	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado	Pág.		
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADÉMICO</b>	<b>(171)</b>		

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

<b>AUTOR:</b>	ANA GABRIELA OLIVEROS CÁRCAMO		
<b>FACULTAD</b>	DE INGENIERÍAS		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	INGENIERÍA CIVIL		
<b>DIRECTOR</b>	Ing. AGUSTÍN ARMANDO MACGREGOR TORRADO		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	APOYO TÉCNICO PARA EL ANÁLISIS DEL RIESGO POR INESTABILIDAD DEL TERRENO EN PROYECTOS DE DESARROLLO HABITACIONALES, EN LA CIUDAD DE TIJUANA, MÉXICO.		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE TRABAJO DE GRADO CONTIENE LA INFORMACIÓN REFERENTE AL ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y CUALITATIVO DE LA AMENAZA Y VULNERABILIDAD, LOS CUALES, EN LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE LOS PROYECTOS HABITACIONALES CORRESPONDIENTES A LOS FRACCIONAMIENTOS ESTUDIADOS, CONSTITUYEN PARÁMETROS FUNDAMENTALES, EN LA MEDIDA QUE SE LOGRA IDENTIFICAR ZONAS CON POTENCIAL DE INESTABILIDAD Y CON BASE EN ELLO REALIZAR MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA DISMINUIR LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 171	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 54	CD-ROM: 1

APOYO TÉCNICO PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO POR  
INESTABILIDAD DEL TERRENO EN PROYECTOS DE DESARROLLO  
HABITACIONALES EN LA CIUDAD DE TIJUANA, MÉXICO

AUTOR

ANA GABRIELA OLIVEROS CÁRCAMO

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director:

AGUSTÍN ARMANDO MACGREGOR TORRADO

Especialista en Geotecnia Ambiental

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA CIVIL

Ocaña, Colombia

Septiembre de 2017

## Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>xi</b>
<b>Capítulo I: Apoyo técnico para el análisis y evaluación del riesgo por inestabilidad del terreno en proyectos de desarrollo habitacionales en la ciudad de Tijuana, México. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Descripción de la empresa .....</b>	<b>13</b>
1.1.1. Misión. ....	13
1.1.2. Visión. ....	14
1.1.3. Objetivos: .....	14
1.1.4. Descripción de la estructura organizacional. ....	14
1.1.5. Descripción de la dependencia. ....	15
<b>1.2. Diagnóstico inicial de la dependencia .....</b>	<b>17</b>
1.2.1. Planteamiento del problema. ....	18
<b>1.3. Objetivos .....</b>	<b>19</b>
1.3.1. Objetivo General: .....	19
1.3.2. Objetivos Específicos. ....	19
<b>1.4. Descripción de las actividades a desarrollar .....</b>	<b>20</b>
<b>Capítulo 2. Enfoques Referenciales .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Enfoque conceptual. ....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Riesgo. ....	22
2.1.2. Gestión del Riesgo. ....	23
2.1.3. Riesgo Geológico. ....	24
2.1.4. Amenaza. ....	25
2.1.5. Vulnerabilidad. ....	26
2.1.6. La Exposición o Grado de Exposición. ....	27
2.1.7. Prevención. ....	27
2.1.8. Mitigación. ....	28
2.1.9. Estudios Geotécnicos. ....	29
2.1.10. Factor de Seguridad. ....	29
2.1.11. Inestabilidad. ....	30
2.1.12. Factores desencadenantes para la inestabilidad. ....	31
2.1.13. Factores de Valuación. ....	31
2.1.14. Metodologías para el análisis de la estabilidad. ....	32
2.1.15. Análisis cualitativo del riesgo. ....	35
2.1.16. Análisis cuantitativo del riesgo. ....	35
2.1.17. Talud. ....	36
2.1.18. Deslizamientos. ....	36
<b>2.2. Enfoque legal .....</b>	<b>38</b>
2.2.1. La Constitución Política: .....	38
2.2.2. Ley General de Protección Civil: .....	38
2.2.3. Reglamento de acciones de Urbanización para el municipio de Tijuana. ....	39
2.2.4. Reglamento para la excavacion, extraccion y nivelacion de terrenos en el Municipio de Tijuana. ....	40

2.2.5. Normativa para pruebas de Laboratorio. ....	40
2.2.6. Reglamento de la Ley de edificaciones del estado de Baja California. ....	40
<b>Capítulo 3. Informe de Cumplimiento .....</b>	<b>41</b>
<b>3.1. Presentación de resultados. ....</b>	<b>41</b>
3.1.1. Realizar una revisión de las zonas correspondientes para identificar el riesgo por inestabilidad según lo planteado en los proyectos. ....	42
3.1.2. Determinar las propiedades físicas mecánicas del suelo con el fin de identificar los factores desencadenantes y detonantes de inestabilidad. ....	54
3.1.3. Realizar un análisis de estabilidad cuantitativo y cualitativo en las áreas de estudio. ....	78
3.1.4. Determinar el riesgo por deslizamiento en función de la amenaza y vulnerabilidad para los proyectos asignados. ....	97
3.1.5. Elaborar un manual instructivo para el análisis de la estabilidad del terreno utilizando el método de equilibrio límite.....	110
<b>4. Diagnóstico final.....</b>	<b>113</b>
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>115</b>
<b>6. Recomendaciones .....</b>	<b>118</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>119</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>123</b>

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura organizacional de la Universidad de las Californias Internacional. ....	15
Figura 2. Principales superficies de rotura, derecha: rotacional – Izquierda: Traslacional. ....	37
Figura 3. Ubicación de la ciudad de Tijuana en México. ....	42
Figura 4. Ubicación del proyecto N°1 con sus delimitaciones. ....	43
Figura 5. Ubicación del proyecto N°2 con sus delimitaciones. ....	44
Figura 6. Localización del Proyecto N°1 en la ciudad de Tijuana B.C. ....	45
Figura 7. Localización del Proyecto N°2 en la ciudad de Tijuana B.C. ....	46
Figura 8. Vista en planta de la fractura del terreno y sus consecuencias. ....	48
Figura 9. Visita al proyecto N°1 en compañía del Dr. Aldo Oliva y el Ing. David Martínez .....	50
Figura 10. Visita al proyecto N°2 en compañía del Ing. David Martínez .....	50
Figura 11. Ubicación de los puntos geo referenciados para el proyecto N°1. ....	52
Figura 12. Plan de vuelo del Drone (líneas verdes) y posición de las fotografías (puntos rojos). ..	53
Figura 13. Mapa de la república Mexicana sobre la Geología .....	55
Figura 14. Mapa de la república Mexicana sobre la Geología .....	56
Figura 15. Movimientos de las placas tectónicas en México. ....	60
Figura 16. Sismicidad del norte de Baja California en el período 1973 - 2010. ....	63
Figura 17. Ubicación de los ensayos SPT en el proyecto N°1. ....	65
Figura 18. Ejecución del ensayo SPT en el proyecto N°1. ....	67
Figura 19. Muestras recuperadas de sondeo SPT 1. ....	68
Figura 20. Muestras recuperadas de sondeo SPT 2. ....	69
Figura 21. Ubicación de los sondeos en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial. ....	70
Figura 22. Ejecución de los sondeos en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial. ....	71
Figura 23. Área de estudio vista en planta y ubicación de los perfiles para el análisis de estabilidad. ....	80
Figura 24. Vista en planta de la ubicación de los perfiles. ....	81
Figura 25. Modelo de falla para el perfil 0 + 000. ....	82
Figura 26. Modelo de falla para el perfil 0 + 020. ....	83
Figura 27. Modelo de falla para el perfil 0 + 040. ....	83
Figura 28. Modelo de falla para el perfil 0 + 060. ....	84
Figura 29. Modelo de falla para el perfil 0 + 080. ....	84
Figura 30. Modelo de falla para el perfil 0 + 100. ....	85
Figura 31. Modelo de falla para el perfil 0 + 120. ....	85
Figura 32. Modelo de falla para el perfil 0 + 140. ....	86
Figura 33. Modelo de falla para el perfil 0 + 140. ....	86
Figura 34. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 1. ....	87
Figura 35. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 2. ....	88
Figura 36. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 3. ....	88
Figura 37. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 4. ....	89
Figura 38. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 5. ....	89
Figura 39. Modelo deformacional para el perfil 0 + 060. ....	92
Figura 40. Modelo deformacional para el perfil 0 + 080. ....	93
Figura 41. Modelo deformacional para el perfil 0 + 100. ....	93
Figura 42. Elementos susceptibles a sufrir daños por movimientos del terreno. ....	103

Figura 43. División de las zonas por inestabilidad del terreno y nivel del riesgo. ....	107
Figura 44. Dimensiones de las probables superficies de falla en el perfil considerado más crítico. .....	107
Figura 45. Carta Geológica de la República Mexicana. ....	124
Figura 46. Provincias geológicas de México. ....	125
Figura 47. Regionalización Sísmica de México. ....	126
Figura 48. Levantamiento fotogramétrico del proyecto N°1. ....	128
Figura 49. Ortofoto del proyecto N°1 Escala 1 : 1000. ....	129
Figura 50. Vista isométrica con nube de puntos de la ubicación de los perfiles. ....	130

## Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz DOFA .....	17
Tabla 2. Actividades a desarrollar para el cumplimiento de la pasantía. ....	20
Tabla 3. Tipos de riesgos geológicos .....	25
Tabla 4. Métodos utilizados en la modelación de taludes .....	34
Tabla 5. Características de la estación total.....	51
Tabla 6. Descripción Litológica de los estratos encontrados en proyecto N°1. ....	71
Tabla 7. Descripción Litológica de los estratos encontrados en proyecto N°2. ....	72
Tabla 8. Resumen de Pruebas de cortante directo (ASTM D-3080-03) .....	73
Tabla 9. Resumen de pruebas de expansión (ASTM D-4829-03).....	74
Tabla 10. Resumen de Pruebas Proctor Modificada (ASTM D-1557-02).....	74
Tabla 11. Resumen de Pruebas de Laboratorio, Valor de Resistencia (Valor R).....	73
Tabla 12. Resumen prueba de compresión Triaxial.....	75
Tabla 13. Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad .....	75
Tabla 14. Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad en el proyecto N°1 .....	76
Tabla 15. Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad en el proyecto N°2.....	77
Tabla 16. Factor de seguridad y observaciones para los modelos de cada perfil en el proyecto N°1.....	90
Tabla 17. Factor de Seguridad para los modelos de cada perfil en el proyecto N°2.....	91
Tabla 18. Observaciones de los modelos de cada perfil empleando métodos tenso - deformacionales .....	91
Tabla 19. Resumen de los factores de valuación utilizados en el análisis cualitativo de estabilidad .....	95
Tabla 20. Intervalos y nivel de influencia de los factores de valuación .....	95
Tabla 21. Valores obtenidos del análisis cualitativo para los proyectos analizados.....	96
Tabla 22. Factores de evaluación que consideran la susceptibilidad a deslizamientos. ....	99
Tabla 23. Valor de la amenaza de deslizamiento en cada perfil. ....	99
Tabla 24. Valor de la amenaza para cada elemento expuesto. ....	100
Tabla 25. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología.....	101
Tabla 26. Escalas recomendadas para la zonificación de amenaza por los deslizamientos. ....	101
Tabla 27. Vulnerabilidades de los elementos expuestos. ....	103
Tabla 28. Valores de vulnerabilidad física al impacto de deslizamientos de tierra. ....	104
Tabla 29. Valores tentativos de vulnerabilidad de una estructura a los deslizamientos de acuerdo con su profundidad de cimentación. ....	105
Tabla 30. Porcentaje de riesgos para el proyecto ubicado en el fraccionamiento Rincón Toscano. ....	106
Tabla 31. Resultados de la evaluación del riesgo para el proyecto en Lomas Conjunto Residencial.....	108
Tabla 32. Medidas y estrategias para reducir la vulnerabilidad y el riesgo. ....	109
Tabla 33. Explicación de las zonas evaluadas en la regionalización sísmica de México .....	127

## Lista de apéndices

Apéndice A. Mapas guías empleados para el análisis.....	124
Apéndice B. Cortes estratigráficos de las exploraciones efectuadas en las trincheras del proyecto ubicado en el Fraccionamiento Rincón Toscano. ....	131
Apéndice C. Registro de los sondeos efectuados en el proyecto del Fraccionamiento Rincón Toscano. ....	144
Apéndice D. Resultados de los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg en el proyecto del Fraccionamiento Rincón Toscano. ....	152
Apéndice E. Resultados del ensayo de compresión triaxial en el proyecto ubicado en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial. ....	166
Apéndice F. Informe técnico entregado al Grupo Iteico Euroamericano .....	170
Apéndice G. Manual de uso del método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad del terreno.....	171



## Introducción

Los antecedentes en la zona de estudio indican que la población asentada en los fraccionamientos Rincón Toscano y Lomas Conjunto Residencial presenta problemas de deslizamientos desde la construcción de sus primeras edificaciones, y esto se debe precisamente a los terrenos inestables que sirvieron como soporte para las cimentaciones, sobre los cuales no se realizó ningún tipo de intervención con el fin de mejorar este escenario, que está ligada al relieve montañosos del sector y el uso de cimentaciones inadecuadas para las edificaciones. Al no efectuar los adecuados estudios geotécnicos en el área y por ende no ejecutar medidas para disminuir el riesgo de inestabilidad, se han generado problemas asociados al agrietamiento de muros, presencia de fallas y posible remoción en masa del talud, situación que mantiene en estado de alerta a la comunidad.

Además los factores geológicos, hidrológicos, y geomorfológicos afectan directamente la ocurrencia de deslizamientos en laderas, así mismo estos están sujetos a muchos grados de incertidumbre debido a que se pueden presentar diversos tipos de movimientos, velocidades, modos de falla, en materiales y condiciones geológicas diferentes. A esto se suman la confiabilidad de los datos para el análisis y las incertidumbres humanas, y de los modelos matemáticos utilizados para el análisis de la estabilidad. Al efectuar este análisis se tiene como finalidad evaluar el riesgo por inestabilidad de los proyectos ubicados en el fraccionamiento Rincón Toscano y en Lomas Conjunto Residencial; ambos en el área metropolitana de Tijuana; aplicando el software Geo-Slope como base para calcular el factor de seguridad y la posible magnitud de desplazamientos producidos en las zonas de equilibrio crítico, en el mismo lineamiento se calcula la amenaza y vulnerabilidad empleando los factores de valuación y en

última instancia se encuentra el riesgo para determinar a juicio del ingeniero geotécnico las medidas preventivas sobre los elementos vulnerables.

