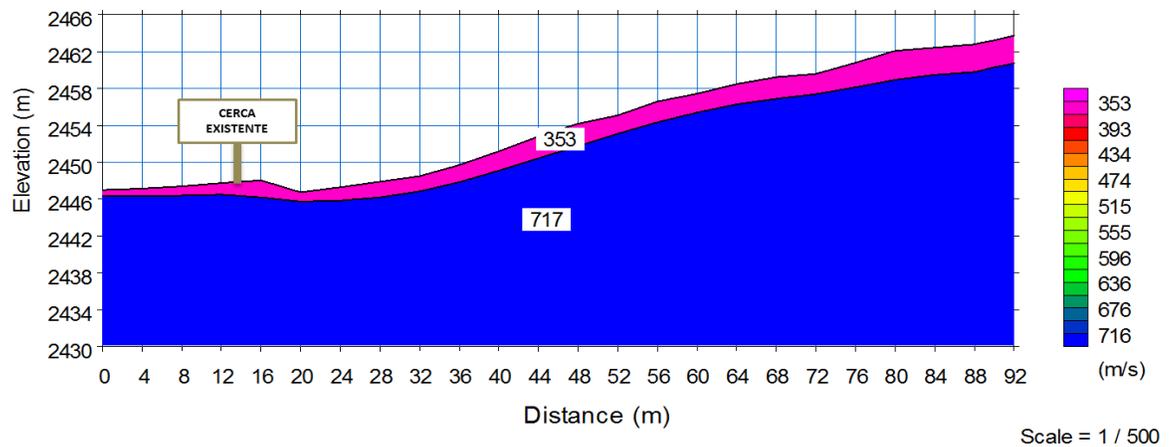


### 6.3 CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL GEOTÉCNICO

Barrio San Luis (Talud superior de la vía Pamplona Bucaramanga - Frente al campus de la Universidad de Pamplona).

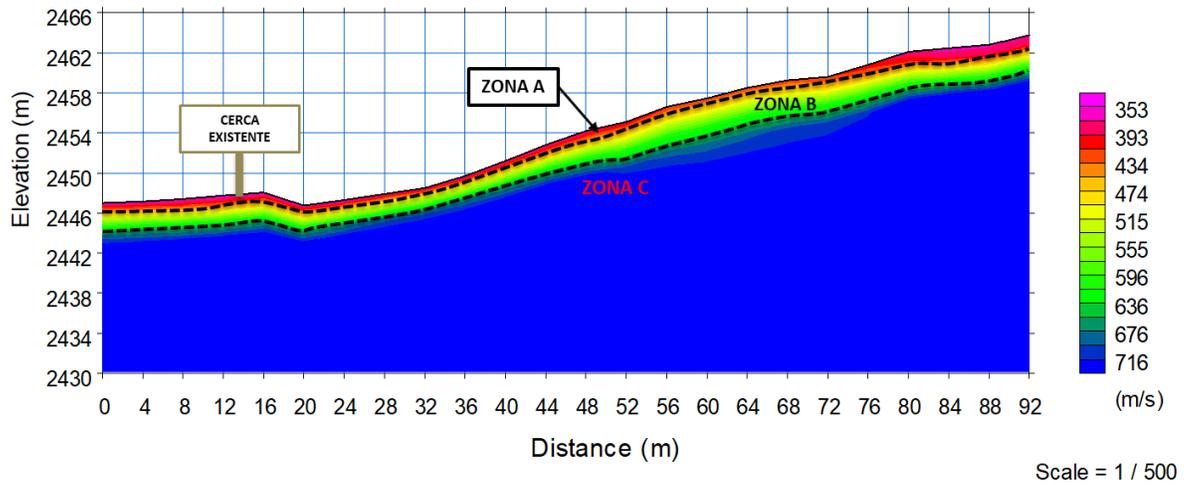
En el anexo A, se detallan los Datos de Refracción Sísmica y Configuración de los puntos de tiro.

**Figura 27. Resultado Ensayo de Refracción Sísmica o Modelo simplificado de dos capas**



**6.3.1 Descripción de la Refracción Sísmica Línea 1.** El perfil sísmico mostrado en la figura 28 corresponde a la línea de refracción sísmica **LS1**, presenta un modelo de dos capas: la primera capa con velocidad de onda ( $V_p$ ) de **353 m/s** corresponde a un delgado depósito Coluvial, la segunda capa con velocidad de onda ( $V_p$ ) de **717 m/s**, corresponde a un basamento Metamórfico del Predevónico fracturado y meteorizado, constituido por Neis cuarzo monzonítico y granodiorítico correlacionable con el Ortoneis (PDo).

**Figura 28. Resultado Ensayo de Refracción Sísmica - Modelo Tomografía 2D**



**6.3.2 Descripción de la Tomografía Sísmica Línea 1.** La imagen de Tomografía Sísmica **LS1**, presenta un modelo detallado calculado por elementos finitos, el cual permite observar más de 15 capas que muestran la variación de la velocidad con la profundidad, muy útil para la identificación de anomalías geofísicas importantes.

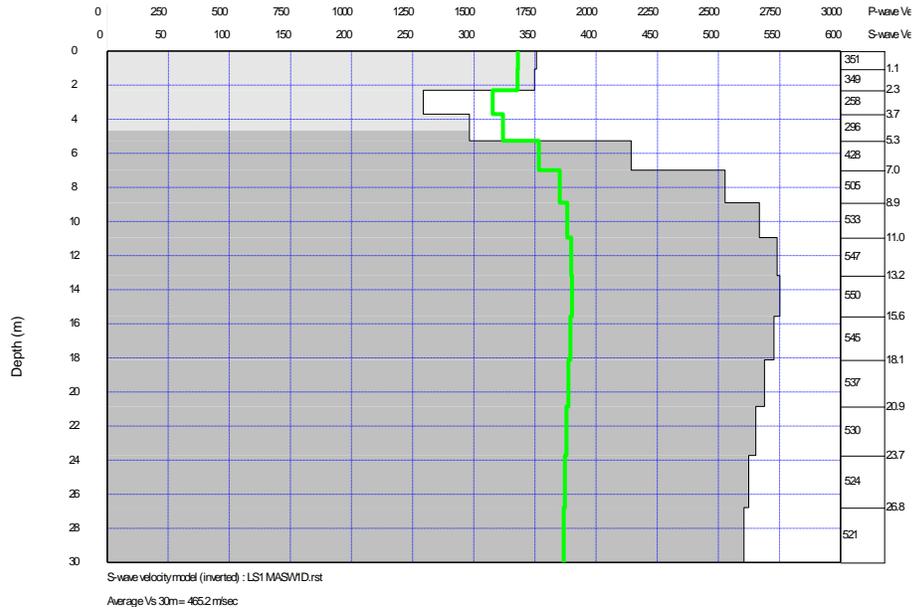
De acuerdo a los resultados de la tomografía sísmica **LS1** se identifica tres zonas: La **ZONA A** corresponde a un delgado deposito coluvial con un espesor máximo de **0.5 y 1.5 metros** de profundidad a lo largo del perfil sísmico, La **ZONA B** corresponde a un basamento Metamórfico del Pre-devónico altamente meteorizado con un espesor que varía entre los **1.8 y 3.4 metros**, la **ZONA C** Corresponde a un basamento Metamórfico del Pre-devónico fracturado y meteorizado, su comportamiento a lo largo del perfil es casi homogéneo, sus propiedades Geomecánicas van mejorando a medida que su profundidad es mayor, se estima que su profundidad máxima desde la superficie es de **4.2 metros**.

### 6.3.3 Ensayo de Ondas Superficiales MASW1D Línea 1

**Tabla 14. Datos obtenidos en los ensayos de Ondas Superficiales MASW1D**

TABLA DE DATOS - MASW 1D - LS 1								
Depth (m)	S-wave velocity (m/s)	P-wave velocity (m/s)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	N	Relación de Poisson $\nu$	Módulo de Corte G (MPa)	Módulo de Elasticidad Ed (MPa)	Deformación K (MPa)
0.00	351.39	1680.04	1.84	60.30	0.25	2233	5583	3722
1.07	349.71	1678.18	1.84	59.39	0.25	2211	5528	3685
2.31	258.73	1577.20	1.81	22.75	0.25	1190	2974	1983
3.71	296.25	1618.83	1.83	35.01	0.25	1571	3927	2618
5.27	428.82	1765.99	1.87	113.70	0.25	3374	8434	5623
7.01	505.56	1851.17	1.90	192.06	0.25	4754	11886	7924
8.90	533.64	1882.34	1.91	228.15	0.25	5324	13309	8873
10.96	547.95	1898.22	1.91	248.20	0.25	5627	14067	9378
13.19	550.22	1900.74	1.91	251.49	0.25	5676	14190	9460
15.58	545.36	1895.35	1.91	244.49	0.25	5571	13929	9286
18.13	537.80	1886.96	1.91	233.86	0.25	5411	13527	9018
20.85	530.55	1878.91	1.91	223.96	0.25	5259	13148	8765
23.74	524.89	1872.63	1.90	216.44	0.25	5143	12856	8571
26.79	521.02	1868.33	1.90	211.40	0.25	5063	12659	8439
36.43	550.22	1900.74	1.91	251.49	0.25	5676	14190	9460

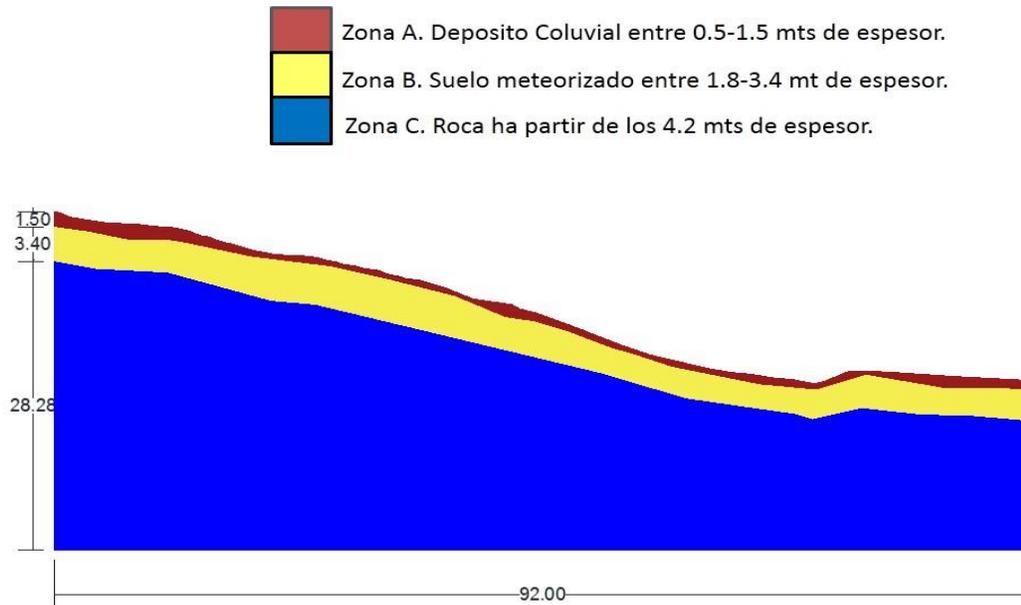
**Figura 29. Resultado Ensayo de Ondas Superficiales MASW1D**



**6.3.4 Descripción de Ondas Superficiales MASW1D Línea 1.** De acuerdo a la tabla de resultados promedio del ensayo de ondas superficiales Masw1D LS1, El suelo competente se encuentra aproximadamente a partir de los **5.27 m** de profundidad, alcanzando una velocidad de onda de corte de **428.82 m/s**, las cuales varían a medida que su profundidad es mayor hasta alcanzar una **velocidad de Onda de Corte (Vs) de 550.22 m/s a 36.43 metros** de profundidad.