## **Capítulo I: Apoyo técnico para el análisis y evaluación del riesgo por inestabilidad del terreno en proyectos de desarrollo habitacionales en la ciudad de Tijuana, México.**

### **1.1. Descripción de la empresa**

La Universidad de las Californias Internacional es una institución de Nivel Superior que proporciona un servicio educativo profesional con sentido creativo, innovador, humanista y altamente competitivo con el respaldo de más de 23 años de excelencia académica y calidad total, ubicada en el Bulevard. Federico Benítez 460, Fraccionamiento Los Españoles en la ciudad de Tijuana, Baja California, México. Iniciando operaciones el 11 de junio de 1992, con trabajo arduo por más de dos décadas ha buscado expandir su oferta educativa, actualmente ofrece 13 carreras y 4 posgrados, entre los que destaca la carrera de cinematografía, única en la región. La Universidad presenta la filosofía referente al enriquecimiento cultural de la personalidad del alumno, de acuerdo a su creatividad y al hábito del estudio continuo. (Universidad de las Californias Internacional [UDCI], 2017)

**1.1.1. Misión.** Es una Institución de Nivel Superior con un servicio educativo profesional con sentido creativo, innovador, humanista y altamente competitivo, contribuyendo al desarrollo y la difusión del conocimiento por lo cual nos comprometemos en forjar profesionistas de calidad y excelencia, con una formación de liderazgo en la sociedad. (UDCI, 2017).

**1.1.2. Visión.** Desde principios de la formación se ofrece una visión integral de la carrera profesional elegida para que el alumno perciba la unidad de todas las materias y la razón de ser de cada Disciplina en el contexto global del Plan de estudios. En la visión humanística de UDCI, la persona es el creador y organizador de su entorno social porque contribuye y se sirve de los factores en que se circunscribe su actuación. (UDCI, 2017).

**1.1.3. Objetivos:** La formación integral, sistemática y jerarquizada de la ciencia teniendo como base los principios filosóficos, humanísticos y positivos que son fruto de la razón y de la investigación del hombre y que forman parte del patrimonio cultural de la humanidad. (UDCI, 2017).

La búsqueda de la excelencia integral es el objetivo general de la estancia de los jóvenes en la Universidad de las Californias Internacional. (UDCI, 2017).

**1.1.4. Descripción de la estructura organizacional.** La Universidad cuenta con una estructura sencilla que integra facultades, oficinas de soporte académico y oficinas de soporte administrativo. Las facultades se concentran en sus propósitos de docencia e investigación e intereses de excelencia académica y curricular.

Integran la interacción entre el profesorado y los estudiantes a través de direcciones de programas y de departamentos académico, el organigrama se presenta en la Figura 1, resaltando la dependencia donde se desarrollará la pasantía.

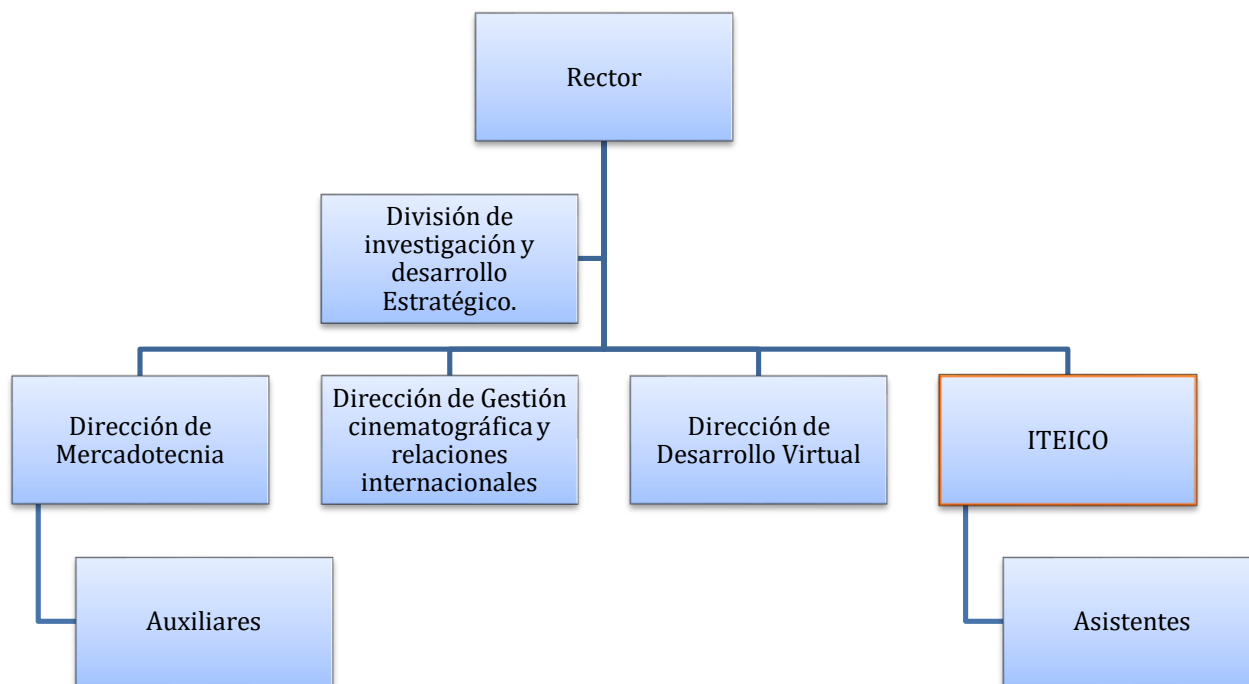


Figura 1. Estructura organizacional de la Universidad de las Californias Internacional.

Nota fuente: UDCI.

**1.1.5. Descripción de la dependencia.** Dentro del área de la división de investigación y desarrollo estratégico se encuentra el Grupo Iteico Euroamericano como órgano intermedio para proveer el espacio necesario en el desarrollo de la pasantía.

El Grupo Iteico Euroamericano es una dependencia intermedia para la ejecución de las pasantías, es un equipo multidisciplinario especializado en investigaciones aplicadas y proyectos de ingeniería, cuya visión se enfoca en: Servir a los clientes ofreciéndoles soluciones integrales y una competitiva e innovadora combinación de calidad; Investigación e innovación tecnológica con alta pertinencia social, vinculada a las problemáticas que afectan a la comunidad y su entorno, y alianzas estratégicas con otras compañías que fortalecen la estrategia de investigación. (Grupo Iteico Euroamericano [GIE], 2017).

Objetivos: Desarrollar y promover la investigación científica en diferentes organizaciones, asociaciones e instituciones públicas o privadas en el marco de convenios o acuerdos que se establezcan.

Producir, promocionar y comercializar instrumentos y equipos para estudiar el comportamiento del terreno, las estructuras y el entorno.

Establecer convenios e intercambios con diferentes instituciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras.

Organizar, desarrollar, patrocinar o promocionar eventos de carácter científico técnico nacionales e internacionales en diferentes áreas del conocimiento.

Impartición de conferencias, asesorías y consultorías profesionales, entrenamientos científico-técnicos y adiestramientos profesionales en las diferentes esferas del conocimiento que se trabajan en el Grupo. (GIE, 2017)

El Grupo Iteico Euroamericano ofrece los servicios en las ramas de:

a) Ingeniería del terreno: Realizando las actividades de instrumentación geotécnica, modelación, consultoría, estabilidad de taludes, zonificación del riesgo y topografía de precisión.

b) Instrumentación: Geotécnica y en Estructuras. c) Geomática: Empleando Sistemas LiDar Terrestre y Aéreo. (GIE, 2017)

## 1.2. Diagnóstico inicial de la dependencia

**Tabla 1.** Matriz DOFA

*Matriz DOFA.*

	<b>Fortalezas (F)</b>	<b>Debilidades (D)</b>
<b>Ambiente Interno</b>	Personal calificado y comprometido con la empresa.	Dependencia de terceras empresas para realizar algunos trabajos.
<b>Ambiente Externo</b>	Empresa líder en instrumentación y control geotécnico en la región. Vinculación con la Universidad de las Californias Internacional.	Plantilla de personal reducida.
<b>Oportunidades (O)</b>	<b>FO</b>	<b>DO</b>
Capacitación de empleados y clientes. Ampliar la oferta de servicios científico-técnicos. Reducir el riesgo por inestabilidad del terreno en las comunidades e infraestructura.	Promocionar servicios científico – técnicos a empresas y personal de la comunidad. Disponibilidad de sistemas de monitoreo y alertas tempranas a estructuras e infraestructuras.	Estudios de riesgo por inestabilidad del terreno y zonificación del mismo. Elaborar mapas de riesgo por inestabilidad en zonas urbanas, sub-urbanas e infraestructura.
<b>Amenazas (A)</b>	<b>FA</b>	<b>DA</b>
Reducción de la inversión en el sector constructivo. Insuficiente trabajo en la prevención – mitigación por parte de las autoridades de protección civil.	Capacitar al personal de la empresa en la aplicación de tecnologías y conocimientos en otros sectores (minería, energético, etc.). Ofrecer capacitación relacionada con la prevención – mitigación de eventos y desastres producidos por inestabilidad del terreno.	Identificación de la problemática relacionada con la inestabilidad del terreno existente en la región. Elaborar un plan de acciones y de medidas estructurales, encaminado a reducir el riesgo por inestabilidad en el terreno.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano modificado por Autor.

**1.2.1. Planteamiento del problema.** El incremento mundial de la población ha provocado que todas las ciudades sobrelleven un rápido crecimiento, “recientemente algunos autores han insistido en la importancia de la geografía y la dotación natural de recursos como determinantes del crecimiento” (Galvis y Meisel, 2000). Los recursos, geografía, cercanía al mar, y frontera con Estados Unidos han contribuido a que Tijuana sea la ciudad más poblada del estado de Baja California, y la quinta de México con aproximadamente 1’900.124 habitante. Adicionalmente como lo menciona Gutiérrez (1977) “la inmigración ha sido un proceso circunstancial que ha afectado a estratos de la población” (p.1) aumentando considerablemente la cantidad de personas residentes en la ciudad. Teniendo en cuenta lo anterior, debido al incremento poblacional que venido teniendo la ciudad se generan construcciones en sitios potencialmente inestables, los antecedentes demuestran alta probabilidad de ocurrencia para deslizamientos, deslaves, asentamientos y agrietamientos, sin embargo las personas continúan construyendo en estos sectores.

La ciudad de Tijuana, al igual que el resto de Baja California presenta un alto déficit de inestabilidad, con una cantidad considerable de viviendas en el municipio que están catalogadas como de alto riesgo, ya sea a causa de deslizamiento, inundaciones y avenidas rápidas de agua, estas viviendas en general se ubican en zonas de laderas y cañones. El suelo en la región es considerado por los geólogos como “joven” (Cervantes, 2017), que posee características no tan favorables para las viviendas que se construyen en estas zonas, pues se caracteriza principalmente por ser poroso, inestable y ceder con facilidad al movimiento, principalmente en el borde de las lomas donde se asientan familias; en conjunto estas condiciones aumentan en forma considerable el potencial de riesgo.



Desastres asociados a la inestabilidad del terreno como deslizamientos, agrietamiento, asentamientos, entre otros; generan impactos negativos en el ámbito socio-económico y ambiental. Se pueden ocasionar accidentes generando lesiones y pérdidas de vidas en algunos casos, daños a la estructura arquitectónica de las propiedades, etc., por lo tanto es indispensable realizar estudios geotécnicos para verificar que el subsuelo presente las características físico mecánicas necesarias para no ser inestable. El riesgo geotécnico se evaluó en dos proyectos ubicados en los fraccionamientos Rincón Toscano y Lomas Conjunto Residencial, los cuales presentaron fallencias iniciales como: agrietamiento en las casas y en la vía, humedad, asentamientos en la calle conjunta y una fractura en forma de grieta semicircular sobre el sector. Teniendo en cuenta los problemas mencionados anteriormente presentes en la ciudad de Tijuana, se realizan investigaciones a zonas potencialmente inestables para estudiar el comportamiento del terreno y brindar recomendaciones necesarias a los interesados.

### **1.3. Objetivos**

**1.3.1. Objetivo General:** Apoyar en forma técnica el proceso de análisis y evaluación del riesgo en proyectos de desarrollos habitacionales al Grupo Iteico Euroamericano en la ciudad de Tijuana, México, mediante el análisis de estabilidad cuantitativo y cualitativo de la estabilidad.

**1.3.2. Objetivos Específicos.** - Realizar una revisión de las zonas correspondientes para identificar el riesgo por inestabilidad según lo planteado en los proyectos.

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo con el fin de identificar los factores condicionantes de inestabilidad.

- Realizar un análisis de estabilidad cuantitativo y cualitativo en las áreas de estudio.
- Determinar el riesgo por deslizamiento en función de la amenaza y vulnerabilidad para los proyectos estudiados.
- Elaborar un manual instructivo para el análisis de la estabilidad del terreno utilizando el método de equilibrio límite.

#### 1.4. Descripción de las actividades a desarrollar

**Tabla 2.**

*Actividades a desarrollar para el cumplimiento de la pasantía*

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades a desarrollar
Apoyar técnicamente el proceso de análisis y evaluación del riesgo en proyectos de desarrollos habitacionales al Grupo Iteico Euroamericano en la ciudad de Tijuana, México.	Realizar una revisión de las zonas correspondientes para identificar el riesgo por inestabilidad según lo planteado en los proyectos.	Localizar el área de estudio en la ciudad de Tijuana y describir su uso actual. Investigar los antecedentes y la problemática del sector. Efectuar visitas de campo e inspección visual al terreno. Realizar el levantamiento topográfico y fotogramétrico.
	Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo con el fin de identificar los factores desencadenantes y detonantes de inestabilidad.	Describir la geología regional y local en la ciudad de Tijuana. Examinar la información tectónica y sísmica en el área. Analizar la exploración del subsuelo y ejecutar el perfil stratigráfico a partir de los sondeos efectuados. Examinar las pruebas de laboratorio para conocer las características de los suelos que conforman el área de estudio. Identificar los factores desencadenantes y detonantes presentes en las zonas de estudio.