La velocidad de onda de corte (Vs) promedio para el perfil sísmico es de **465.2 m/s**, y según la clasificación de los perfiles de suelos de la tabla A.2.4-1 Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR10 clasifica el suelo como **suelos muy densos o roca blanda que cumplen el criterio de velocidad de la onda cortante** (perfil tipo C).

**Figura 30. Perfil Geológico evaluado con cada uno de los Geomateriales línea sísmica (LS1-1--LS1-24)**



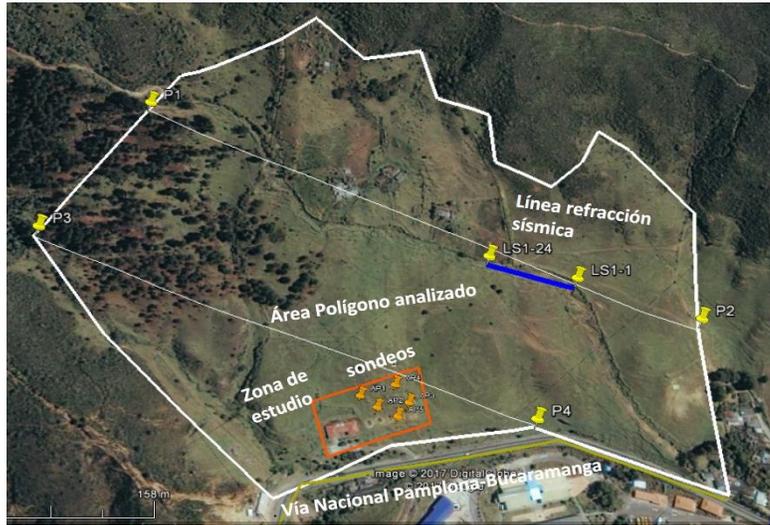
El macizo rocoso sobre el cual se encuentra el polígono de terreno evaluado fue caracterizado geo mecánicamente mediante el programa GeoData. El polígono corresponde a una zona en pendiente variable ( $> 15^\circ$ ), estratigráficamente compuesta por: la **ZONA A** un delgado deposito coluvial con un espesor máximo de **0.5 y 1.5 metros** de profundidad a lo largo del perfil sísmico, La **ZONA B** corresponde a un basamento Metamórfico del Pre-devónico altamente meteorizado con un espesor que varía entre los **1.8 y 3.4 metros**, y la **ZONA C** Corresponde a un basamento Metamórfico del Pre-devónico fracturado y meteorizado, su comportamiento a lo largo del perfil es casi homogéneo, sus propiedades Geomecánicas van mejorando a medida que su profundidad es mayor. Se estima que la profundidad máxima desde la superficie es de **4.2 metros**.

## 6.4 CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

**6.4.1 Barrio San Luis (Talud superior de la vía Pamplona Bucaramanga - Frente al campus de la Universidad de Pamplona).** La descripción geomecánica de los suelos fue basada en información secundaria, pertinente a estudios existentes en sectores incluidos en el área evaluada. El aporte dado en esta investigación radica en la interpretación y meta análisis hecho a tales datos. El estudio Geotécnico referente N1, proyecto PISCINA SEMIOLIMPICA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, en el municipio de mismo nombre, realizado por la empresa Laboratorio de Suelos, Concretos y Materiales. Director del estudio: ING. CIVIL Msc José Torres, Pamplona 2001, es uno de los documentos referentes. La Figura 25 ilustra la ubicación del predio caracterizado geotécnicamente y parte del área evaluada en esta investigación.

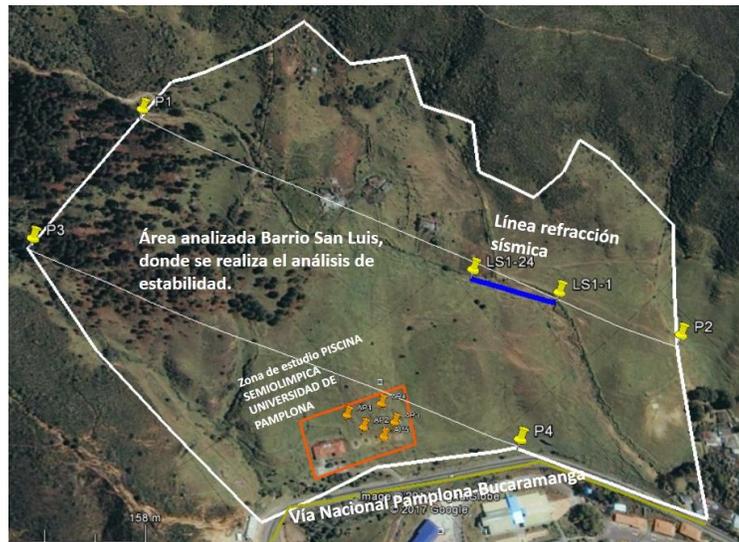
En la figura 30 se ilustra la ubicación del predio caracterizado geotécnicamente y parte del área evaluada en esta investigación.

**Figura 31. Ubicación del estudio referente 1**



Fuente: El estudio Geotécnico referente N1, proyecto PISCINA SEMIOLIMPICA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, en el municipio de mismo nombre, realizado por la empresa Laboratorio de Suelos, Concretos y Materiales.

**Figura 32. Área del polígono del barrio San Luis, y área donde se desarrolló el estudio de suelos para la construcción del salón de morfología en la UniPamplona**



Fuente: Estudio Geotécnico referente N1, proyecto PISCINA SEMIOLIMPICA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, en el municipio de mismo nombre, realizado por la empresa Laboratorio de Suelos, Concretos y Materiales.

En dicha investigación, la exploración del subsuelo fue practicada mediante la ejecución de cuatro (4) sondeos mediante perforación, a profundidades diferentes, empleando equipo de perforación a percusión con motor a gasolina de 16 HP, base y torre metálica, con aplicación de la prueba de penetración estándar (SPT).

Se ejecutaron ensayos de penetración estándar cada 50 cm de acuerdo a la norma ASTM D 1586. Para cada ensayo se tomaron tres lecturas de número de golpes para penetración de 6 pulgadas.

La Tabla 14 muestra los resultados de la prueba del SPT por cada sondeo realizado, y condensa la descripción del material en términos de la densidad relativa hallada en función del  $N_{spt}$ .

**Tabla 14. Descripción de resultados de la prueba SPT, y de la densidad relativa en términos del  $N_{spt}$**

Sondeo No	SPT	PROFUNDIDAD		GOLPES	$N_{SPT}$ DE CAMPO	$N_{SPT}$ Corregido	Densidad relativa INSITU	Densidad relativa, Corregido
S-1	SPT1	0	0,5	2-3-5-	8	6	Medio blanda	Medio blanda
	SPT2	0,5	1	4-4-4-	8	6	Medio blanda	Medio blanda
	SPT3	1	1,5	2-1-5-	6	4	Medio blanda	Blanda
	SPT4	1,5	2	5-7-5-	13	9	Firme	Medio blanda
	SPT5	2	2,5	6-12-10-	22	15	Muy firme	Firme
	SPT6	2,5	3	10-13-13-	26	18	Muy firme	Firme
	SPT7	3	3,5	8-6-7-	13	9	Firme	Medio blanda
	SPT8	3,5	4	6-7-8-	15	11	Firme	Firme
	SPT9	4	4,5	6-5-7-	12	8	Firme	Medio blanda
	SPT10	4,5	5	7-7-10-	17	12	Firme	Firme
	SPT11	5	5,5	6-6-8-	14	10	Firme	Medio blanda
	SPT12	5,5	6	12-13-7-	20	14	Muy firme	Firme

Sondeo No	SPT	PROFUNDIDAD		GOLPES	N <sub>SPT</sub> DE CAMPO	N <sub>SPT</sub> Corregido	Densidad relativa INSITU	Densidad relativa, Corregido
	SPT13	6	6,5	R-R-R-	-	-		
<b>S-2</b>	SPT1	0	0,5	1-2-3-	5	4	Blanda	Blanda
	SPT2	0,5	1	3-4-11-	15	11	Firme	Firme
	SPT3	1	1,5	3-4-3-	7	5	Medio blanda	Blanda
	SPT4	1,5	2	4-5-5-	10	7	Medio blanda	Medio blanda
	SPT5	2	2,5	5-10-8-	18	13	Firme	Firme
	SPT6	2,5	3	9-9-9-	18	13	Firme	Firme
	SPT7	3	3,5	4-16-10-	26	18	Muy firme	Firme
	SPT8	3,5	4	12-11-16-	27	19	Muy firme	Firme
	SPT9	4	4,5	11-11-10-	21	15	Muy firme	Firme
	SPT10	4,5	5	10-16-7-	23	16	Muy firme	Firme
	SPT11	5	5,5	R-R-R-	-	-		
<b>S-3</b>	SPT1	0	0,5	2-4-4-	8	6	Medio blanda	Medio blanda
	SPT2	0,5	1	9-7-8-	15	11	Firme	Firme
	SPT3	1	1,5	8-5-5-	10	7	Medio blanda	Blanda
	SPT4	1,5	2	6-8-10-	18	13	Firme	Firme
	SPT5	2	2,5	11-12-8-	20	14	Firme	Firme
	SPT6	2,5	3	R-R-R-	-	-	-	-
<b>S-4</b>	SPT1	0	0,5	1-2-4-	6	4	Medio blanda	Blanda
	SPT2	0,5	1	3-9-6-	15	11	Firme	Firme
	SPT3	1	1,5	5-12-R	12	8	Firme	Medio blanda
<b>S-4A</b>	SPT1	0	0,5	1-1-2-	3	2	Blanda	Muy Blanda
	SPT2	0,5	1	5-4-6-	10	7	Medio blanda	Medio blanda
	SPT3	1	1,5	5-6-9-	16	11	Firme	Firme
	SPT4	1,5	2	9-18-10-	28	20	Muy firme	Firme
	SPT5	2	2,5	7-15-13-	27	19	Muy firme	Firme
	SPT6	2,5	3	16-13-13-	26	18	Muy firme	Firme

Sondeo No	SPT	PROFUNDIDAD		GOLPES	N <sub>SPT</sub> DE CAMPO	N <sub>SPT</sub> Corregido	Densidad relativa INSITU	Densidad relativa, Corregido
	SPT7	3	3,5	10-12- 11-	23	16	Muy firme	Firme
	SPT8	3,5	4	11-20- 20-	40	28	Dura	Muy firme

Se aprecia que en el sondeo 1, en la profundidad de 6m a 6,5m se generaron los golpes y se presentó rechazo, en las demás profundidades hubo un desarrollo normal del sondeo con registro de N<sub>SPT</sub>. Donde en la gran mayoría se presenta una densidad relativa corregida medio blanda.