**Tabla 2.***Actividades a desarrollar para el cumplimiento de la pasantía (Continuación)*

Realizar un análisis de estabilidad cuantitativo y cualitativo en las áreas de estudio.	<p>Conocer la interpretación de un análisis de estabilidad.</p> <p>Comprender el software y los métodos empleados en el análisis de estabilidad.</p> <p>Elegir las secciones críticas en la ladera para modelar con el software.</p> <p>Aplicar el software Slope-W para modelar la ladera utilizando el método de equilibrio límite y tenso - deformacional.</p> <p>Emplear los factores de valuación para analizar la estabilidad de la ladera.</p>
Determinar el riesgo por deslizamiento en función de la amenaza y vulnerabilidad para los proyectos asignados.	<p>Evaluar la amenaza de un posible deslizamiento</p> <p>Estimar la vulnerabilidad física de los proyectos.</p> <p>Determinar el riesgo por deslizamiento en la zona de estudio.</p> <p>Analizar los resultados obtenidos.</p>
Elaborar un manual instructivo para el análisis de la estabilidad del terreno utilizando el método de equilibrio límite.	<p>Revisión bibliográfica de los conceptos acordes a la temática.</p> <p>Estudiar los métodos de equilibrio límite (Estático y dinámico) empleados en el análisis de estabilidad.</p>

Nota fuente: Autor del proyecto.

## Capítulo 2. Enfoques Referenciales

### 2.1. Enfoque conceptual.

La amplia gama del significado de las palabras en los diferentes campos de estudio provoca confusión sobre el mensaje expuesto, un solo vocablo cuyo significado varié puede traer grandes problemas para los profesionales, puntualmente en este caso el lector puede encontrar la coordinación y coherencia de conceptos y preposiciones deficiente, por ende se hace necesario la definición de términos más utilizados para facilitar mejor la comprensión e interpretación del presente informe.

**2.1.1. Riesgo.** Según Hogarth (2006) “la palabra riesgo es tan antigua como la propia existencia humana. Podemos decir que con ella se describe, desde el sentido común, la posibilidad de perder algo (o alguien) o de obtener un resultado no deseado, negativo o peligroso”.

En términos cualitativos, como lo expone Guevara, Quaas y Zepeda (2001) se entiende por riesgo la posibilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La posibilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores. En forma cuantitativa, el riesgo o nivel de perdidas esperado resulta de la interacción que existe entre la amenaza natural (H) o probabilidad de que ocurra un evento

natural extremo, y la vulnerabilidad (V) de los elementos expuestos ante el fenómeno natural (Cardona, et al., 2003).

Dicho lo anterior, es conveniente conocer las causas.

Un riesgo puede tener una o más causas y, de materializarse, uno o más impactos. Una causa puede ser un requisito especificado o potencial, un supuesto, una restricción o una condición que crea la posibilidad de consecuencias tanto negativas como positivas. Los riesgos positivos y negativos se conocen normalmente como oportunidades y amenazas. Al ejecutar un proyecto puede aceptarse si los riesgos se encuentran dentro de las tolerancias y están en equilibrio con el beneficio que puede obtenerse al asumirlos. (Project Management Institute, 2013, p. 310).

Debido a las diversas clasificaciones de riesgos para los desastres existentes en este documento se utiliza el implantado en México, donde “el Sistema Nacional de Protección Civil ha adoptado la clasificación basada en el tipo de agente perturbador que los produce. Se distinguen así los riesgos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y socio-organizativo” (Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2001, p. 8).

**2.1.2. Gestión del Riesgo.** Es necesario efectuar una buena gestión ante los riesgos que se presentan en cada país, para ello es necesario “una serie de actividades diseñadas para reducir las pérdidas de vidas humanas y la destrucción de propiedades e infraestructuras. Los resultados de este proceso continuo de manejo pueden ser divididos en:

- Medidas para disminuir el riesgo de desastres a largo plazo (prevención), eliminando sus causas como la intensidad de los fenómenos, la exposición o el grado de vulnerabilidad.

- Medidas de preparación cuyo objeto es asegurar una respuesta apropiada en caso de necesidad, incluyendo alertas tempranas oportunas y eficaces, así como evacuación temporal de gente y bienes de zonas amenazadas.

- Medidas de respuesta cuando está sucediendo o ha sucedido un desastre (manejo o gestión de desastres, recuperación, reconstrucción)” (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2002).

En este lineamiento de ideas, “la gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse” (Keipi, Mora, & Bastidas, 2005, p. 8).

**2.1.3. Riesgo Geológico.** La expresión hace referencia a un concepto eminentemente de carácter técnico, cuya aplicación buscar reducir el nivel de pérdidas (materiales y humanas) ocasionadas por fenómenos naturales de origen geológico. (Rendón & Vargas, 1998, p. 26).

Según una de sus primeras definiciones, formulada por el Geological Survey de Estados Unidos, Brusi y Roque (1998) expone el riesgo geológico como:

Cualquier condición geológica, proceso o suceso potencial que suponga una amenaza para la salud, seguridad o bienestar de un grupo de los ciudadanos o para las funciones o economía de una comunidad. Los riesgos geológicos no pueden plantearse desde la simple descripción de los materiales o procesos naturales. No se conciben, tampoco, al margen de la afectación que éstos pueden ocasionar sobre las personas, sobre sus obras o, en general sobre el equilibrio ecológico. (p. 128).

En la Tabla 3 se muestra la clasificación de los riesgos geológicos, los cuales suelen subdividirse en función de la naturaleza de los procesos actuantes, es decir según su origen.

**Tabla 3.**

*Tipos de riesgos geológicos*

<b>Riesgos derivados de la dinámica interna</b>	<b>Riesgos derivados de la dinámica externa</b>
Riesgo sísmico	Riesgo de erosión del suelo
Riesgo volcánico	Riesgos asociados a la dinámica fluvial y torrencial
Riesgo de Tsunamis	Riesgos asociados a los movimientos de ladera
Riesgo de estructuras halocinéticas	Riesgo de aludes de nieve
	Riesgos de hundimiento del terreno
	Riesgo de erosión y sedimentación eólica
	Riesgos asociados a la dinámica marina
	Riesgos meteorológicos
	Riesgo de sequía y desertización

Nota fuente: Brusi y Roque, p. 131.

**2.1.4. Amenaza.** Según Cardona, (1993), se define como

Un factor de riesgo externo de un sujeto o sistema, representado por un peligro latente asociado con un fenómeno físico de origen natural, de origen tecnológico o provocado por el hombre, que puede manifestarse en un sitio específico, durante un período de exposición determinado, produciendo efectos adversos a las personas, los bienes y/o el medio ambiente. Matemáticamente expresado como la probabilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un evento con una cierta intensidad, en cierto sitio y en cierto período de tiempo.

En síntesis, la amenaza se considera como un elemento externo, que representa peligro para el hombre y su infraestructura, la cual se debe precisar lo más claro posible en cuanto a:

Probabilidad de ocurrencia, sitio, intensidad y/o magnitud, área de influencia y/o recurrencia.

Actualmente la definición de amenaza más aceptada a nivel internacional es la referenciada por

Cardona Omar (1993) al inicio del numeral. (Rendón & Vargas, 1998, p. 18). Adicionalmente se agrega que en la valoración cuantitativa o cualitativa de la amenaza, la determinación de sus variables e interrelaciones representa un proceso complejo.

**2.1.5. Vulnerabilidad.** Se define como “La Predisposición intrínseca de un elemento o sujeto a sufrir daño, debido a posibles acciones externas” o de otra forma “Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo, resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso” (Rendón & Vargas, 1998).

Para que una comunidad sea vulnerable a una amenaza, según Cuanalo y Gallardo (2016) se precisa:

- Que exista la probabilidad real de que el evento cause daño o destrucción (0: sin daño, 1: destrucción total).
- Que existan comunidades o elementos expuestos al evento (personas, bienes económicos, recursos naturales, etc.).
- Que los elementos expuestos sean frágiles o susceptibles a experimentar daño por el evento.

Para evaluar adecuadamente la vulnerabilidad de una comunidad ante una Amenaza potencial vinculada con la ocurrencia de un fenómeno natural, se deben tomar en cuenta los diferentes elementos expuestos, estos incluyen a las personas, la infraestructura de la comunidad, el espacio geográfico y los recursos naturales, las actividades para el funcionamiento normal



como el transporte, las comunicaciones, los suministros de energía, los servicios públicos, la economía, las finanzas, el comercio, etc., todos ellos pertenecientes a lo que se conoce como la vulnerabilidad física y funcional. (Gómez et al citado por Cuanalo, 2016, p.33).

**2.1.6. La Exposición o Grado de Exposición.** Se refiere a la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados, se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños. (Guevara, Quaas, & Zepeda, 2001, p. 11). El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento, desarrollo e infraestructura de la población. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto mayor será el riesgo que se enfrenta. Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro.

En conclusión se afirma que “la exposición es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto o sistema expuesto al riesgo” (Centro Nacional para la Investigación del fenómeno de El Niño, 2004).

**2.1.7. Prevención.** Cuando los eventos naturales o antrópicos pueden ser controlables por las acciones del hombre, éstas se convierten en medidas de prevención, como en el caso de construcción de diques, estructuras de contención y reforestaciones dirigidas. (Cardona citado por Cupuerán M, 2016, p.31 - 32).

Según Brusi y Roqué (1998), “la prevención es el conjunto de medidas basadas en la predicción y previsión que buscan disminuir al mínimo los daños económicos o sociales que puede producir un determinado riesgo natural” (p.133). En el caso de estudio, se deben tomar las medidas preventivas necesarias para atenuar los impactos negativos de los procesos geológicos en la comunidad, Ogura y Soares (2000) afirman que las actividades comprenderían “la mecánica de los procesos, los estudios de análisis de riesgos y la formulación de métodos, técnicas y acciones de prevención de desastres” (p.117).

**2.1.8. Mitigación.** Según Cupuerán (2016) “son aquellas acciones emprendidas para reducir el impacto adverso de las amenazas y la degradación ambiental, se clasifican como estructurales y no estructurales ejecutadas una vez que el territorio ha sido impactado” (p.32). En general, estas acciones “se refieren en el primer caso a la intervención física de la amenaza y vulnerabilidad” (Cupuerán, 2016, p. 32) a través de la construcción o fortalecimiento de las obras de ingeniería con el fin de proteger la población y sus bienes; “para el segundo caso se indica al fortalecimiento institucional, educación, preparación de la comunidad, regulación de uso de suelo, entre otros”. (Cardona citado por Cupuerán M, 2016, p. 32).

“La mitigación del riesgo supone: i) reducir la vulnerabilidad de los elementos en riesgo y ii) modificar la exposición del lugar ante el peligro o cambiar su función”. (Millán, 2005, p. 22).

**2.1.9. Estudios Geotécnicos.** Como punto de partida, se proponen dos definiciones sencillas, para comprender a cabalidad la definición: Según Lomoschitz (2005): “El estudio geotécnico es el conjunto de actividades que permiten obtener la información geológica y geotécnica del terreno, necesaria para la redacción de un proyecto de construcción” (p. 2) y según Rodríguez O. (1984) “El estudio geotécnico se realiza previamente al proyecto de un edificio y tiene por objeto determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y condiciones de cimentación” (Rodríguez Ortiz citado por Lomoschitz, 2005, p. 2).

Es necesario para la comprensión del documento asimilar el conjunto de actividades que comprenden un estudio geotécnico, según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010) éstas implican “el reconocimiento de campo, la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería” (p. 3), los cuales son “necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo, de tal forma que se garantice un comportamiento adecuado de la edificación, protegiendo ante todo la integridad de las personas ante cualquier fenómeno externo” (Ley 400, 1997).

**2.1.10. Factor de Seguridad.** Para determinar "si una ladera o talud es estable bajo las condiciones que prevalecen en un determinado sitio, generalmente se utiliza el término factor de seguridad” (León & González, 2013, p. 8), el valor aceptable del mismo se selecciona tomando en cuenta las consecuencias o riesgos que podría causar el deslizamiento.

El valor del Factor de Seguridad (F.S.) es fundamental, “cuando éste es igual a 1,00, el talud está en un estado de falla incipiente” (Escobar & Duque, 2016, p. 72), es decir la condición se está iniciando y son necesarias medidas estructurales para mitigar el continuo desarrollo, “generalmente un valor de 1,40 como factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable” (Escobar & Duque, 2016, p. 72). Para finalizar, se concluye con la afirmación de Suarez (1998) “El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña” (p. 123).

**2.1.11. Inestabilidad.** “La inestabilidad natural del subsuelo es una amenaza natural resultado de la interacción de variables abióticas, que se puede determinar y localizar geográficamente mediante estudios de carácter cualitativo” (Zuñiga, 2011, p. 2) Dependiendo del lugar donde se resida, ésta puede ser calificada con expresiones de baja, media y alta peligrosidad.

Es común encontrar el origen de la inestabilidad del terreno natural en zonas montañosas, donde la superficie presenta diversos grados de inclinación. “El grado de inestabilidad está relacionado con el origen geológico de las masas térreas, el problema de inestabilidad se puede definir como la pérdida de la capacidad del terreno natural para auto sustentarse, lo que deriva en reacomodos y colapsos del mismo”. (CENAPRED, 2001, p. 80).

**2.1.12. Factores desencadenantes para la inestabilidad.** Los factores que contribuyen a producir y a disparar un movimiento en masa son múltiples; rara vez actúa uno solo.

Hay factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una masa de terreno, como puede ser la topografía regional con sus pendientes naturales, la geometría propia de los taludes, la naturaleza de la roca y/o suelo, la presencia de discontinuidades en una masa rocosa y la estratificación de la roca (orientación y ángulo de inclinación de la roca), la presencia de depósitos profundos arcillosos en la secuencia litológica, las características mecánicas de la roca (resistencia a la deformabilidad y a la compresibilidad), etc. (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2002, p. 28).

El desarrollo de la ejecución del documento se efectuó en México, donde existen “las condiciones orográficas, climatológicas, de tipos de formaciones geológicas y de explosión demográfica propicias para que se presenten, problemas relacionados con la inestabilidad y colapso de laderas naturales” (CENAPRED, 2001, p. 81). La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (2002) estipula que la inestabilidad de terrenos está mayormente condicionada por solo tres factores: “las características geológicas, el clima y la geomorfología del suelo (pendientes fuertes). Incluyendo además las actividades humanas también pueden agravar o crear condiciones de inestabilidad aún en áreas que no presentan características propicias para su formación” (p. 24) (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2002).

**2.1.13. Factores de Valuación.** Desde la perspectiva de Cuanalo, Oliva y Gonzáles (2007) “los factores de valuación son un conjunto de parámetros que permiten evaluar la influencia de los diferentes factores condicionantes y desencadenantes que intervienen en la estabilidad de taludes y laderas”.

Los factores de valuación son factores importantes al momento del análisis, donde se describen con el objetivo de “determinar las características intrínsecas (morfología, topografía, geología, mecánica de suelos, hidrogeología y vegetación) y las características regionales del sitio (climatología, sismicidad, erosión y socavación, características del suelo superficial, características del sistema de drenaje y la influencia de la actividad humana)” (Gallardo , Guerrero , & Macgregor, 2013, p. 70) para el análisis cualitativo de la estabilidad. Para la correcta evaluación del riesgo, a cada una de estas características se le asigna un factor de valuación.

Las características de cada factor deben tipificarse de manera adecuada para involucrar su efecto en el comportamiento; una manera de hacerlo es asignándoles un intervalo de valores que indique su efecto sobre la estabilidad de una ladera, con valores ponderados comprendidos entre 0 y 1, el primero corresponde a un efecto nulo o mínimo sobre la estabilidad (no influye o influye muy poco) y el segundo, al de mayor impacto sobre la misma (influye significativamente). Los efectos no extremos se evalúan con valores intermedios. (Cuanalo, Oliva, & González, 2007).

**2.1.14. Metodologías para el análisis de la estabilidad.** “Los primeros estudios de estabilidad de taludes fueron realizados a principios de este siglo con la aplicación del llamado método elástico” (León & González, 2013, p. 25); además “dentro de las metodologías disponibles, se encuentran los métodos de límite de equilibrio, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídas de roca y flujos, entre otros” (Suarez J. , 2010, p. 128).

En base a la experiencia de trabajar con estos métodos se han averiguado estrategias de su funcionamiento, como lo es que “los métodos numéricos son la técnica que muestra la mejor

aproximación al detalle” (Suarez J. , 2010), también que “los métodos de equilibrio límite, son más sencillos de utilizar, permiten analizar los casos de falla traslacional y de falla rotacional, así como las fallas de inclinación y las fallas en cuña. Igualmente permiten el análisis combinado con técnicas probabilísticas”. (Stead citado por Suarez, 1998, p. 128). “Los métodos de cálculo, para definir la estabilidad, establecen un mecanismo cinemático de falla, extraído naturalmente de la experiencia, con base en el cual se analizan las fuerzas tendientes a producir el movimiento” (Matteis, 2003, p. 10).

En el caso de los sistemas de falla complejos, es conveniente utilizar metodologías de modelación que tengan en cuenta los factores que producen los movimientos. “Los factores que generan el deslizamiento pueden ser complejos y muy difíciles de modelar; no obstante, con el objeto de analizar esas situaciones complejas, existen algunas herramientas utilizando elementos finitos, diferencias finitas, elementos discretos y modelos dinámicos”. (Suarez J. , 1998). En la Tabla 4 se presentan las metodologías más empleadas, sus ventajas y limitaciones más destacadas.

León y González (2013) afirman que los “métodos de cálculo utilizados para analizar la estabilidad de taludes y laderas se pueden clasificar en dos grandes grupos: métodos basados en el equilibrio límite de la masa de suelo que desliza y los que consideran las deformaciones del terreno” (p. 26).

**Tabla 4.***Métodos utilizados en la modelación de taludes.*

<b>Método</b>	<b>Parámetros utilizados</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Límite de equilibrio	Topografía de talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo – deformación continuos.	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elastoplásticas y de “creep”. Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de “creep”	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo – deformación elementos discretos.	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades, resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca.	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

Nota fuente: Suarez, 2010, p. 129.



**2.1.15. Análisis cualitativo del riesgo.** “Esta es la forma más simple de realizar un estudio de riesgo a deslizamientos, el cual incluye el adquirir el conocimiento de las amenazas, los elementos y sus vulnerabilidades, pero expresando los resultados en forma cualitativa” (Suarez J. , 1998, p. 370). Los diversos atributos pueden clasificarse o calificarse en tal forma que se expresa el riesgo en una forma prácticamente verbal”.

“La aplicación de métodos cualitativos para el análisis de riesgos está basado en la experiencia y observaciones de campo” (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2002, p. 10), donde las probabilidades de los eventos peligrosos son estimaciones, las vulnerabilidades y el riesgo son determinados también de forma relativa.

**2.1.16. Análisis cuantitativo del riesgo.** Según la Agencia Suiza para el desarrollo y la Cooperación (ASDC, 2002), “los métodos cuantitativos implican generalmente el uso de análisis estadísticos y probabilísticos para determinar la ocurrencia de los fenómenos, la vulnerabilidad de los elementos y el riesgo inducido” (p. 8), por ende el método a aplicar depende de la recurrencia del fenómeno y de su variación espacial.

En el análisis cuantitativo del riesgo, según Suarez (1998) se incluyen las siguientes actividades “análisis de amenazas, determinar los elementos en riesgo, analizar la vulnerabilidad y finalmente el riesgo” (p. 371).

“Los métodos cuantitativos pueden aportar, cuando son aplicables, un grado de objetividad superior a los cualitativos, sin embargo, la escasez de datos prohíbe generalmente su aplicación consecuente” (ASDC, 2002, p. 8).

**2.1.17. Talud.** Suarez (2010) expone la siguiente definición “es una masa de tierra que no es plana sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura, técnicamente se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente” (p. 1)

“En Ingeniería también se le conoce como cualquier cuerpo de tierra y/o rocas que se encuentran delimitando por una superficie inclinada y forma un ángulo determinado respecto a la horizontal”. (CENAPRED, 2001)

**2.1.18. Deslizamientos.** Cruden (1990) propone una definición simple “deslizamiento es un movimiento de roca, tierra y detritos ladera abajo” (Cruden citado por Ogura y Soares, 2000, p. 127).

Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc. Aunque en todos los sistemas de montañas ocurren deslizamientos, algunas regiones son más susceptibles a las amenazas por movimientos del terreno. (Suarez, 2010).

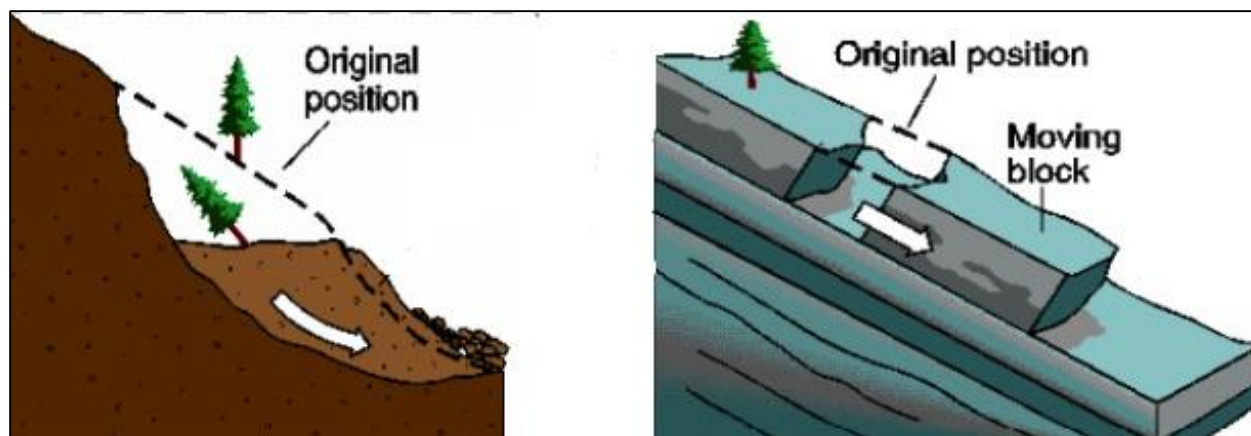


Figura 2. Principales superficies de rotura, derecha: rotacional – Izquierda: Traslacional.

Nota fuente: León y González.

**2.1.20.1. Deslizamientos Rotacionales.** Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava, es decir, hacia arriba en forma de cuchara o concha, definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas (Figura 2 - izquierda) A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas.

**2.1.20.2. Deslizamientos Traslacionales.** Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplaza hacia fuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie principal más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo (Figura 2 - izquierda). Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, están definidos por superficies débiles en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de cambio de estado de meteorización en las rocas. (CENAPRED, 2001)

## **2.2. Enfoque legal**

Todo proyecto está ligado a una participación política, por ende es regido por entidades comprometidas en velar por el buen manejo de los recursos públicos, las cuales a su vez han establecido una normativa que se debe cumplir a cabalidad para que el orden de la sociedad no se vea afectado ni degradado, por consiguiente la parte interesada debe garantizar el acatamiento de las condiciones.

### **2.2.1. La Constitución Política:**

**2.2.1.1. Artículo 27.** Establece que “la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. (...) Se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población. (Const., 1917, art. 27)

**2.2.2. Ley General de Protección Civil:** Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de mayo de 2000.

**2.2.2.1. Artículo 3.** Los tres niveles de gobierno tratarán en todo momento que los programas y estrategias dirigidas al fortalecimiento de los instrumentos de organización y funcionamiento de las instituciones de protección civil se sustenten en un enfoque de gestión integral del riesgo.

**2.2.2.2. Artículo 15.** El objetivo general del Sistema Nacional es el de proteger a la persona y a la sociedad y su entorno ante la eventualidad de los riesgos y peligros que representan los agentes perturbadores y la vulnerabilidad en el corto, mediano o largo plazo, provocada por fenómenos naturales o antropogénicos, a través de la gestión integral de riesgos y el fomento de la capacidad de adaptación, auxilio y restablecimiento en la población.

**2.2.2.3. Artículo 78.** Los particulares que por su uso y destino concentren o reciban una afluencia masiva de personas, están obligadas a contar con una unidad interna de protección civil y elaborar un programa interno, en los términos que establezca esta Ley y su reglamento, sin perjuicio de lo señalado en los respectivos ordenamientos locales. (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2012).

### **2.2.3. Reglamento de acciones de Urbanización para el municipio de Tijuana.**

Publicado en el Periódico Oficial No. 21, sección I, del 5 de mayo de 2015, Tomo CXXI; el cual establece las disposiciones para autorizar, controlar y vigilar el desarrollo de las acciones de urbanización en el Municipio de Tijuana, Baja California de conformidad con las facultades que tiene este Ayuntamiento para autorregularse, derivadas de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Baja California y de la Ley del Régimen Municipal para el Estado de Baja California.

#### **2.2.4. Reglamento para la excavación, extracción y nivelación de terrenos en el**

**Municipio de Tijuana.** Publicado en el Periódico Oficial No. 26, sección I, de fecha 25 de junio de 1993, tomo C. Es propósito de este Reglamento salvaguardar la vida, bienes, y bienestar públicos fijando normas para regular la excavación, extracción y nivelación de terrenos públicos y privados.

#### **2.2.5. Normativa para pruebas de Laboratorio.**

- ASTM D – 1557 – 02: Métodos de prueba estándar para las características de compactación de laboratorio del suelo usando esfuerzos modificados.
- ASTM D – 1586: Método de Prueba Estándar para la penetración Estándar (SPT).
- ASTM C – 136: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos
- ASTM D – 2487: Práctica estándar para clasificación del Suelo.

**2.2.6. Reglamento de la Ley de edificaciones del estado de Baja California.** Publicado en el periódico oficial N° 16. De fecha 10 de junio de 1976, Sección primera.

## Capítulo 3. Informe de Cumplimiento

### 1.5.3.1. Presentación de resultados.

El Grupo Iteico Euroamericano es una dependencia que trabaja realizando investigaciones en diferentes proyectos ubicados en la ciudad de Tijuana para estudiar el comportamiento del terreno, las estructuras y el entorno, de ser necesario propone recomendaciones cuando el análisis arroja un alto grado de riesgo. A continuación se mencionan los proyectos asignados para el desarrollo de la pasantía con necesidad de evaluar el potencial del riesgo, donde se apoyó en la obtención de resultados y análisis de los mismos para la posterior toma de decisiones.

#### **Proyecto N°1: Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano.**

**Objetivo:** La consultoría efectuada por el Grupo Iteico Euroamericano tuvo como principal objetivo analizar la estabilidad del terreno en un sector del Fraccionamiento “Rincón Toscano” con el propósito de modelar y evaluar el riesgo por inestabilidad, y proponer un programa de instrumentación para el monitoreo del terreno y las estructuras.

#### **Proyecto N°2: Diagnóstico, evaluación y modelación del riesgo por inestabilidad de una ladera en el sector norte del fraccionamiento “Lomas Conjunto Residencial”, de la delegación “La Mesa” en la ciudad de Tijuana.**

**Objetivo:** El objetivo general del proyecto fue diagnosticar, modelar y evaluar el riesgo por inestabilidad de laderas en sector norte del fraccionamiento “Lomas Conjunto Residencial”, mediante la realización de estudios geológicos y geotécnicos y de vulnerabilidad.

### 3.1.1. Realizar una revisión de las zonas correspondientes para identificar el riesgo por inestabilidad según lo planteado en los proyectos.

#### 3.1.1.1. Localizar el área de estudio en la ciudad de Tijuana y describir su uso actual:

En primera instancia se elaboró la ubicación del área de estudio a través de herramientas computacionales, como lo es Google Earth, planteando un polígono tentativo del área con posibilidad de presentar riesgo por deslizamiento teniendo en cuenta la topografía, sin embargo solo es un estimativo, en la misma plataforma se evalúan las alturas para conocer las más críticas y su ubicación. El uso actual del terreno de ambos proyectos según el programa de ordenamiento territorial de la Zona Metropolitana de Tijuana-Tecate-Rosarito-Ensenada corresponde a una zona de actividad residencial con afectación por riesgo geológico (Gobierno de Estado, s.f.). En la figura 6 y 7 se muestra la ubicación de los proyecto en los planos de la ciudad de Tijuana.



Figura 3. Ubicación de la ciudad de Tijuana en México.

Nota fuente: Autor del proyecto.



Proyecto N°1: El área de estudio corresponde a un polígono de forma irregular de aproximadamente 10 hectáreas ubicado inmediatamente al sur del Fraccionamiento Cumbres de Juárez en la Delegación centro de la ciudad de Tijuana, Baja California. Específicamente, el sitio consiste en un terreno baldío en forma de cañada ubicado entre el Fraccionamiento Cumbres de Juárez y el Fraccionamiento Laderas Monterrey; se encuentra delimitado al Norte por las Avenida Paseo Cumbres De Juárez y calle Cumbres De La Tarahumara, al sur por el Fraccionamiento Laderas Monterrey, al este por un lote baldío en forma de cañada que termina en el Fraccionamiento Laderas Monterrey y al oeste por edificios de condominios de 4 niveles, lo cual se observa en la Figura 4.



Figura 4. Ubicación del proyecto N°1 con sus delimitaciones.

Nota fuente: Google Earth modificado, 2017.

• Proyecto N°2: El sitio de estudio se localiza en el centro-sur de la ciudad de Tijuana, en el sector norte del “Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial” de la “Delegación La Mesa”, cuyas coordenadas son:  $32^{\circ} 29' 15.65''$  de latitud y  $116^{\circ} 57' 29.34''$  de longitud. El terreno se encuentra delimitado como se ve en la Figura 5, al Norte con el fraccionamiento Las Lomas Huertas, al sur con el fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial, Hacienda Acueducto y El Valle, al este con la calle Cayumito y al oeste con un terreno baldío.