Se aprecia que en el sondeo 2, en la profundidad de 5m a 5,5m se generaron los golpes y se presentó rechazo, en las demás profundidades hubo un desarrollo normal del sondeo con registro de N<sub>SPT</sub>. Donde en la gran mayoría se presenta una densidad relativa corregida firme.

Se aprecia que en el sondeo 3, en la profundidad de 2,5m a 3m se generaron los golpes y se presentó rechazo, en las demás profundidades hubo un desarrollo normal del sondeo con registro de N<sub>SPT</sub>. Donde en la gran mayoría se presenta una densidad relativa corregida firme.

Se aprecia que en el sondeo 4 y 4A, en las profundidades de 0m-0.5m se presentan valores de N<sub>SPT</sub> mayores o iguales a seis (6), y en la profundidad de 3.5m-5 se presentan valores de N<sub>SPT</sub> igual o menores de cuarenta (40) debido a cambios litológicos, de compacidad, consistencia y de humedad, fundamentalmente. Donde en la gran mayoría se presenta una densidad relativa corregida firme.

A partir de los resultados de laboratorio y de las propiedades de los materiales fueron establecidos los parámetros de resistencia mecánica, entre otros datos, la información se tomó del sondeo N3 de los resultados de laboratorio los cuales se consignan en la Tabla 14.

En dicha investigación, la exploración del subsuelo fue practicada mediante la ejecución de apiques o excavaciones a cielo abierto.

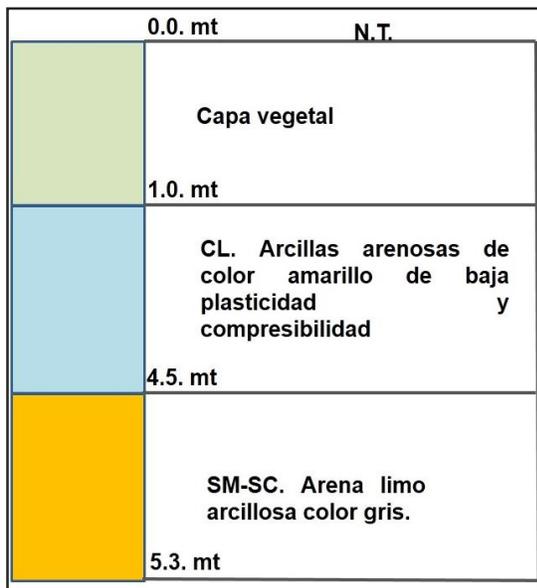
En el área del proyecto, se realizaron seis (6) apiques a una profundidad promedio de cinco (5) metros, el esquema de localización de los apique se presenta en la figura N° 33.

**Figura 33. Perfiles estratigráficos para cada uno de los apiques**



Los perfiles estratigráficos encontrados en los apiques, corresponden a la descripción de las características físicas de cada uno de los estratos de suelos encontrados. En la figura 34 se presenta el perfil superficial encontrado de acuerdo a los apiques y muestras analizadas.

**Figura 34. Perfil de suelos hallado en los apiques**



Las muestras tomadas en campo, fueron sometidas a diferentes ensayos de laboratorio, con el fin de poder caracterizar geotécnicamente los suelos y determinar sus características y propiedades geomecánicas.

En el Anexo B se presenta información esencial tomada del Estudio de Suelos de referencia: galería gráfica de campo, perfil de suelos levantada durante el ejercicio exploratorio, datos SPT por niveles de profundidad y tabla resumen de resultados de las pruebas de laboratorio.

La Tabla 15 y 16 contienen las propiedades índices y de clasificación de los suelos evaluados, a partir de los resultados hallados en las pruebas de laboratorio efectuadas a cada una de las muestras de geomaterial [contenido de humedad, propiedades índices y de clasificación (granulometría y límites de Atterberg)].

**Tabla 15. Propiedades índices y de clasificación de los suelos evaluados**

APIQUE No.	CAPA	PROFUNDIDAD	ω	% GRAVA	% ARENA	% FINO	LL	LP	IPL	IPA= 0.73(LL - 20)	TIPO DE SUELO	
		m									USC	AASHTO
1,00	2,00	0.00-2.00 m	10,61	-	-	41,45	20,25	17,85	2,40	0,18	SM-SC	A-4 (1)
2,00	2,00	0.00-1.80 m	21,18	-	-	82,75	37,45	23,00	14,45	12,74	CL	A-6 (10)
2,00	3,00	0.00-5.30 m	19,40	-	-	48,62	21,45	16,67	4,78	1,06	SM-SC	A-4 (2)
3,00	3,00	0.00-5.00 m	15,23	-	-	58,98	22,20	16,84	5,36	1,61	CL-ML	A-4 (5)
4,00	2,00	0.00-1.10 m	29,47	-	-	73,71	43,65	21,21	22,44	17,26	CL	A-7-6 (13)
5,00	2,00	0.00-2.50 m	15,90	13,11	62,89	24,00	NP	NP	-	-	SM	-
6,00	1,00	0.00-0.50 m	10,67	-	-	-	-	-	-	-	SUELO ORGANICO	
6,00	2,00	0.00-1.00 m	14,02	1,41	52,49	46,10	25,75	17,06	8,69	4,20	SC	A-4 (2)

**Tabla 16. Propiedades índices y de clasificación de los suelos evaluados**

APIQUE No.	CAPA	PROFUNDIDAD	ϕ	LL	LP	IPL	IPA= 0.73(LL – 20)	IL (índice de liquidez)	Consistencia de suelos finos	ΔIP= IPL – IPA	Lc límite de contracción	Compresibilidad Normalmente consolidada.	Compresibilidad
		m										Cc	
1	2	0.00-2.00 m	10,61	20,25	17,85	2,4	0,18	(3,02)	solida	2,22	baja expansividad	0,09	baja
2	2	0.00-1.80 m	21,18	37,45	23	14,45	12,74	(0,13)	Semisólida	1,71	baja expansividad	0,25	media
2	3	0.00-5.30 m	19,4	21,45	16,67	4,78	1,06	0,57	plástica	3,72	baja expansividad	0,10	baja
3	3	0.00-5.00 m	15,23	22,2	16,84	5,36	1,61	(0,30)	Semisólida	3,75	baja expansividad	0,11	baja
4	2	0.00-1.10 m	29,47	43,65	21,21	22,44	17,26	0,37	Altamente expansivo	5,18	baja expansividad	0,30	media
5	2	0.00-2.50 m	15,9	NP	NP	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	0.00-0.50 m	10,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2	0.00-1.00 m	14,02	25,75	17,06	8,69	4,2	(0,35)	Semisólida	4,49	baja expansividad	0,14	baja

Los porcentajes de humedad más altos corresponden a valores que oscilan entre el 21 y 29%, encontrados en el segundo estrato de los apiques No 2 y 4. Los valores más bajos son del orden del 10%, corresponden a los apiques No 1 y 6, en sus niveles superiores.

Según la composición granulométrica y los límites de Atterberg, las capas de los suelos encontrados, corresponden en su mayoría a arenas limosas y arcillas de baja compresibilidad, clasificadas de acuerdo al Sistema Unificado como SM y CL, respectivamente.

Son en general suelos de baja plasticidad, de baja compresibilidad y con un potencial de expansión bajo, Conforme a los valores obtenidos de los ensayos de compresión confinada, corresponden a 1,45 y 1,03 Kg/cm<sup>2</sup>, el suelo es consistente, adicionalmente de acuerdo con los valores del índice de consistencia y liquidez, el suelo tiene consistencia sólida, de acuerdo con los valores de índice de consistencia y liquidez, el suelo tiene consistencia sólida.

## **6.5 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LADERAS Y TALUDES.**

A partir de los datos geológico, geotécnico y socio cultural del sector evaluado, fue analizada la estabilidad de las laderas y/o taludes existentes. Tal ejercicio se realizó aplicando el programa Geostudio 2012 (Geoslope), para las condiciones natural y carga plena. Igualmente, se simularon condiciones de estabilidad introduciendo mecanismos de estabilidad artificial (pernos, micropilotes y elementos de drenaje).

Previo a la selección del método de análisis o cálculo de estabilidad de taludes y laderas, debe procederse a identificar el tipo de falla que será evaluada, bajo la hipótesis de que no todos los procedimientos son aplicables indiscriminadamente

para evaluar todos los mecanismos de falla posibles. Así por ejemplo, una ladera puede presentar condiciones críticas por meteorización intensiva, o porque registra proceso de reptación, o de erosión o de caída de rocas, entre otras formas de falla (procesos de remoción en masa tipo deslizamiento (sea este planar, cuña, o rotacional) y, en cada caso deberá aplicarse el método de análisis y el software más apropiado.

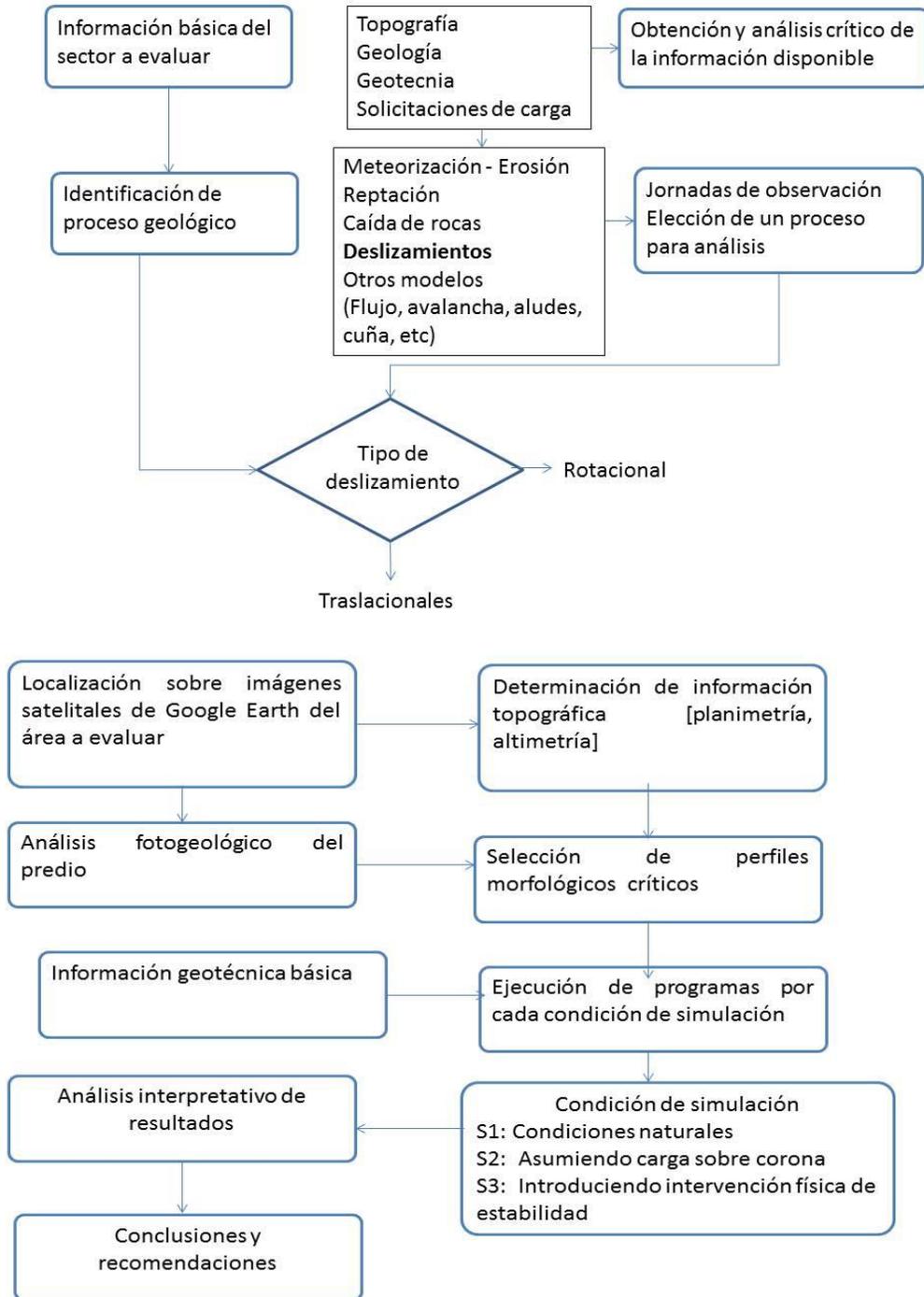
En este proyecto, se hizo análisis de inestabilidad de laderas y taludes ante fallas de deslizamiento rotacional. Para dicho modelo de falla existe variedad de métodos de cálculo tanto determinísticos como aleatorios, basados esto últimos en técnicas probabilísticas (método de Monte Carlo).