Figura 5. Ubicación del proyecto N°2 con sus delimitaciones.

Nota fuente: Google Earth modificado, 2017.

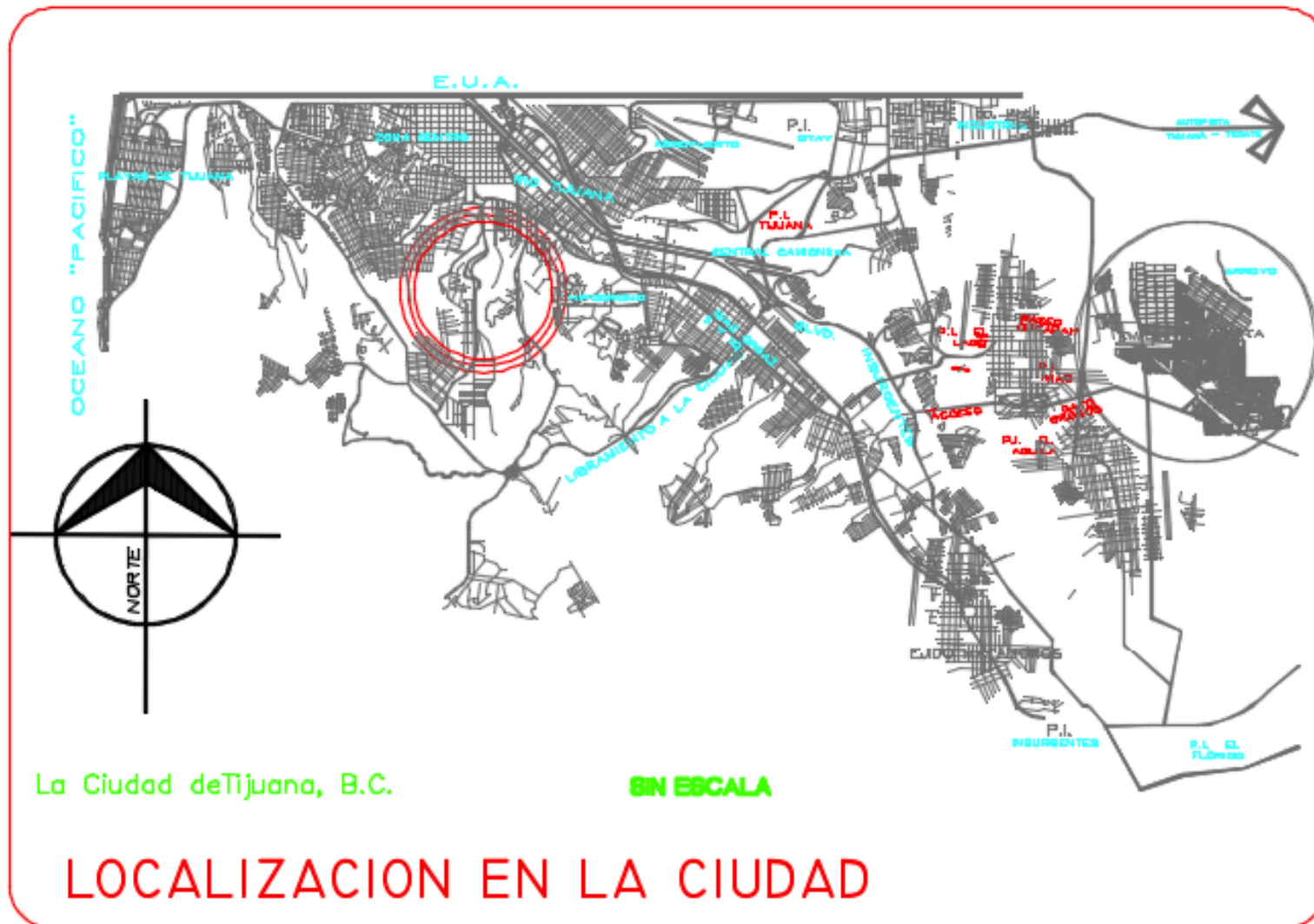


Figura 6. Localización del Proyecto N°1 en la ciudad de Tijuana B.C.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.



**3.1.1.2. Investigar los antecedentes y la problemática del sector.** Los antecedentes brindan la noción del comportamiento del terreno a través del tiempo cuyo parámetro es significativo al analizar el riesgo presente en un sector; el estudio del diagnóstico ofrece información para prever los posibles accidentes geológicos asociados a los fraccionamientos cercanos.

Tal ha sido la trascendencia de los deslizamientos en la ciudad que los principales interesados en evitar las catástrofes solicitan estudios geotécnicos y monitoreo de la zona, el Grupo Iteico Euroamericano en asociación con la Universidad de las Californias Internacional brinda servicio a la comunidad con el fin de estudiar el comportamiento del terreno, las estructuras y el entorno.

- Antecedentes proyecto N°1: El fraccionamiento Laderas de Monterrey desde su fundación ha tenido problemas de deslizamientos a causa de la construcción de grandes edificaciones en terrenos inestables con presencia de aguas subterráneas, las fechas de los primeros accidentes datan desde hace 40 años, sin embargo los más recientes acontecimientos fechan para el año 2010 y 2012; donde a causa de deslaves en el cerro más de once viviendas quedaron destruidas, ocho sufrieron daños al quedar sepultadas bajo grandes montículos de una masa de suelo, aparte se provocó hundimientos en la vía cuya profundidad alcanzó hasta el metro y medio por lo que se hizo necesario desalojar a 35 familias para garantizar su seguridad, (Heras, 2010), y además como medida preventiva se restringieron los permisos de construcción con el fin de minorar el riesgo por deslizamiento a las familias que se encuentran asentadas en la zona

(Anónimo, 2017). Actualmente la condición del área de estudio es favorable, no presenta actividades alarmantes para la comunidad, sin embargo se necesita el constante seguimiento para descartar cualquier movimiento en la ladera que perjudique a los habitantes.

- Antecedentes proyecto N°2: El interés por estudiar el sitio está dado por la aparición, en agosto de 2011, de una fractura en forma de grieta semicircular (Figura 8) sobre la calle Monte Alegre en su parte más alta.



Figura 8. Vista en planta de la fractura del terreno y sus consecuencias.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

Dicha grieta afectó directamente varias estructuras ubicadas en sus inmediaciones y se interpretaba como el inicio de un deslizamiento en la ladera. Según reportes de la Dirección Municipal de Protección Civil de Tijuana, (Protección Civil, 2016) existen antecedentes de movimientos de laderas cercanos, que afectaron severamente a viviendas de los fraccionamientos “Hacienda Acueducto” y “El Valle”, ubicados al suroeste y en el sector sur del propio fraccionamiento “Lomas Conjunto Residencial” ocurrió un gran deslizamiento (marzo de 2009) que cortó una calle y destruyó totalmente varias casas.

**3.1.1.3. Efectuar visitas de campo e inspección visual al terreno.** Puede afirmarse que las visitas técnicas es el método observacional característico de la ingeniería actual, por consiguiente requiere la observación, el registro del comportamiento de las obras en construcción o de las edificaciones finalizadas que presentan problemas, y el control de las variables o factores relevantes; exige, además, la comprensión del análisis e interpretación de los datos percibidos.

Como una medida necesaria se efectuaron visitas de inspección a los proyectos de estudio con el fin de conocer las características y las condiciones de las zonas para analizar, en la figura 9 y 10 se aprecian las visitas efectuadas en compañía del Dr. Aldo Oliva, director general del Grupo Iteico Euroamericano, y el Ingeniero David Martínez quienes nos brindaron asesoría en los temas de geología, geomorfología y explicación de la problemática presente. En cada visita se cumplió con las siguientes actividades:

- a) Registro fotográfico del estado de cada proyecto

b) Inspección de las condiciones de la zona.



Figura 9. Visita al proyecto N°1 en compañía del Dr. Aldo Oliva y el Ing. David Martínez

Nota fuente: Autor del proyecto, 2017.



Figura 10. Visita al proyecto N°2 en compañía del Ing. David Martínez

Nota fuente: Autor del proyecto, 2017.



### **3.1.1.4. Realizar el levantamiento topográfico y fotogramétrico.**

*3.1.1.4.1. Efectuar un estudio Topográfico.* Se realizó con la finalidad de caracterizar el área afectada (o de potencial afectación), determinar con la mayor precisión posible las alturas, pendientes, formas de los taludes y laderas que son considerados para el análisis de la estabilidad, en los sitios que presentaron agrietamientos o hundimientos se consideraron la magnitud de los mismos y las distorsiones angulares en las estructuras afectadas. Uno de los objetivos primordiales al realizar el levantamiento topográfico es obtener las posiciones de los puntos significativos del área de estudio, en base a ellos se efectuó la elaboración de modelos para determinar la estabilidad.

Se desplazó al área de estudio, en compañía de funcionarios del grupo, y con la ayuda de un equipo topográfico (Provenientes de la empresa Geo Servicios) en primera medida se ubicaron los puntos de control en el terreno mediante el uso de una estación total Sokkia set 610K, registrando las coordenadas y la respectiva elevación de cada uno, los cuales estaban ligados a la red terciaria del municipio de Tijuana, en la Tabla 5 se muestran los datos de la estación empleada.

**Tabla 5.**

*Características de la estación total.*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Aumento del lente	26x
Resolución	1'' (Un segundo)
Distancia mínima focal	1.3 metros
Lectura electrónica de ángulos	6'' (Seis segundos)
Memoria interna	Registra un max. De 10000 puntos

Nota fuente: ABRECO Topografía, 2017.

La cantidad de puntos distribuidos depende del área del terreno, para el caso del proyecto ubicado en el Fraccionamiento Rincón Toscano se emplearon 23, identificados alfabéticamente, (Figura 11). La empresa Geo Servicios se encargó de suministrar la información topográfica necesaria, la cual consistió en el plano de las curvas de nivel, la ubicación de las viviendas, las respectivas secciones transversales con el fin de realizar el modelamiento de ladera en el software slope/W, entre otros datos.



Figura 11. Ubicación de los puntos geo referenciados para el proyecto N°1.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

3.1.1.4.2. *Efectuar un estudio fotogramétrico.* El estudio fotogramétrico (Figura 48– Ver apéndice A) fue realizado con la siguiente precisión: Puntos de control asignados en planta mediante el levantamiento topográfico, sistema de coordenadas WGS84, Datum 11N, desviación estándar 0.009 m, empleando un Drone AUV métrico con desviación estándar de 0,02m. Para realizar este estudio se establecieron los puntos de control necesarios para garantizar la obtención de la totalidad de las fotografías del sector con el fin de no tener áreas sin cobertura al momento de realizar el procesamiento de los datos. Se siguió el plan de vuelo (Figura 12) recomendado por el Ingeniero David Martínez, donde se ajustaron valores como: duración del vuelo, cantidad de vuelos, altura necesaria, cantidad de fotos obtenidas, velocidad, frecuencia de la toma de fotos, estar conectado a mínimo tres satélites, entre otros aspectos necesarios.



Figura 12. Plan de vuelo del Drone (líneas verdes) y posición de las fotografías (puntos rojos).

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

Como el área del sector era medianamente grande se efectuaron dos vuelos, los cuales tuvieron una duración de 20 a 25 minutos, debido a que la batería del Drone no permite superar un límite de tiempo. Al finalizar se inspeccionaron las fotografías para verificar que no se presentaran vacíos en la secuencia de estas, para en días posteriores concluir con el procesamiento de los datos en el software Agisoft o Pix4D, ambos con licencia por parte del Grupo Iteico Euroamericano. En la ortofoto del proyecto N° 1 (Figura 49– Ver apéndice A) se aprecia además la vegetación existente la cual es escasa en el talud y un poco más numerosa en el sector bajo. La vegetación natural de los predios en general consistió mayormente en zacatales densos y arbustos típicos de la zona.

**3.1.2. Determinar las propiedades físicas mecánicas del suelo con el fin de identificar los factores desencadenantes y detonantes de inestabilidad.** Consistió en la realización de trabajos de exploración y muestreo para caracterizar geológica y geotécnicamente el área de estudio, determinando el perfil estratigráfico detallado del subsuelo y obteniendo muestras representativas del mismo.

Dichas muestras fueron estudiadas en el laboratorio con la finalidad de clasificar los suelos, efectuando pruebas de granulometría, límites de atterberg, proctor modificado, entre otras. Además, se realizaron estudios geofísicos para estimar la litología del terreno y algunas de sus propiedades físico - mecánicas, así como para detectar la posible presencia de agua, humedades, discontinuidades, oquedades, etc.

### 3.1.2.1. Describir la geología regional y local en la ciudad de Tijuana.

3.1.2.1.1. *Geología Regional.* Tijuana se encuentra ubicada en la región noroeste de México, según la división fisiográfica de la Dirección General de Geografía, específicamente en la porción de Baja California Norte (Figura 13).

La península de Baja California, como lo muestra la Carta Geológica (Figura 45 - Ver Apéndice A), ofrece una alta complejidad estructural y de afloramientos rocosos. En esta zona se encuentra expuesta una secuencia estratigráfica cuyo rango geocronológico varía desde el Paleozoico hasta el reciente (Morán, s.f.).



Figura 13. Mapa de la república Mexicana sobre la Geología

Nota fuente: Morán, s.f., p. 3, modificado, 2017.

La configuración de las diferentes unidades se puede definir según tres cinturones preterciarios, en la Figura 14 se observa sus ubicaciones, que corren a lo largo de esta porción de la península y presentan características petrográficas, estructurales y estratigráficas claramente diferenciables. El cinturón Volcánico Volcanoclastico Mesozoico, está constituido por secuencia de rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias cuya edad corresponde principalmente al Cretácico inferior.

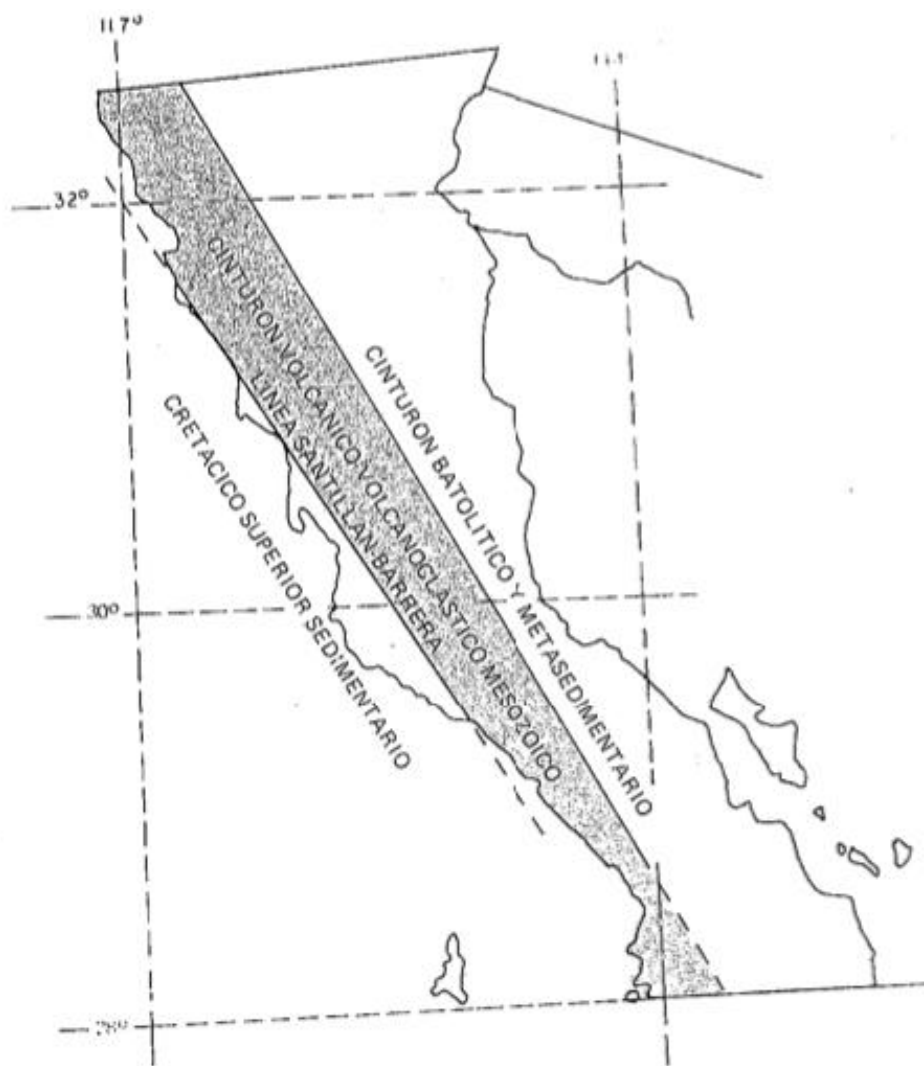


Figura 14. Mapa de la república Mexicana sobre la Geología

Nota fuente: Morán, s.f., p. 4

El estudio de La Carta Geológica de la República Mexicana (Figura 45 – Apéndice A) brindó información referente a las unidades estratigráficas, noción de las características del suelo presente en el área a analizar para comprender más fácilmente la compleja constitución geológica de México. En la Figura 46 (Apéndice A), se aprecia las provincias geológicas de México, el estado de Baja California según el estudio pertenece a la unidad estratigráfica Batolito de Juárez – San Pedro Mártir, el cual cuenta con las siguientes tipologías: Edad: Mesozoico; Origen: plutónico y el ambiente geotécnico predominante: raíz de arco.

*3.1.2.1.2. Geología Local.* En la ciudad de Tijuana afloran principalmente las formaciones Cenozoicas y Mesozoicas de edades Jurásico, Cretácico, Eoceno, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno y Reciente. Específicamente el área de estudio está representada por las Formaciones San Diego y Otay sobre la Formación Rosarito Beach, en ocasiones la Formación Lindavista se observa en las capas superficiales, a continuación se definen las características principales de estas formaciones.

- *Formación San Diego:* (Edad Plioceno – Pleistoceno) Está caracterizada por areniscas micáceas interestratificadas con tonalidades gris clara y amarillo naranja. Estas arenas se encuentran bien sorteadas y sus tamaños van de finos a medios. Además, interestratificados con éstas areniscas tenemos la presencia de conglomerados de tamaño de guijas y guijarros. La formación se divide en dos miembros muy bien diferenciados entre ellos:

Uno superior y otro inferior; el inferior que consta de más de 60 m de arena cuyos tamaños van de finos a medios, en el cual encontramos varios lentes de conglomerados; el superior está constituido por más de 30 m de areniscas de color amarillo oscuro cuyos tamaños varían de medio a grueso. Este miembro contiene también conglomerados de origen ígneo y algunos clastos de glaucofano, cuyos tamaños varían entre guijas y guijarros. En ocasiones se considera un miembro intermedio que consiste en unos 60 m de areniscas y areniscas tobáceas de grano fino a medio y colores gris-azul o café claro, masivas y en general, pobremente cementadas e interestratificadas con arcillas de color café-rosáceo claro y delgados lentes discontinuos de conglomerado.

• *Formación Otay:* Se consideraban del Plioceno, aunque algunos autores les han asignado edades Miocénicas, como el equivalente lateral del sur de la Formación Rosarito Beach, aunque exista entre ellas muchas diferencias. La formación Otay se localiza en la parte sur de San Diego, Chula Vista y San Ysidro, donde descansa sobre una superficie erosionada de rocas del Eoceno. En general, son sedimentos de origen no-marinos y reflejan la depositación en una cuenca alargada Norte-sur.

La parte superior de la sección que caracteriza a la Formación Otay es una arenisca de grano fino y las arcillas esquistosas que se hienden fácilmente en láminas frágiles y desiguales. Localmente contienen cantidades considerables de ceniza volcánica. Por lo cual, se considera que se originó del vulcanismo generalizado del Mioceno. En resumen, la formación Otay en el área de Tijuana se puede caracterizar por ser una Toba arenácea de grano fino con arcilla muy



impermeable de color café claro a gris que a profundidad producen bloques litificados del mismo material muy erráticos. Es frecuente la presencia de intercalaciones de láminas de arcilla del tipo Motmorilonita de escasos milímetros hasta varios centímetros de espesor.

- *Formación Rosarito Beach:* Con edades del Oligoceno Tardío al Mioceno Medio. Esta formación consistente en unidades de basalto porfirítico vesicular de color negro o gris. Conteniendo amigdalitas de Calcita y Zeolita alternadas con capas de areniscas, tobas y rocas híbridas intermedias, litológicamente similar a las que componen el miembro intermedio de la Formación de San Diego.

- *Formación Lindavista:* (Pleistoceno) Esta formación está compuesta por areniscas y conglomerados de color café-rojizo; un alto porcentaje de los clastos es material metavolcánico con cantidades menores de material Riolítico y Cuarzitas. Las arenas depositadas cerca de la línea de costa presentan una inter estratificación de conglomerados con cementante ferruginoso, principalmente Limonita.

**3.1.2.2. Examinar la información tectónica y sísmica del área:** Es importante efectuar un análisis tectónico y sísmico de la ciudad de Tijuana para conocer el nivel de influencia de estas variables en la construcción de edificaciones de desarrollo habitacionales y en el desencadenamiento de movimientos de tierras en laderas y taludes.

3.1.2.2.1. *Información Tectónica.* El territorio nacional de México se encuentra asociado al Cinturón de Fuego del Pacífico, afectado por la movilidad de cuatro placas tectónicas: la de Norteamérica, Cocos, Rivera y del Pacífico. En la Figura 15 se vislumbra la configuración de estas placas; las flechas indican las direcciones y velocidades promedio de desplazamiento relativo entre ellas. Con excepción de la península de Baja California, el territorio nacional se encuentra contenido en la Placa Norteamericana.

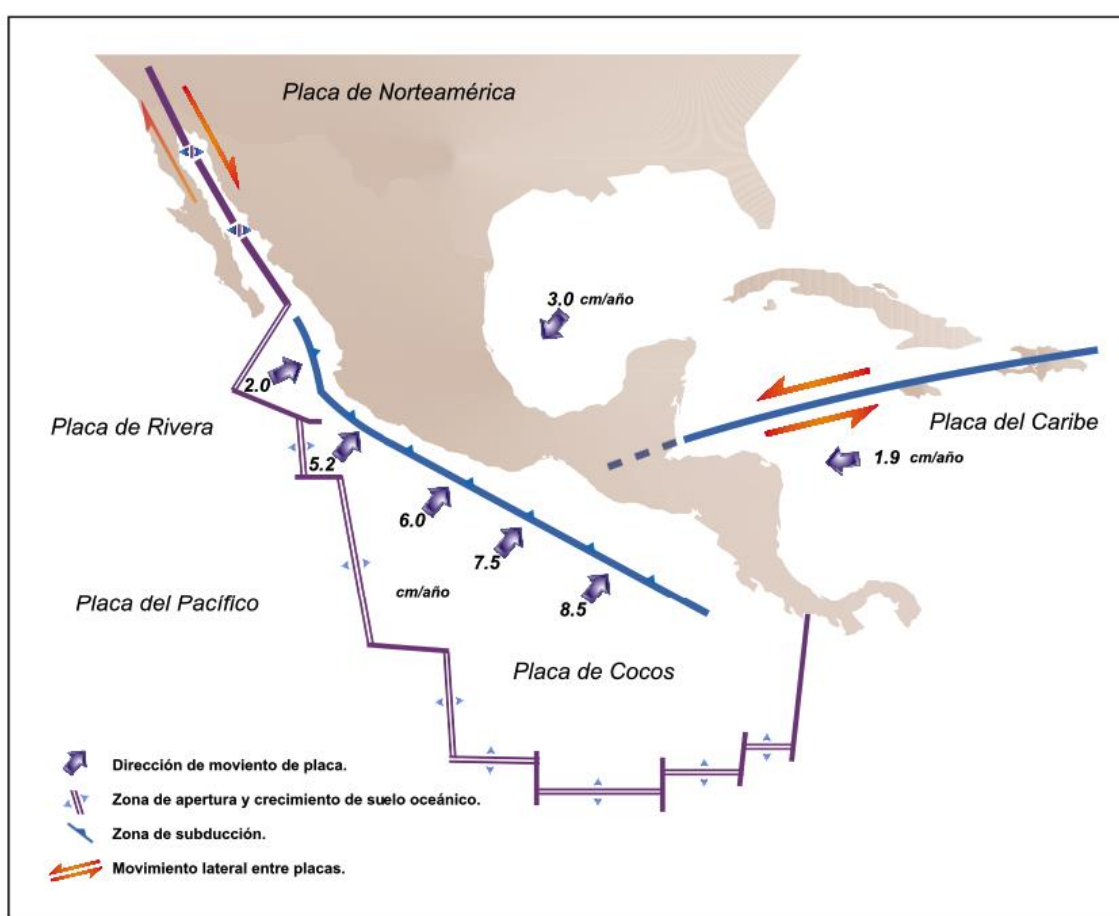


Figura 15. Movimientos de las placas tectónicas en México.

Nota fuente: Secretaría de Gobernación.

3.1.2.2.2. *Información Sísmica.* Por ser parte del llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, el país es afectado por una fuerte actividad sísmica y volcánica. Dos terceras partes del país tienen un riesgo sísmico significativo, que se debe principalmente a los terremotos que se generan en la Costa del océano Pacífico, en la conjunción de las placas tectónicas de Cocos y de Norteamérica. (Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2001).

El grado de peligro sísmico de determinada región se conoce a través de la regionalización sísmica, para el caso de México se define por cuatro niveles. Esta clasificación del territorio se emplea en los reglamentos de construcción para fijar los requisitos que deben seguir los constructores para diseñar las edificaciones y otras obras civiles de tal manera que éstas resulten suficientemente seguras ante los efectos producidos por un sismo (Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED], 2001). Baja California se exhibe en la zonas C, como lo muestra la Figura 47 (Apéndice A), donde el riesgo por sismo es intermedio con una frecuencia de ocurrencia poco frecuente, (Tabla 33.) por consiguiente antes de que ocurran los desastres es necesario tomar medidas para disminuir el impacto como son los estudios geotécnicos, cuya información es importante para conocer la situación actual del terreno.

El contacto de tipo transcurrente entre las placas de Norteamérica y Pacífico crea una complejidad en el análisis de la actividad sísmica de Baja California, a continuación se mencionan las fallas más significativas como Agua Blanca, Ojos Negros y el sistema San Miguel – Vallecitos, cuya actividad puede afectar directamente a la zona urbana de Tijuana (Cyment, 1979).

- *El Sistema Agua Blanca*: No existen registros de terremotos fuertes asociados y a pesar de que su microsismicidad ha sido promediada a menos de 2 eventos por día, se pueden definir tres sectores principales: el extremo NW, en el cual hay varias ramificaciones que cubren la península de Punta Banda; el extremo SE, que es el límite norte del Valle Trinidad; ambos segmentos presentan cierta actividad. Por último, el sector central, el cual no muestra actividad sísmica significativa.

- *El sistema San Miguel – Vallecitos*: Está formado por cuatro fallas: Calabazas, Vallecitos, San Miguel y Tres Hermanos. Es un sistema muy activo (Reyes, et al., 1975), al que se asocia la ocurrencia de los terremotos de Guadalupe de magnitud 5.7 en 1949 (Falla Vallecitos) y los de San Miguel de magnitudes 6.8 y 6.6 en 1954 y 1956 respectivamente (en el sector SE de la falla San Miguel).

La falla Vallecitos no tiene una actividad sísmica significativa, excepto en su contacto con la falla San Miguel, donde se aprecia una alta microsismicidad (Frez & Frías, Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias., 1998). Por su parte la falla Tres Hermanos tiene actividad sísmica baja y la falla Ojos Negros es altamente sísmica. Gran parte de la sismicidad asociada al sistema San Miguel se encuentra en el valle de Ojos Negros y en la unión San Miguel – Vallecitos – Ojos Negros (Frez et al. 2000).