El modelo seguido en este estudio corresponde a un método determinístico denominado “*equilibrio límite*”, el cual emplea parámetros descriptivos del área evaluada, tales como; parámetros geotécnicos del geomaterial del terreno en pendiente (Angulo de fricción interna, cohesión, peso unitario), variables geométricas del talud (topografía del talud, posición del nivel freático), condiciones de cargas externas. Este modelo de análisis puede realizarse en forma manual o mediante aplicación de software especializado existente, el cual desarrolla las técnicas de análisis de Bishop, Janbú, Spencer, Morgenstern, Taylor, Fellenius, entre otros)

Tales métodos (sea que se desarrollen manualmente o con la ayuda de software) se centran en el cálculo de un factor de seguridad definido como la relación entre las fuerzas o momentos de resistencia en términos de las propiedades inherentes del geomaterial en pendiente y las fuerzas o momentos motoras, determinadas en función de las cargas externas que dinamizan el movimiento.

Usualmente, como en el presente estudio, los métodos mencionados se basan en la técnica sueca de suponer una superficie de falla de tipo cilíndrico que forma con el plano de papel un trazo circular. Sin embargo, pueden desarrollarse otros modelos (superficies de falla plana, escalonada, logarítmica, etc.). En la presente investigación, el algoritmo siguió, en líneas generales, las fases listadas en el diagrama de la Figura 35.

**Figura 35. Secuencia de fases realizadas en la determinación de la estabilidad de las laderas**



Con base en los análisis geológico, geotécnico y socio cultural realizados a la zona de estudio, fueron seleccionados los datos mostrados en la Tabla 17, requerida por el programa Geoslope empleado como técnica de cálculo para evaluar la estabilidad del terreno en pendiente, en términos de procesos de remoción en masa, tipo deslizamiento rotacional.

**6.5.1 Parámetros mecánicos.** A partir de los datos geológico, geotécnico y socio cultural de cada sector evaluado, fue analizada la estabilidad de las laderas y/o taludes existentes. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio como compresión inconfiada, y corte directo, del estudio Geotécnico Proyecto Piscina Semi Olímpica Universidad de Pamplona (ver el anexo (B)), realizados para cada una de las muestras que se obtuvieron en campo, se obtuvieron los siguientes parámetros en el estudio analizado:

**Tabla 17. Variables de insumo para el uso del programa Geoslope en la tarea de evaluar la estabilidad del talud (Perfil de suelos de la línea de refracción sísmica LS-1)**

ESTRATOS	Peso unitario húmedo (KN/m3)	Peso unitario seco (KN/m3)	Cohesión C (KN/mt2)	Ángulo de fricción $\Phi$
Deposito Coluvión	19,90	17,89	54,92	14
Suelo residual, consistente de suelos limo areno arcillosos de color rojos	19,20	15,45	5,60	15,38
Macizo rocoso compuesto por roca ígneo metamórfica.	(Roca Impenetrable).			

**6.5.2 Análisis – Aplicación del software GEOSLOPE.** El procedimiento metodológico seguido en la aplicación del programa GEOSLOPE es mostrado a continuación. Se incluyen pantallazos del programa en cada una de las fases de su aplicación.

Abrir el programa SLOPE/W del paquete de GeoStudio 2007 y seguidamente activar la función “llave de acceso” (keyIn Analysis) en la barra de herramienta; al hacerlo se despliega una ventana de diálogo donde se introduce la siguiente información:

Dar nombre al proyecto.

Escoger la opción de análisis de estabilidad de la masa térrea. El software ofrece las alternativas de los métodos de Spencer, Bishop, Ordinario y Jambú clásico, y Jambú generalizado. Se debe escoger la alternativa que vaya a ser utilizada conforme a las condiciones del proyecto.

Optar por el tipo de superficie de falla, el método de análisis (determinístico o probabilístico), referencias el nivel de precisión o ajuste de los cálculos.

Así mismo, en esa primera ventana de diálogo, el programa pide establecer la información sobre nivel freático, presión de agua.

Seguidamente, el programa requiere especificaciones geométricas y la adopción de las unidades de trabajo.

Posteriormente debe definirse las características de la grilla para ubicar el punto de giro.

Dibujar o exportar el perfil topográfico del talud objeto de análisis.

Asignar propiedades geotécnicas de los geomateriales que conforman cada estrato.

Ubicar el NF o línea piezométrica, de conformidad con las condiciones reales del terreno.

Dibujar la grilla

Verificar datos para poder correr el programa. Este indicará en que paso deben hacerse correctivos o ajustes.

Correr el programa. Una vez se ha cursado la aplicación, el software ofrece el contorno de la superficie de falla y el factor de seguridad correspondiente.

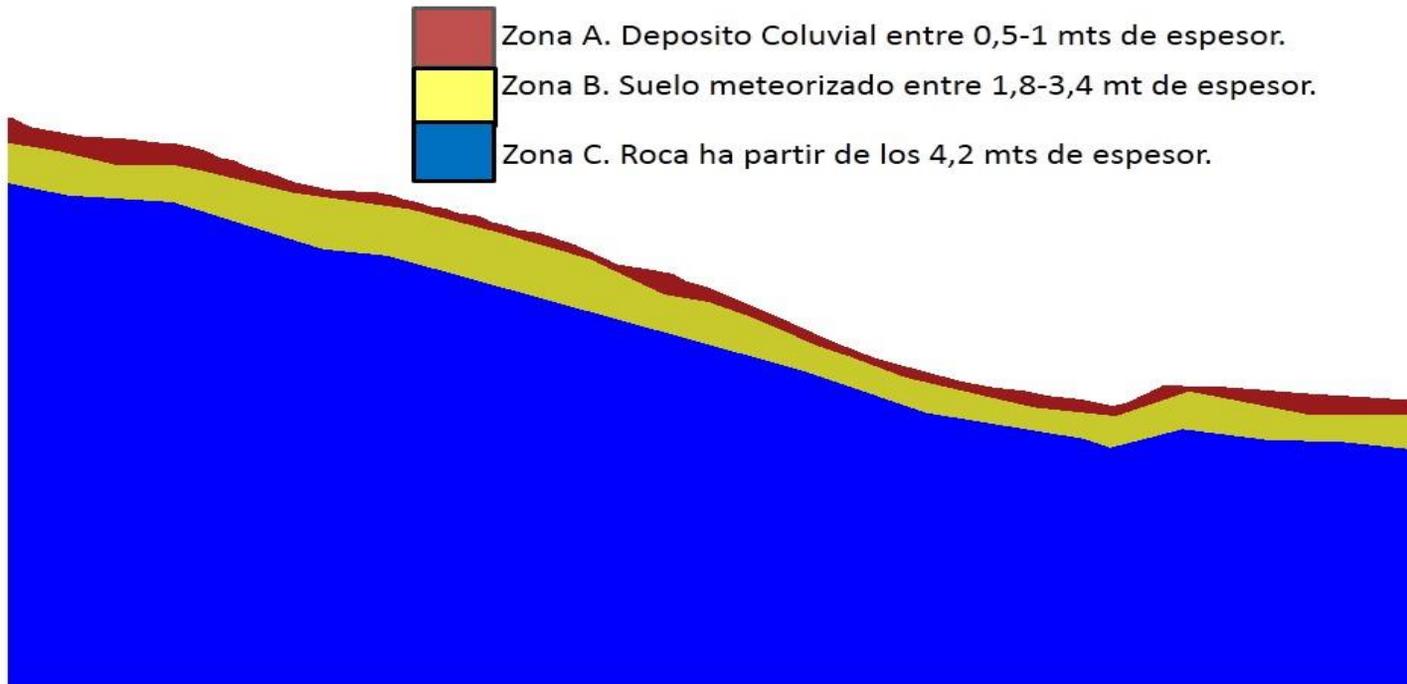
Con la información obtenida debe procederse a realizar la evaluación de los resultados.

La Figura 36 muestra el perfil analizado para el análisis de estabilidad y las Figuras 37 a la 43 corresponden a las etapas más relevantes en el proceso de aplicación del programa Geoslope.

Este proceso fue hecho para cada uno de los perfiles de elevación seleccionados en cada uno del sector evaluado.

En el texto de este informe documental se hace referencia al cálculo del perfil LS1-1--LS1-24, de los ilustrados en la Figura 36, para el Barrio San Luis.

**Figura 36. Perfil topográfico Evaluados línea sísmica (LS1-1--LS1-24). Ladera evaluada Barrio San Luis, Pamplona, N.S.**



A continuación, se describe los pasos que se utilizaron para el análisis del perfil topográfico de la línea sísmica (LS1-1--LS1-24).