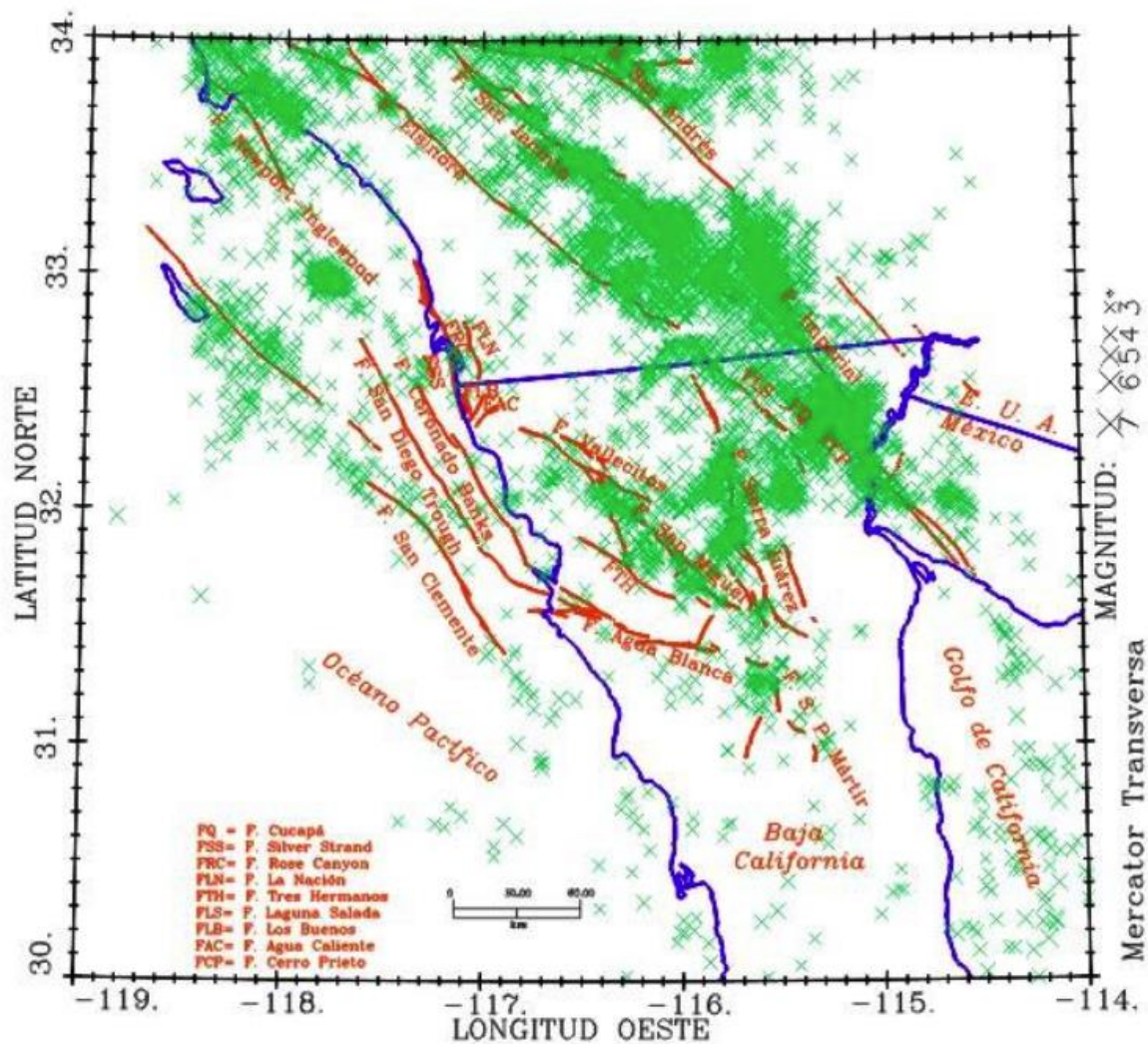


Figura 16. Sismicidad del norte de Baja California en el período 1973 - 2010.

Nota fuente: Gobierno Mexicano.

La Figura 16 se muestra la distribución de las fallas mencionadas, así como la sismicidad asociada a ellas en el período comprendido entre los años 1973 y 2010, para eventos de magnitudes entre 3 y 7. A pesar de estar un poco más alejado de Tijuana, no hay que pasar por alto la influencia que puede tener en la zona, la ocurrencia de sismos en el sistema formado por las fallas Imperial, Cerro Prieto, Cucapah y Laguna Salada, localizadas en el Valle Imperial y

capaz de generar sismos de gran magnitud, así como de otras fallas ubicadas en las costas del Pacífico.

**3.1.2.3. Analizar la exploración del subsuelo y ejecutar el perfil estratigráfico a partir de los sondeos efectuados:** Es necesario conocer las condiciones del subsuelo, las cuales son “una combinación de procesos naturales en los que intervienen factores topográficos, geológicos, climáticos y antrópicos” (Hoyos Patiño).

Todo lo anterior con el fin de identificar, localizar y delimitar los diferentes tipos de suelos en el área de estudio, con el objeto de definir las propiedades geotécnicas de los materiales en el subsuelo por muestreo y ensayos de campo y de laboratorio. En la exploración se comprendieron las actividades de: recolección de información preliminar, reconocimiento mediante inspección visual del terreno y la investigación del sitio a través de la recolección de muestras de suelo en las zonas de estudio, a continuación se describe la exploración de cada proyecto.



Figura 17. Ubicación de los ensayos SPT en el proyecto N°1.

Nota fuente: Google Earth modificado, 2017.

- Proyecto N° 1: La investigación de campo consistió en un reconocimiento del sitio, la excavación de 13 trincheras y 2 sondeos profundos de penetración estándar (SPT) por parte de la empresa Geo Servicios, su ubicación se ilustra en la Figura 17. Los apiques exploratorios fueron ejecutados con una retroexcavadora Case 580 y se extendieron hasta una profundidad máxima de 5.50 metros, mientras que en los sondeos se tomaron muestras a profundidades de 12,80 m y 9,70 m hasta encontrar terreno firme.

La elaboración de los ensayos consistió en: la instalación del equipo en el punto escogido (Figura 18), luego se coloca el toma muestras, posteriormente se instala una unión la cual es la encargada de recibir los impactos de la pesa y finalmente se sitúa el tubo guía el cual es el cargado de conducir la tubería en línea recta, seguidamente se realiza el marcado de la tubería según la profundidad establecida, después de ensamblar el equipo con su respectiva marcación se procede a levantar la pesa y a dejarla caer en caída libre, adicionalmente se deben ir contando la cantidad de golpes necesarios para introducir la tubería según la profundidad implantada llevando su respectivo registro en un formato para ensayo de penetración estándar. Al introducir varias marcas de la tubería se hace necesaria la extracción de la misma con el fin de revisar y tomar registros de las muestras que quedaron depositadas en el toma- muestras como se puede apreciar en la figura 19 y 20.

Muestras relativamente alteradas fueron obtenidas durante el transcurso de la investigación, procedió a guardarse las suficientemente grandes para estudiarlas en la proximidad, tal que permitieran determinar la clasificación geotécnica, las cuales presentaron un peso aproximado de 400 gr. Cada muestra se identificó cuidadosamente con el número del respectivo sondeo y la anotación de la profundidad a la cual fue tomada, con el fin de conservar las características del suelo se protegió en una bolsa de plástico fuerte cerrada en forma segura y sellada, luego se guardaron las muestras en recipientes herméticos sellados para evitar pérdidas de la humedad natural.

Las condiciones del suelo encontradas en las trincheras de exploración fueron visualmente clasificadas de acuerdo a las Normas del ASTM D 2480-00. La estratigrafía de cada una de las



exploraciones están presentadas en el Apéndice B y el Apéndice C contiene el registro de los resultados obtenido para los sondeos de penetración estándar. En la Figura 18 se aprecia el equipo utilizado para realizar la exploración del subsuelo mediante el método de penetración estándar en los dos puntos estratégicos seleccionados con anticipación.



Figura 18. Ejecución del ensayo SPT en el proyecto N°1.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

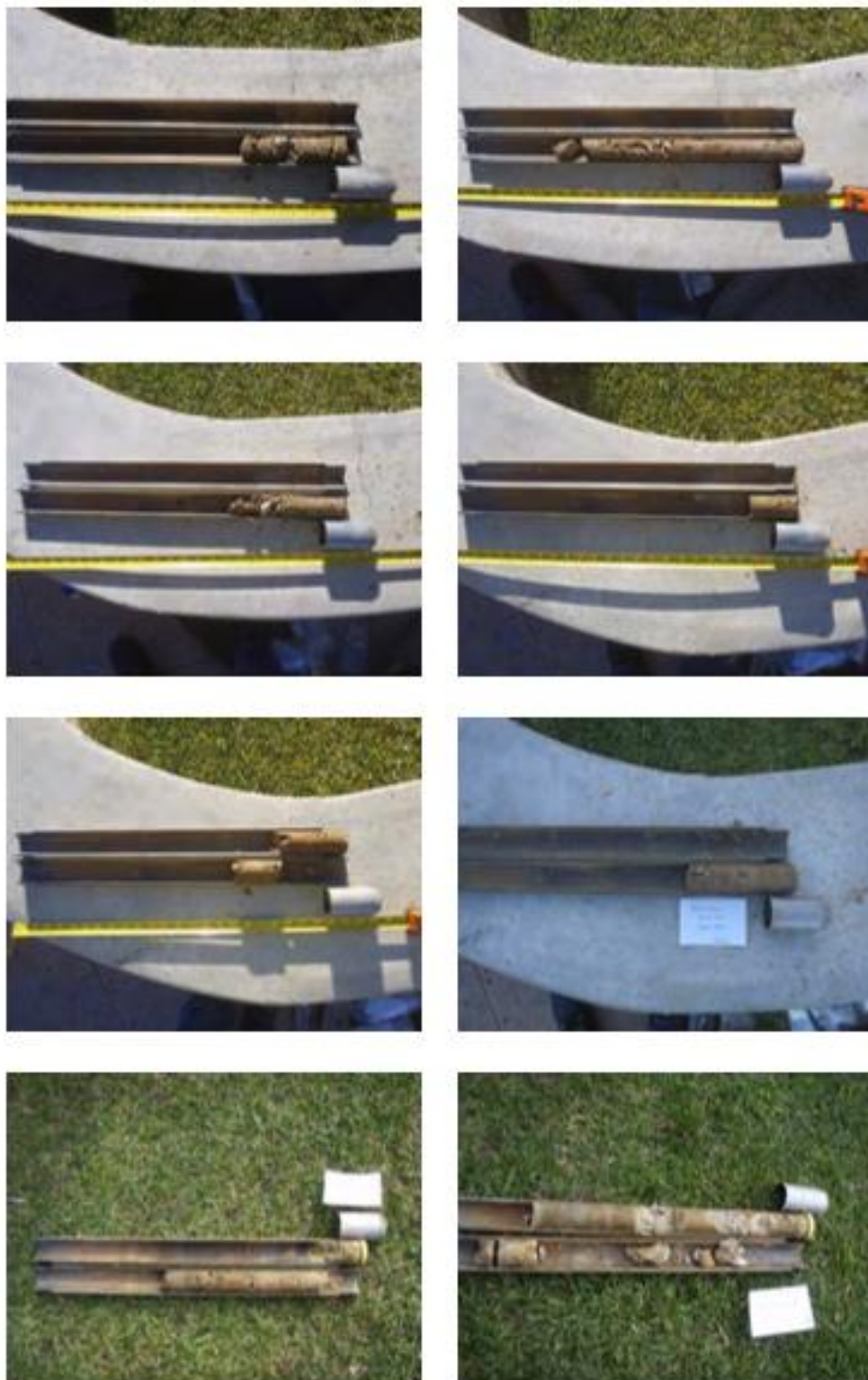


Figura 19. Muestras recuperadas de sondeo SPT 1.

Nora Fuente: Servicios profesionales de Geología, Geofísica y Geotecnia.

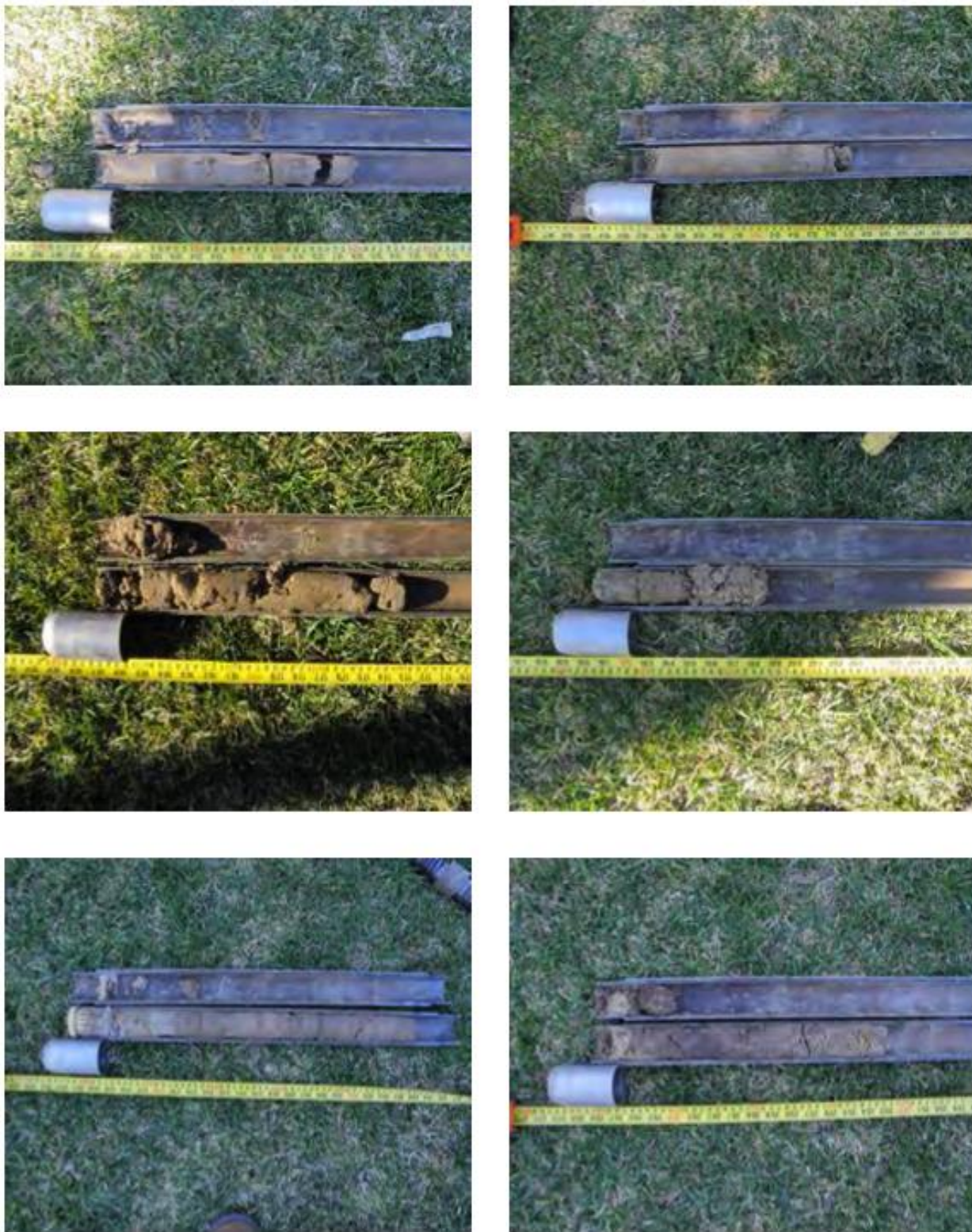


Figura 20. Muestras recuperadas de sondeo SPT 2.