Figura 37. Datos de entrada

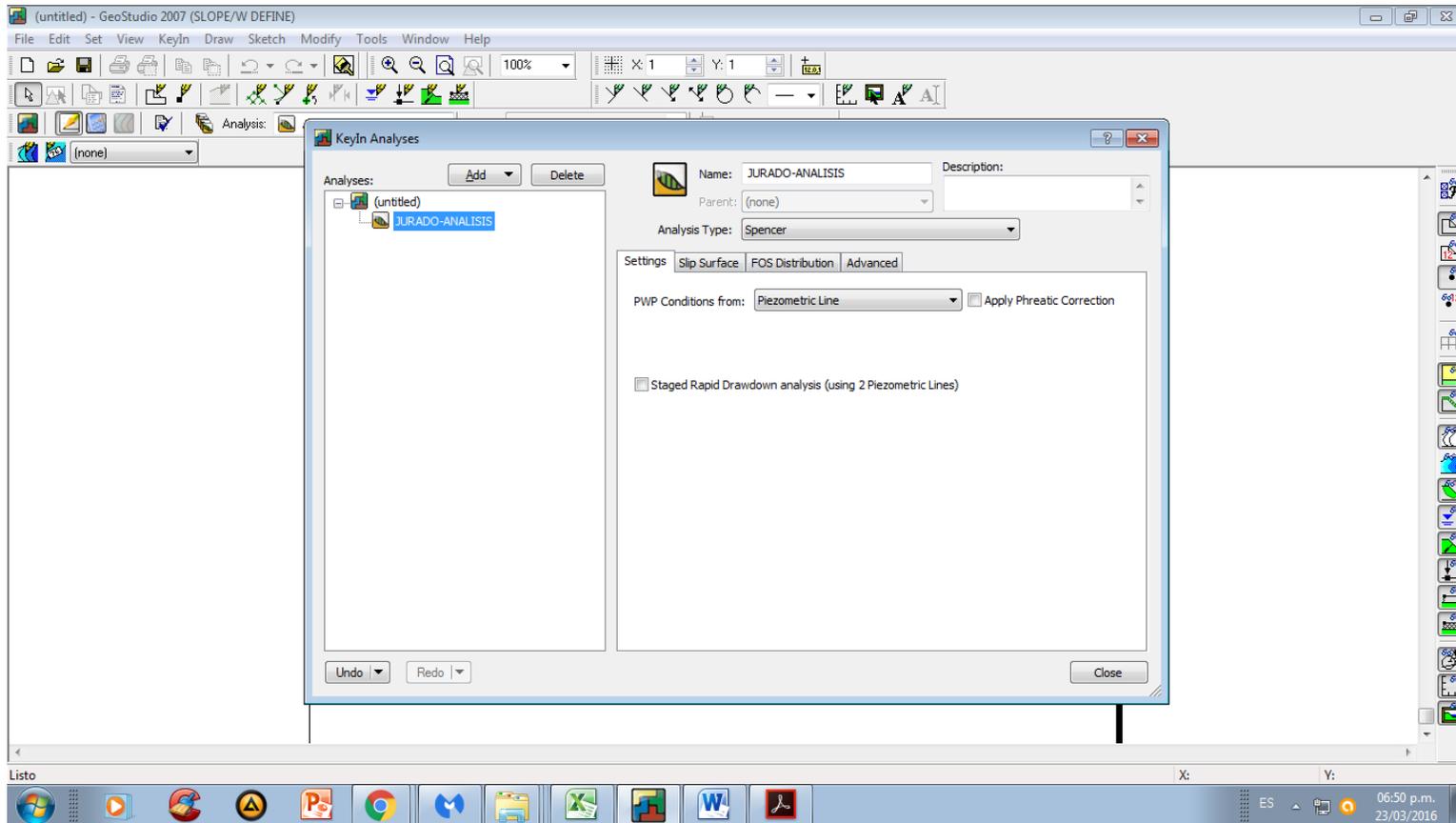


Figura 38. Se procesan los datos para el cálculo del F.S. con la condición inicial del talud análisis global

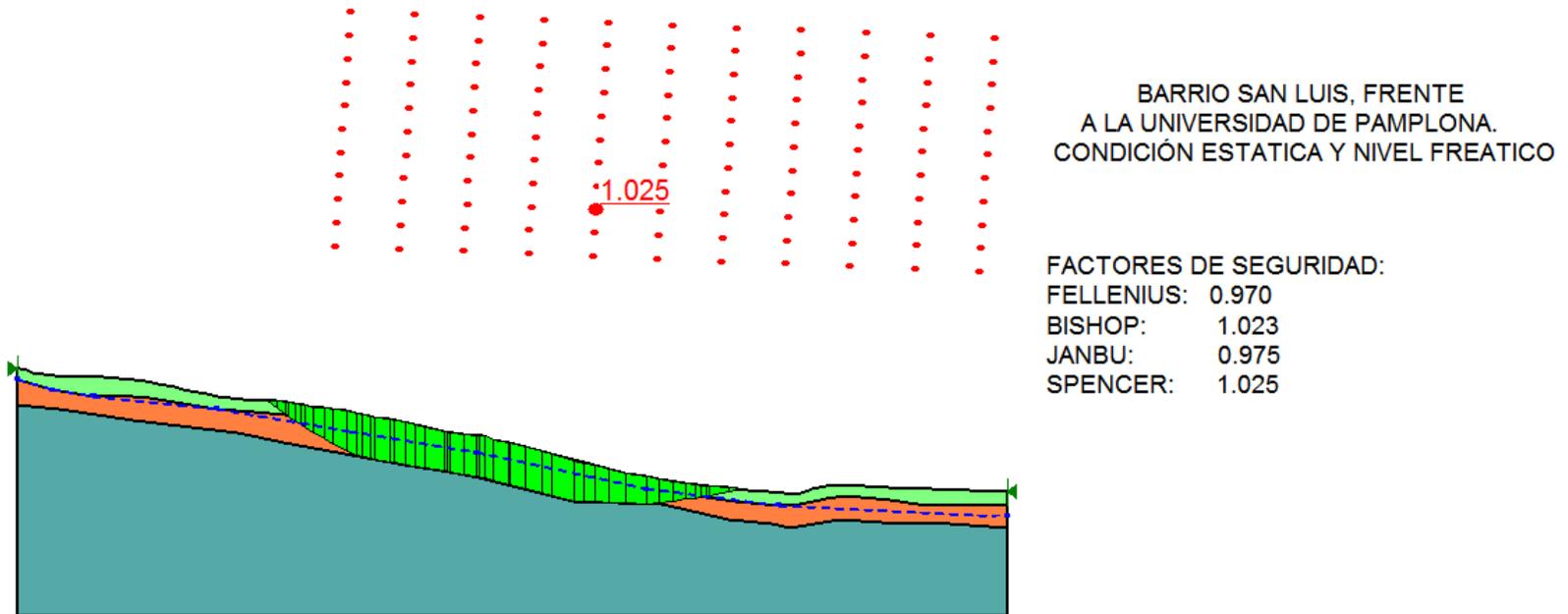
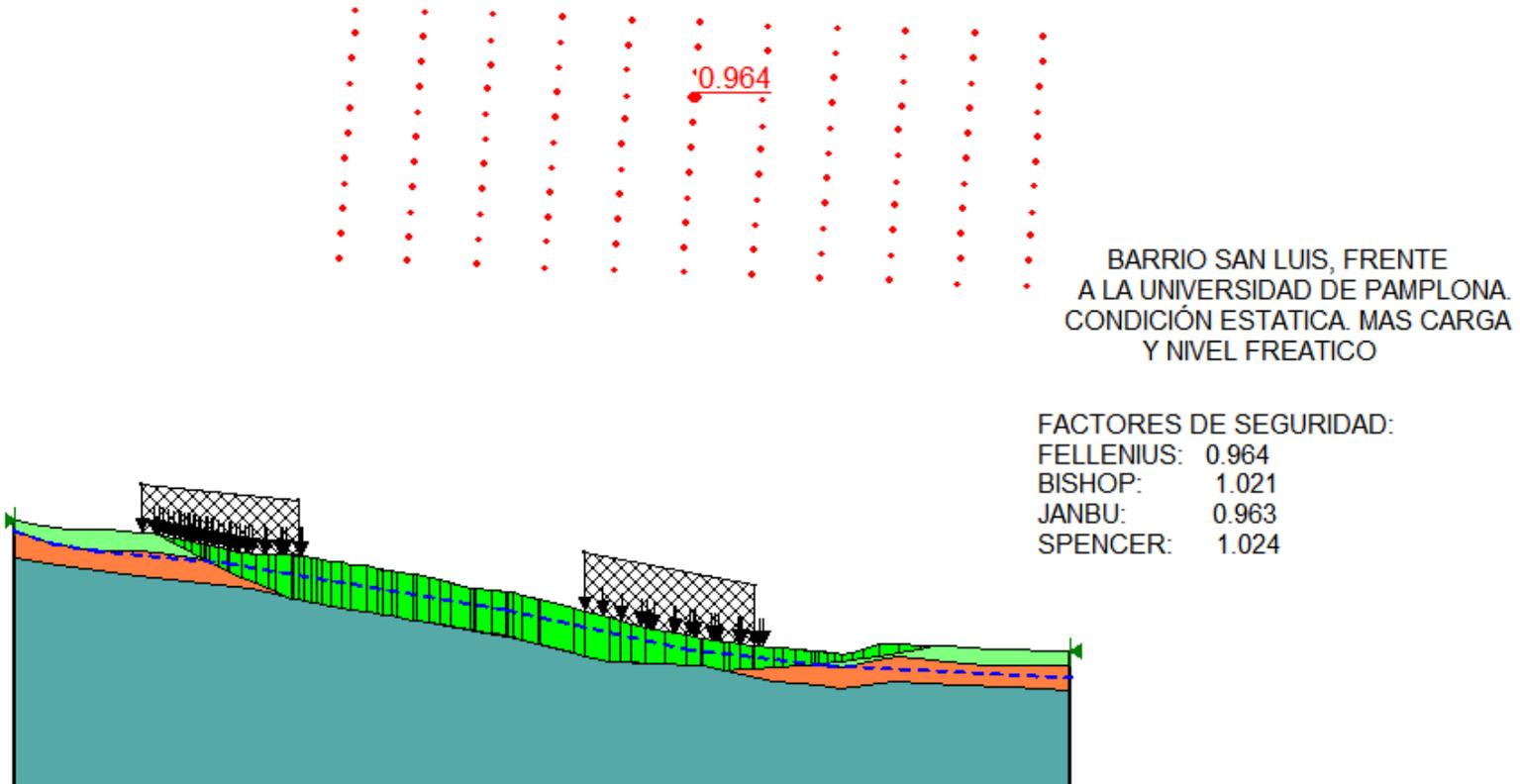


Figura 39. Condición estática del talud, aplicando carga en corona, nivel freático y análisis global



La elección de los parámetros dinámicos incorporados en el problema, se consideraron con base en la condición de amenaza sísmica alta que caracteriza a la ciudad de Pamplona de acuerdo a la NSR-10 título A, tipificada con coeficientes de aceleración y velocidad horizontal pico de  $A_v$  0,25.  $A_v=0,25*1,08 = 0.22g$ .

Figura 40. Condición pseudoestática del talud, aplicando carga, nivel freático análisis dinámico

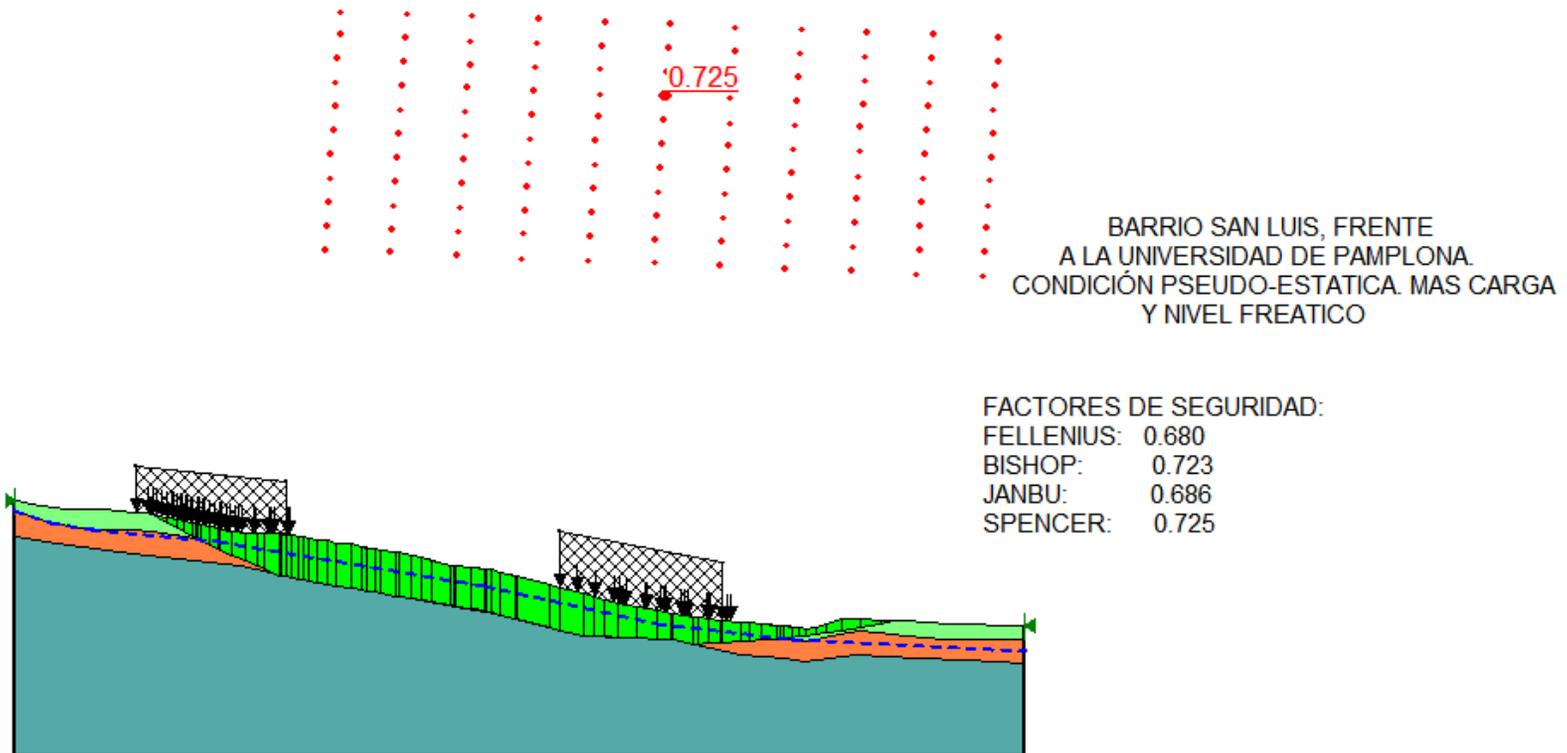


Figura 41. Condición pseudoestática del talud con corte o terrazas, nivel freático y coeficiente sísmico

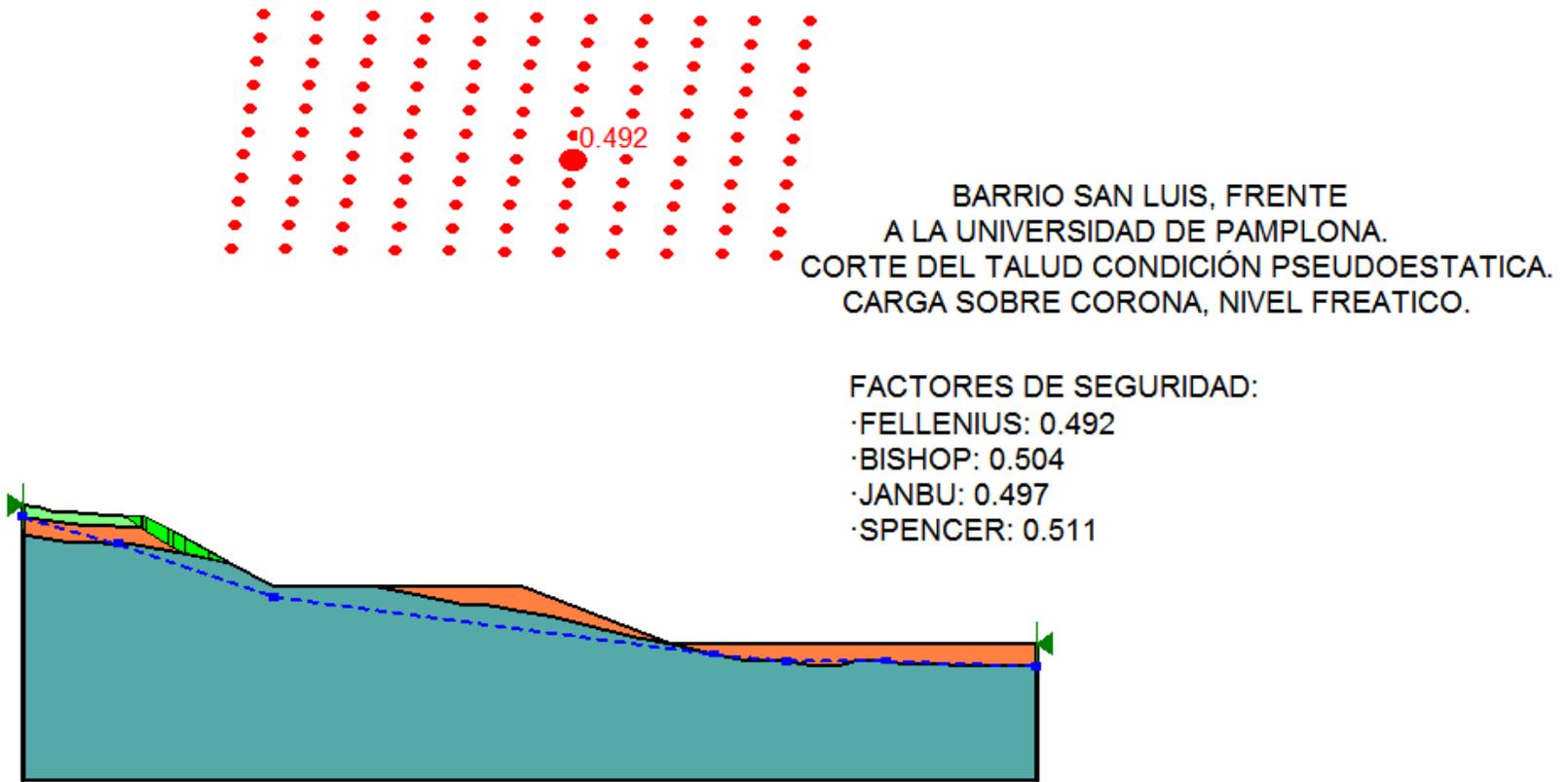


Figura 42. Condición pseudoestatica del talud con corte o terrazas, aplicando carga, nivel freático y coeficiente sísmico, más elementos de estabilización con anclajes activos

BARRIO SAN LUIS, FRENTE  
A LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.  
CORTE DEL TALUD CONDICIÓN PSEUDOESTATICA.  
CARGA SOBRE CORONA, NIVEL FREATICO.

FACTORES DE SEGURIDAD:

- FELLENIOUS: 1.112
- BISHOP: 1.113
- JANBU: 1.106
- SPENCER: 1.116

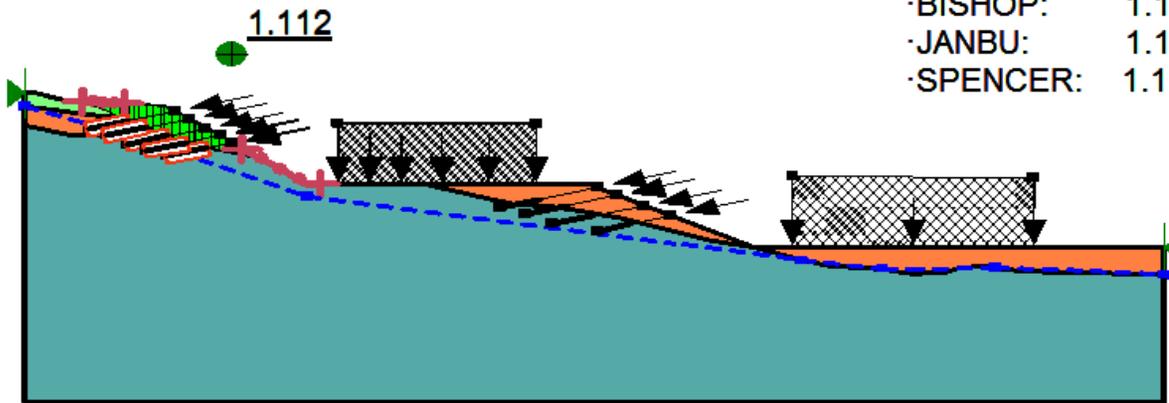
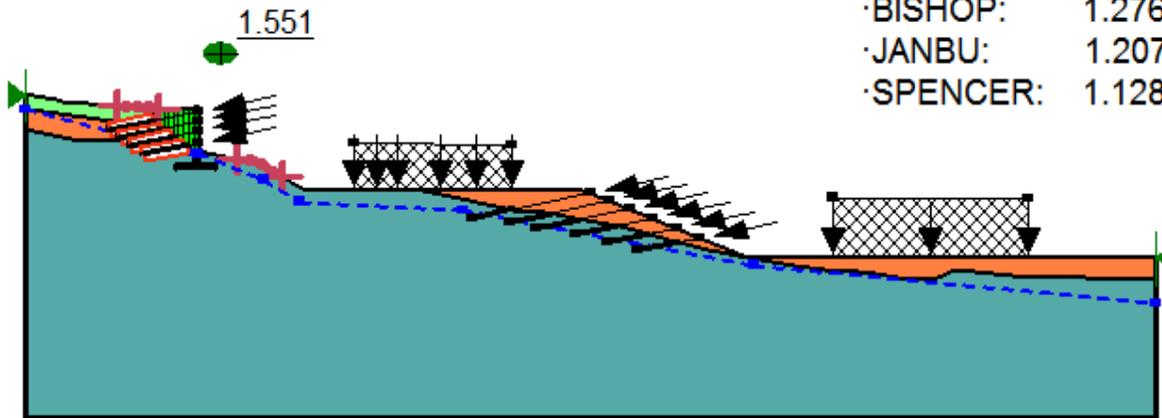


Figura 43. Condición pseudoestatica del talud con corte o terrazas, aplicando carga, nivel freático y coeficiente sísmico, mas elemento de estabilización con muro de contención en la terraza superior y anclajes activos

BARRIO SAN LUIS, FRENTE  
A LA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.  
CORTE DEL TALUD CONDICIÓN PSEUDOESTATICA.  
CARGA SOBRE CORONA, NIVEL FREATICO.

FACTORES DE SEGURIDAD:

- FELLENIOUS: 1.551
- BISHOP: 1.276
- JANBU: 1.207
- SPENCER: 1.128



**Tabla 18. Resultados de factores de seguridad hallados según diferentes métodos de cálculo en el marco de la técnica de equilibrio límite**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	ANÁLISIS	Factores de Seguridad	
				CONDICIÓN ESTÁTICA	CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA
1,00	Condición natural del talud, nivel freático		M. FELLENIUS	0,970	
			M. BISHOP	1,023	
			M. JAMBU	0,975	
			M. SPENCER	1,025	
2,00	Condición del talud, nivel freático, carga sobre corona.		M. FELLENIUS	0,964	
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP	1,021	
		0,22g	M. JAMBU	0,963	
			M. SPENCER	1,024	
3,00	Condición del talud corte en terraza, nivel freático.		M. FELLENIUS	0,726	0,492
			M. BISHOP	0,737	0,504
			M. JAMBU	0,731	0,497
			M. SPENCER	0,752	0,511
4,00	Condición del talud corte en terraza, nivel freático, carga sobre corona.		M. FELLENIUS		0,492
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP		0,504
		0,22g	M. JAMBU		0,497
			M. SPENCER		0,511
5,00			M. FELLENIUS	2,887	1,112
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP	2,837	1,113

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN	ANÁLISIS	Factores de Seguridad	
				CONDICIÓN ESTÁTICA	CONDICIÓN PSEUDOESTÁTICA
	Condición del talud corte en terraza, nivel freático, carga sobre corona. Más elementos de estabilización anclajes activos, sector N1	0,22g	M. JAMBU	2,743	1,106
			M. SPENCER	2,887	1,116
6,00	Condición del talud corte en terraza, nivel freático, carga sobre corona. Más elementos de estabilización anclajes activos, sector N2		M. FELLENIUS	3.413	1.225
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP	3.393	1.226
		0,22g	M. JAMBU	3.404	1.188
			M. SPENCER	3.342	1.197
7,00	Condición del talud corte en terraza, nivel freático, carga sobre corona. Más elementos de estabilización muro de contención, anclajes activos, sector N1		M. FELLENIUS	2.640	1.551
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP	2.320	1.276
		0,22g	M. JAMBU	2.361	1.207
			M. SPENCER	2.512	1.128
8,00	Condición del talud corte en terraza, nivel freático, carga sobre corona. Más elementos de estabilización muro de contención, anclajes activos, sector N2		M. FELLENIUS	3.428	1.223
		Carga 24 KN/m3	M. BISHOP	3.476	1.237
		0,22g	M. JAMBU	3.401	1.181
			M. SPENCER	3.417	1.171

Se realizó el análisis de la superficie de falla en cada una de las condiciones evaluadas, se comparó con los Factores de Seguridad Básicos Mínimos Directos establecidos en el título H de la NSR-10, según la Tabla H.2.4-1, como se muestra en la figura 44.

**Figura 44. 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

- Al realizar el modelamiento del talud con las condiciones naturales y globales con nivel freático, carga sobre corona en condiciones (estáticas) del terreno los F.S. obtenidos por cada uno de los métodos son inestables, se obtuvieron ( $FS \leq 1,05$ ), condiciones geotécnicamente inestables en el talud.
- Al realizar corte en el talud (terrazza superior e inferior) en condiciones estáticas y pseudoestáticas, con carga sobre corona, nivel freático más coeficiente de aceleración sísmica, los F.S. obtenidos por cada uno de los métodos son inestables, se obtuvieron ( $FS \leq 1,05$ ), condiciones geotécnicamente inestables en el talud.

De acuerdo a los resultados obtenidos por cada uno de las condiciones analizadas los taludes son inestables, en base es eso se planteó el modelo geotécnico con las condiciones de estabilidad del talud con las alternativas de solución con elementos de estabilización como:

- Acción dinámica con corte del talud, considerando carga en casa una de las

terrazas, nivel freático, coeficientes sísmicos, y se empleó elementos estabilizadores **anclajes activos**; los F.S. obtenidos por cada uno de los métodos son estables ( $FS \geq 1,05$ ), condiciones geotécnicamente estables en el talud, se puede estabilizar el talud con la línea de anclajes.

- Acción dinámica con corte del talud, considerando carga en cada una de las terrazas, nivel freático, coeficientes sísmicos, se empleó de elementos estabilización como **muro de contención** anclado con **anclajes activos** en el corte o terraza del talud superior, y **anclajes** en el corte en el talud inferior, los F.S. obtenidos por cada uno de los métodos son estables ( $FS \geq 1,05$ ), condiciones geotécnicamente estables en el talud, se puede estabilizar el talud con el muro de contención y la línea de anclajes en cada corte o terraza realizada.

## 7. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis preliminar y básico de cada una de las fuentes analizadas respecto a cada punto referenciado en el centro del área, para el barrio Barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona). Los datos obtenidos en el cálculo de la magnitud momento, se presentan datos con magnitudes mayores a 6 lo cual en la escala del tiempo para los años 1980-2015, estas zonas se caracterizan por ser de amenaza sísmica alta, se presentan amenazas sísmicas superficiales e intermedias, es un referente que se debe tener en cuenta cuando se proyecten construir obras las cuales deben garantizar la estabilidad de la estructura que se va a construir, respecto a la Norma Sismo Resistente 2010, códigos, y reformas a la construcción.
- Del análisis de la información consultada existente (estudios de suelos, sondeos y fotointerpretación), se establecieron los parámetros geotécnicos que permitieron realizar el analizar del perfil del talud de estudio del barrio evaluado.
- Se propuso el modelo geotécnico y con los resultados del trabajo de campo de la EXPLORACIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL BARRIO SAN LUIS SECTOR FRENTE A LA UNIVERSIDAD DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, se determinó los espesores de cada capa de suelo en un marco geológico regional y local la zona de interés geofísico, está conformado por un delgado depósito Coluvial suprayaciendo a un conjunto de rocas del Pre-devónico compuesto principalmente por Neis cuarzomonzonítico y granodiorítico correlacionable con el Ortoneis muy fracturado y con una profunda meteorización.
- Se realizó el análisis de estabilidad del talud realizando la modelación por medio de la Aplicación del software GEOSLOPE, donde se evaluó las condiciones en estado estático y pseudoestático con los parámetros establecidos de acuerdo a

la información consultada, según los resultados de los ensayos de laboratorio utilizados para el modelamiento del área analizada como es la del Barrio San Luis, (Sector Universidad de Pamplona), los datos que se utilizaron fueron los del estudio Geotécnico referente N1, proyecto PISCINA SEMIOLIMPICA UNIVERSIDAD DE PAMPLONA, Donde se obtienen los (F.S.) de acuerdo a la modelación como:

El programa fue corrido para tres condiciones, así:

- I. Condición natural, con nivel freático con la morfología en estado estático y pseudoestático, arroja Factores de Seguridad  $F.S. \leq 1,05$ , revelando condiciones geotécnicas inestables.
  - II. Condición de talud con corte o terrazas, nivel freático, con carga en corona y acción estática y pseudoestática, arroja Factores de Seguridad  $F.S. \leq 1,05$ , revelando condiciones geotécnicas inestables.
  - III. Condición del talud con corte o terraza, nivel freático, con carga en corona, acción estática y pseudoestática, utilizando elementos de estabilización como anclajes activos en el corte superior e inferior y construcción de obra de contención en el talud superior con anclajes con anclajes activos, arroja Factores de Seguridad  $F.S. \geq 1,05$ , revelando condiciones geotécnicas estables, para desarrollar proyecto de construcción si a futuro se materializan.
- Las autoridades ambientales y la corporación CORPONOR del municipio de pamplona, deben realizar un control permanente o deben prohibir el pastoreo y la siembra en las zonas más altas del barrio San Luis, ya que esta actividad está afectando el terreno donde se presentan grietas de contracción, en época de invierno se presenta filtración de agua y esto puede ocasionar deslizamientos de falla en los taludes de este barrio ya que no hay obras de drenaje que puedan mitigar los efectos a futuro.

- Se realizó el análisis de las posibles causas que pudieran generar la remoción en masa en la zona de estudio o sitios aledaños, se identificaron movimientos en masa en el área evaluada y se asocian a mecanismos naturales de orden geomorfológico; son frecuentemente causados por la acción de fuerzas hidrometeorológicas y/o geológicas y son catalizadas por acción humana; tales procesos involucran desplazamientos de suelo, regolito y roca en tiempos relativamente cortos y su movilización es direccionada por la gravedad.
- Al evaluar y analizar las causas de los procesos de amenazas potenciales de origen geológico que han ocasionado fenómenos de remoción en masa, y Procesos denudacionales, en este orden de ideas se realizó la comparación de las situaciones presentadas en otros sectores del casco urbano del municipio donde se identificó fenómenos similares que han afectado la estructura del terreno como es el sector de la de urbanización Valle del Espíritu Santo del Barrio el Zulia donde se desarrolló el proyecto de urbanización Valle del Espíritu Santo se determinó que las condiciones de la estructura de la ladera del sitio en estudio, fueron modificadas en sus condiciones de estabilidad natural, lo que conlleva a la ocurrencia de la remoción en masa que afecto la urbanización.
- En el Barrio Chichira, el Barrio San Francisco, el Barrio Los Trece, Barrio Tinto redondo, parte baja, presentan fenómenos de amenazas por deslizamiento y al igual el Municipio de Pamplona esta categorizado como zona de amenaza sísmica alta, el municipio está situado en un ambiente tectónico activo en proximidad al punto de convergencia de las macro fallas “Bucaramanga - Santa Marta” y “Boconó”, debe ser un referente para todo proyecto de infraestructura a construir.

## 8. RECOMENDACIONES

De conformidad con las características de la ladera y con los resultados de la evaluación de su estabilidad y en algunos casos de inestabilidad es recomendable, la adopción de medidas de prevención y control. Se sugiere:

- Preservar la cubierta vegetal existente y evitar avanzar con la frontera agrícola topográficamente arriba de la cota a la que está limitada tal actividad en la actualidad. Contrariamente, debe procurarse recuperar capa forestal en las partes altas de la ladera.
- Efectuar análisis de estabilidad de la ladera frente a otros procesos geológicos que restan estabilidad a la misma (erosión, meteorización, caída de rocas, flujo de detritus, solifluxión).
- Rellenar las grietas en el terreno e impermeabilizar las obras de arte que muestran fisuramiento, con el objeto de reducir las aguas de infiltración.
- Las aguas sobrantes y de escorrentía deben ser interceptadas, canalizadas y conducidas adecuadamente hacia las cañadas naturales con el propósito de que no comprometan la estabilidad de las obras civiles existentes.
- Todo desarrollo urbano que se proyecte debe estar precedido de un análisis de estabilidad de la ladera, bajo condición sin y con carga y teniendo en cuenta la situación de Pamplona de ser considerada de alta amenaza sísmica y con historia de procesos de remoción en masa.

- Independientemente de los valores que puedan mostrar los factores seguridad, es altamente deseable que se adopten medidas preventivas y de control de la estabilidad de la ladera. En tal sentido, el monitoreo del proceso de reptación es urgente, así como el control de niveles piezométricos.
- En el barrio San Luis (sector Universidad de Pamplona) se recomienda realizar perforaciones para determinar y detallar espesores y perfiles de los suelos, e incluso encontrar roca, esto último es relevante para saber la disposición de la misma, ya que se podrían generar deslizamientos por la zona de contacto entre la roca y el suelo.
- Debido al predominio de las pendientes de moderadas a altas, en las áreas estudiadas, no es viable construir taludes muy inclinados, y se hace necesario análisis de estabilidad de los mismos, para encontrar los parámetros de resistencia propia del material y el valor portante del suelo que es subyacente al pie del talud.
- En las zonas de análisis se deben realizar obras que son necesarias para el hacer control de drenajes, y canalización de aguas de escorrentía superficial, para evitar procesos erosivos y de infiltración, además de llevar a cabo análisis hidrológicos para determinar los niveles freáticos de los sitios de estudios.
- Se debe propender por una campaña de reforestación de las áreas devastadas por la tala de árboles que está sucediendo en la zona de estudio, además que esta iniciativa aparte de darle estabilidad a los suelos ayuda en la conservación de las fuentes hídricas tan importantes para el desarrollo de cualquier comunidad.

- Cuando se proyecte construir obras de infraestructura o de construcción en el Barrio San Luis se recomienda no realizar cortes al talud con pendientes tan inclinadas o ángulos muy altos, ya que se debe evaluar el beneficio costos de las obras complementarias que se deben desarrollar para la estabilización de los mismos, se recomienda realizar un estudio detallado de geotecnia y de suelos ya que está a su vez va cambiando y el comportamiento de la acción de estas obras pueda alterar las condiciones del terreno.
- Es recomendable generar campañas de pedagogía ambiental, manejo adecuado de cultivos y uso pastoril, manejo de aguas superficiales y control de las aguas de escorrentía en laderas. En las partes más altas, es conveniente proyectar un uso de protección y reforestación, ya que son los lugares que en últimas son más susceptibles a la remoción y a la pérdida de las fuentes hídricas.
- Es conveniente que la oficina de planeación restrinja la construcción de viviendas de más de 2 pisos en lugares que estén cerca o junto a laderas y escarpes pronunciados.
- Antes de iniciar cualquier proyecto se debe realizar un estudio detallado de geotecnia y de suelos que establezca las condiciones reales de los suelos analizados para tener referencia que fenómenos se presenta y determinar las obras a construir bajo los criterios sismo resistentes referente a la norma NSR 2010.
- Se recomienda realizar un estudio de micro zonificación sísmica en la zona urbana de Pamplona para determinar los puntos más vulnerables correspondientes a los eventos sísmicos que han sucedido y así se pueda planificar mejor los estudios de suelos y diseños constructivos.

- Se recomienda realizar control o monitoreos para verificar comportamientos de las laderas y así poder analizar la estabilidad de las mismas. Y así se amplía los conocimientos de estos sistemas de monitoreos para tener mejor control en las zonas de estudios o donde se realicen proyectos de construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WARD, D., Goldsmith, R., Cruz, B., Jaramillo, C., y Restrepo, H. 1973. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico, Vol. XXI (1-3), pp. 1-132.
- [2] SUAREZ D. Jaime. Febrero de 2009, Deslizamientos. Análisis geotécnico volumen N1, técnicas de remediación volumen N2.
- [3] ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 Bogotá AIS, 2010.1625.
- [4] BLAKE, T.F; HOLLINGSWORTH, R.A.; STEWART J.P. eds. Recommended procedures for Implementation of Dmg special publication 117 guidelines For analyzing and mitigating Landslide hazards in California. Los Angeles: SCEC, 2002. 132 p.
- [5] ARELLANO, Rodrigo, et. Al. Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas. Santiago: universidad de chile, 2009. 9 p.
- [6] JOORABCHI, Arash Erfani. Landslide stabilization using drilled shafts in static and dynamic conditions. Tesis de Doctorado. Akron: The Graduate Faculty of The University of Akron, 2011. 183 p. KERPEL, Enrique. Curso de Concreto Armado II. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, [c.a.] 1970. 259 p.
- [7] LIANG, Robert. Field Instrumentation, Monitoring of Drilled Shafts for Landslide Stabilization and Development of Pertinent Design Methods. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2010. 238 p.

[8] U.S. Geological Survey-Ingeominas mineral resource assessment of Colombia; ore deposit models.

[9] SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Tramotes y servicios Recueperado de; <http://www2.sgc.gov.co/>

[10] INGEOMINAS y el U.S. Geological Survey

[11] El P.B.O.T de Pamplona (Plan básico de Ordenamiento Territorial de Pamplona), 2001.

[12] ALCALDÍA DE PAMPLONA. Estudio de suelos para el proyecto de construcción del complejo deportivo del Barrio Jurado, en el municipio de Pamplona, Departamento Norte de Santander, República de Colombia Septiembre del 2008.

[13] JÁCOME ROMERO Carolina. Febrero del 2015, (Barrio San Luis). Estudio de suelos y cimentaciones para la ampliación del Laboratorio de Morfología de la Universidad de Pamplona, en el municipio de mismo nombre; elaborado por la Empresa Ingeniería + Control 2011 Sas. RI.

[14] LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y MATERIALES. Ing. Civil Msc José Torres, diciembre del 2011. Estudio de suelos, y estudio Geotécnico, Estudio Geotécnico proyecto Piscina Semiolimpica Universidad de Pamplona.

[15] ALFARO C Andrés J, 2010, Introducción a la ingeniería sismológica, Universidad de la Salle. p. (41-52).

[16] GONZÁLEZ, Álvaro J. ESTIMATIVOS DE parámetros efectivos de Resistencia con el SPT [online]. Bogotá: SCI-SCG, 1999. 12 p. [30 abril de 2014]. Disponible desde internet en: <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE->

PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf.

[17] GONZÁLEZ, Álvaro J. -Ingeniero Civil U.N., M.Sc., DICX JORNADAS GEOTÉCNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA - SCI -SCG – 1999.

[18] BRAJA M. DAS, Julio del 2002, principios de ingeniería de cimentaciones cuarta edición, pagina 101.

[19] RODRÍGUEZ B. Alexander, CANTILLO N. Manuel E, Caracterización geotécnica de los suelos del campus de la Universidad de Pamplona y los Barrios el Buque, Juan XXIII, Santa Marta, Tinto Redondo, Chíchira y el progreso en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Tesis de Grado, Universidad Industrial De Santander Facultad De Ingenierías Físico-Químicas Escuela De Geología.2006.

[20] BARRAGÁN RODRÍGUEZ. Laura Yarick. Manual para el análisis sísmico de estabilidad de taludes utilizando métodos pseudoestáticos y métodos de desplazamiento. Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil Bucaramanga 2008.

## BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE PAMPLONA. Estudio de suelos para el proyecto de construcción del complejo deportivo del Barrio Jurado, en el municipio de Pamplona, Departamento Norte de Santander, República de Colombia Septiembre del 2008.

ALFARO C., Andrés J. Introducción a la ingeniería sísmológica, Universidad de la Salle. 2010. p. (41-52).

ARELLANO, Rodrigo, et. Al. Análisis de taludes mediante ensayos y back análisis de fallas. Santiago: universidad de chile, 2009. 9 p.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (AIS). Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 Bogotá AIS, 2010.1625.

BARRAGÁN RODRÍGUEZ, Laura Yarick. Manual para el análisis sísmico de estabilidad de taludes utilizando métodos pseudoestáticos y métodos de desplazamiento. Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil Bucaramanga 2008.

BLAKE, T.F; HOLLINGSWORTH, R.A.; STEWART J.P. eds. Recommended procedures for Implementation of Dmg special publication 117 guidelines For analyzing and mitigating Landslide hazards in California. Los Angeles: SCEC, 2002. 132 p.

BRAJA, M. DAS. Principios de ingeniería de cimentaciones cuarta edición, Julio del 2002. p. 101.

El P.B.O.T de Pamplona (Plan básico de Ordenamiento Territorial de Pamplona), 2001.

GONZÁLEZ, Álvaro J. Estimativos de parámetros efectivos de Resistencia con el SPT [online]. Bogotá: SCI-SCG, 1999. 12 p. [30 abril de 2014]. Disponible desde internet en: <http://www.scg.org.co/wp-content/uploads/ESTIMATIVOS-DE-PARAMETROS-DE-RESISTENCIA-CON-SPT.pdf>.

GONZÁLEZ, Álvaro J. -Ingeniero Civil U.N., M.Sc., DICX JORNADAS GEOTÉCNICAS DE LA INGENIERÍA COLOMBIANA - SCI -SCG – 1999.

INGEOMINAS y el U.S. Geological Survey

JÁCOME ROMERO Carolina. (Barrio San Luis). Estudio de suelos y cimentaciones para la ampliación del Laboratorio de Morfología de la Universidad de Pamplona, en el municipio de mismo nombre; elaborado por la Empresa Ingeniería + Control 2011 Sas. Ri. Febrero del 2015.

JOORABCHI, Arash Erfani. Landslide stabilization using drilled shafts in static and dynamic conditions. Tesis de Doctorado. Akron: The Graduate Faculty of The University of Akron, 2011. 183 p. KERPEL, Enrique. Curso de Concreto Armado II. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, [c.a.] 1970. 259 p.

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y MATERIALES. Ing. Civil Msc José Torres, diciembre del 2011. Estudio de suelos, y estudio Geotécnico, Estudio Geotécnico proyecto Piscina Semiolimpica Universidad de Pamplona.

LIANG, Robert. Field Instrumentation, Monitoring of Drilled Shafts for Landslide Stabilization and Development of Pertinent Design Methods. Columbus: Ohio Department of Transportation, 2010. 238 p.

RODRÍGUEZ B., Alexander; CANTILLO N., Manuel E. Caracterización geotécnica de los suelos del campus de la Universidad de Pamplona y los Barrios el Buque, Juan XXIII, Santa Marta, Tinto Redondo, Chíchira y el progreso en el Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Tesis de Grado, Universidad Industrial De Santander Facultad De Ingenierías Físico-Químicas. Escuela De Geología. 2006.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Tramotes y servicios Recueperado de; <http://www2.sgc.gov.co/>

SUÁREZ D. Jaime. Febrero de 2009, Deslizamientos. Análisis geotécnico volumen N1, técnicas de remediación volumen N2.

U.S. Geological Survey-Ingeominas mineral resource assessment of Colombia; ore deposit models.

WARD, D.; GOLDSMITH, R.; CRUZ, B.; JARAMILLO, C.; y RESTREPO, H. Geología de los Cuadrángulos H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander. U.S. Geological Survey e Ingeominas. Boletín Geológico, Vol. XXI (1-3), 1973. pp. 1-132.