Nota fuente: Servicios profesionales de Geología, Geofísica y Geotecnia.

- Proyecto N° 2: Se efectuaron 2 sondeos mecánicos (Figura 22) con la ayuda de la empresa Geo Servicios, los cuales son considerados una de las mejores técnicas para conocer las características del terreno, éstos contaron con una profundidad de 25 metros, y se llevaron a cabo pruebas de penetración estándar “SPT” con un número de golpes no mayor de 60 en los 30 cm del muestreador, el ensayo se realizó de la manera descrita para el anterior proyecto.

Se tomaron muestras por cada metro de avance, mismas que fueron utilizadas para obtener sus parámetros físico – mecánicos mediante pruebas de laboratorio, la ubicación de los sondeos se puede apreciar en la Figura 21.



Figura 21. Ubicación de los sondeos en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial.

Nota fuente: Google Earth modificado, 2017.



Figura 22. Ejecución de los sondeos en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

*3.1.2.2.1. Perfil estratigráfico.* El perfil se definió a partir de los sondeos realizados. Los espesores de los estratos y el contenido de material presente en cada capa son variables, por tanto la columna estratigráfica generalizada solo es una representación cuantitativa de la secuencia y no representa los valores cualitativos que expresa. Los resultados se observan en la tabla 6 y 7.

**Tabla 6.**

*Descripción Litológica de los estratos encontrados en proyecto N°1.*

<b>Estrato</b>	<b>Descripción Litológica</b>
Capa 4 <b>Relleno</b>	Aproximadamente con un espesor de 0,60 m, con presencia de arenosas limosas y arenas arcillosas sueltas, de grano fino a grano medio, con gravillas, raíces y pasto superficial, con un alto grado de humedad.
Capa 3 <b>Formación San Diego</b>	Con un espesor de 0,60 m, presenta arenas limosa en una variación tonalidades café, de grano fino a grano medio.
Capa 2 <b>Conglomerado A</b>	Presenta un espesor de 1,8 m, mantiene algunas propiedades de la capa anterior, sin embargo se torna ligeramente más arenoso y con gravillas presentes.
Capa 1 <b>Conglomerado B</b>	Con 2,2 m, de color café con tonos oscuros y presencia de arenas arcillosas, con gravillas frecuentes y algunas gravas subangulosas de hasta 3 cm de dimensión.

Nota fuente: Autor del proyecto.

**Tabla 7.**

*Descripción Litológica de los estratos encontrados en proyecto N°2.*

<b>Estrato</b>	<b>Descripción Litológica</b>
Capa 3 <b>Superficial</b>	Constituido por conglomerado de las formaciones Lindavista y San Diego
Capa 2 <b>Intermedio</b>	Formado por tobas arenáceas de color café claro y gris con arenas finas, limos y arcillas.
Capa 1 <b>Zona a mayor profundidad</b>	Constituida por las mismas tobas anteriores pero mucho más compactas.

Nota fuente: Autor del proyecto.

**3.1.2.4. Examinar las pruebas de laboratorio para conocer las características de los suelos que conforman el área de estudio.** Estas fueron ejecutadas de acuerdo con métodos generales aceptados por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM). Las muestras recuperadas fueron trasladadas al laboratorio donde se les realizaron diferentes ensayos, se definieron los perfiles estratigráficos de los taludes y las características de los suelos en el sitio lo cual permitió completar la caracterización geotécnica.

- *Proyecto N°1:* Los taludes están conformados por suelos de relleno, considerable cantidad de escombros, muy baja compacidad in-situ. La investigación de campo arrojó la presencia de agua tanto subterránea como superficial, y que el terreno se encuentra subyacente por seis tipos de suelos; estos son: Suelos de relleno sin documentar, suelos de la capa vegetal, suelos aluviales, depósitos de ladera, depósitos terraciales y suelos de la formación geológica San Diego.

Muestras selectas remoldeadas fueron sujetas a pruebas de cortante directo, proctor modificada, valor de resistencia e índice de expansión, determinando sus características de densidad, contenidos de humedad in situ, cohesión, ángulo de fricción, índice de expansión, tipo de suelo y peso volumétrico seco. En el Apéndice D se observan los resultados de los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg. El resumen del programa de laboratorio esta presentado en las Tablas 8, 9, 10 y 11.

**Tabla 8.**

*Resumen de Pruebas de cortante directo (ASTM D-3080-03)*

Muestra No.	Peso Volumétrico Seco		Contenido Humedad Óptimo (%)	Cohesión Unitaria		Ángulo de Fricción Interna (grados)
	(Kg/mt <sup>3</sup> )	(Lb/pie <sup>3</sup> )		(Kg/mt <sup>2</sup> )	(Lb/pie <sup>2</sup> )	
T2 – 1*	1872.0	116.8	9.2	2028	600	34
T2 – 2**	1897.0	118.4	8.3	732	150	32
T4 – 2**	1800.0	112.4	9.7	1708	350	35

**Nota:** \* Muestra remoldeada a aproximadamente 95 por ciento del peso volumétrico seco máximo y a cerca del contenido de humedad óptimo.

\*\* Muestra remoldeada a aproximadamente 90 por ciento del peso volumétrico seco máximo y a cerca del contenido de humedad óptimo.

Nota fuente: GEOCON INCORPORATED.

**Tabla 9.**

*Resumen de Pruebas de Laboratorio, Valor de Resistencia (Valor R)*

Muestra N°	Valor R
T2 – 1	25

Nota fuente: GEOCON INCORPORATED,

**Tabla 10.***Resumen de Pruebas de expansión (ASTM D-4829-03)*

Muestra No.	Contenido de Humedad		Peso Volumétrico Seco		Índice de Expansión	Potencial de Expansión	Tipo de Suelo
	Antes de Prueba (%)	Después de Prueba (%)	(Kg/mt <sup>3</sup> )	(Lb/pie <sup>3</sup> )			
T2 - 1	9.7	16.4	1761.0	109.9	9	Muy Bajo	Suelos de relleno
T2 - 2	10.5	20.6	1706.0	106.5	30	Bajo	Formación San Diego
T4 - 1	10.4	21.9	1604.0	100.1	93	Alto	Depósitos de ladera
T4 - 2	11.9	22.4	1640.0	102.4	17	Bajo	Depósitos Terraciales
T9 - 1	10.2	21.4	1616.0	100.9	93	Alto	Suelo aluvial

Nota fuente: GEOCON INCORPORATED

**Tabla 11.***Resumen de Pruebas Proctor Modificada (ASTM D-1557-02)*

Muestra No.	Descripción	Peso Volumétrico Seco Máximo		Contenido Humedad Óptimo (%)
		(Kg/mt <sup>3</sup> )	(Lb/pie <sup>3</sup> )	
T2 - 1	Arena limosa, color café grisáceo, fina a muy gruesa con grava.	131.0	2086.0	8.9
T2 - 2	Arena limosa, color gris olivo claro, fina a gruesa.	131.0	2099.0	8.0
T4 - 2	Arena limosa, café rojizo, fina a gruesa con grava.	125.0	2003.0	9.6

Nota fuente: GEOCON INCORPORATED.

• *Proyecto N°2:* Las muestras seleccionadas del sondeo fueron sujetas a pruebas de compresión triaxial con el fin de determinar las características de la masa de suelo como: contenidos de humedad, peso volumétrico, ángulo de fricción interna, y cohesión. En el Apéndice E se observan los resultados del ensayo, y la tabla 12 resume los valores de las propiedades encontradas.



**Tabla 12.***Resumen prueba de compresión Triaxial*

Ensayo No	Humedad W (%)	Presión Lateral Q3 (Kg/cm2)	Peso volumétrico (Kg/cm3)	Densidad de los sólidos (gr/cm3)	Ángulo de fricción interna	Cohesión (Kg/cm2)
1	26,70	0,50				
2	26,70	0,75	1983	2,69	18,5°	1,1
3	26,70	1,00				

Nota fuente: BUNH Servicios de Ingeniería.

**3.1.2.5. Identificar los factores desencadenantes y detonantes de inestabilidad presentes en las zonas de estudio.** En la naturaleza existen varios factores que condicionan la estabilidad de una ladera y otros que la alteran, son los llamados “factores condicionantes y detonantes para la estabilidad de una ladera” (Tabla 13).

**Tabla 13.***Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad*

<b>Factores condicionantes</b>	Litológicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presencia de materiales alterados por meteorización.</li> <li>2. Falta de cohesión de los materiales que componen la roca.</li> <li>3. Alternancia de estratos de diferente naturaleza.</li> </ol>
	Estructurales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Disposición paralela de los planos de estratificación de las rocas respecto de la pendiente.</li> <li>2. Falla o fractura.</li> </ol>
	Climáticos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alternancia de épocas de sequía-lluvia; hielo- deshielo.</li> </ol>
	Hidrológicos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento de la escorrentía superficial.</li> <li>2. Estancamiento del agua.</li> <li>3. Cambio del nivel freático de las aguas subterráneas.</li> <li>4. Alternancia de estratos de diferente permeabilidad.</li> </ol>
	Topográficos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cualquier pendiente mayor al 15%, conlleva a riesgos de erosión.</li> </ol>
	Vegetación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ausencia o escasas de vegetación que sujeta el terreno.</li> </ol>

**Tabla 13.***Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad (continuación)*

<b>Factores detonantes</b>	Naturales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fuertes precipitaciones.</li> <li>2. Inundaciones.</li> <li>3. Erupciones volcánicas.</li> <li>4. Terremotos.</li> <li>5. Cambio del volumen del terreno por hielo- deshielo o humedad o desecación.</li> </ol>
	Inducidos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aumento del peso del talud por acumulación de escombros o construcciones.</li> <li>2. excavaciones con retirada de material del pie del talud.</li> </ol>

Nota fuente: Cuanalo, Oliva y Gonzáles.

Se efectuó un análisis en las zonas de estudio identificando los posibles factores condicionantes y detonantes de inestabilidad presentes, como se ha mencionado anteriormente casi siempre contribuyen a producir y disparar un movimiento en masa múltiples factores los cuales se resumen en las tablas 14 y 15.

**Tabla 14.***Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad en el proyecto N°1.*

Tipo de Factor	Factor	Detalle
<b>Condicionante</b>	Litológicos	- Alternancia de estratos de diferente naturaleza: Lo cual se puede observar en los perfiles estratigráficos efectuados en base a los ensayos de penetración estándar.
	Climáticos	- Alternancia de épocas de sequía-lluvia; hielo- deshielo: En la ciudad de Tijuana se presenta una época de clima seco por casi todo el año, la falta de lluvias provoca problemas al momento en que el régimen de estas se presenta en temporada de invierno.
	Hidrológicos	- Alternancia de estratos de diferente permeabilidad.
	Topográficos	- Cualquier pendiente mayor al 15%, conlleva a riesgos de erosión: La morfología corresponde a un talud con una pendiente aproximada del 75%.
	Vegetación	- Ausencia o escasas de vegetación que sujeta el terreno: Se aprecia que la vegetación existente es escasa en el talud y un poco más numerosa en el sector bajo, sin embargo la vegetación presenta raíces superficiales.

**Tabla 14.**

*Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad en el proyecto N°1 (continuación)*

<b>Detonantes</b>	Naturales	- Terremotos: La ciudad cuenta con un porcentaje de sismicidad medio.
	Inducidos	- Aumento del peso del talud por acumulación de escombros o construcciones: En la corona del talud se encuentra una construcción residencial que aporta una sobrecarga a la masa de suelo.

Nota fuente: Autor del proyecto.

**Tabla 15.**

*Factores condicionantes y detonantes de inestabilidad en el proyecto N°2*

Tipo de Factor	Factor	Detalle
Condicionante	Litológicos	- Presencia de materiales alterados por meteorización. - Alternancia de estratos de diferente naturaleza: Lo cual se puede observar en los perfiles estratigráficos efectuados en base a los ensayos de penetración estándar.
	Estructurales	- Falla o fractura: El terreno presenta una fractura en forma de grieta semicircular sobre la calle Monte Alegre en su parte más alta.
	Climáticos	- Alternancia de épocas de sequía-lluvia; hielo- deshielo: En la ciudad de Tijuana se presenta una época de clima seco por casi todo el año, la falta de lluvias provoca problemas al momento en que el régimen de estas se presenta en temporada de invierno.
	Hidrológicos	- Alternancia de estratos de diferente permeabilidad.
	Topográficos	- Cualquier pendiente mayor al 15%, conlleva a riesgos de erosión: La pendiente de la ladera supera el valor establecido.
	Vegetación	- Ausencia o escasas de vegetación que sujeta el terreno: La vegetación natural de los predios en general consistió mayormente en zacatales densos y arbustos típicos de la zona, los cuales presentan raíces superficiales que no proveen ninguna resistencia frente a un posible movimiento de tierra.
Factores detonantes	Naturales	- Terremotos: La ciudad cuenta con un porcentaje de sismicidad medio.
	Inducidos	- Aumento del peso del talud por acumulación de escombros o construcciones: En la ladera se observan construcciones de desarrollo habitacionales.

Nota fuente: Autor del proyecto.

**3.1.3. Realizar un análisis de estabilidad cuantitativo y cualitativo en las áreas de estudio.** Dicho análisis tuvo por finalidad determinar si los taludes y laderas eran estables bajo las condiciones normales de servicio, los esfuerzos estáticos por el peso propio del terreno, las sobrecargas por construcciones, el efecto del flujo de agua y la condición dinámica debido a los sismos y/o micro-sismicidad típica de la zona.

**3.1.3.1. Conocer la interpretación del propósito de un análisis de estabilidad:** La naturaleza y la homogeneidad de los materiales constitutivos son básicos para plantear y definir el problema de la estabilidad de un talud en cualquiera de sus múltiples aspectos. (Matteis, 2003). El ingeniero se basa de los problemas planteados con el fin de extraer conocimientos de carácter general para poder establecer un práctico modelo matemático donde el análisis de estabilidad sea lo más exacto posible.

Los métodos de cálculo, para definir la estabilidad, establecen un mecanismo cinemático de falla, extraído naturalmente de la experiencia, con base en el cual se analizan las fuerzas tendientes a producir el movimiento como: la gravedad, filtración, presión de agua, entre otras; éstas se han de comparar por algún procedimiento con las fuerzas que son capaces de desarrollarse y tienden a que el mecanismo de falla no se produzca como resistencia del terreno, raíces y otras (fuerzas resistentes).

El propósito del cálculo de la estabilidad se centra en dos temas principales:

a) Determinar la resistencia media al corte “s” de los suelos a partir de deslizamientos ya producidos.

b) Determinación del coeficiente de seguridad “F” que define la estabilidad del talud.  
(Matteis, 2003)

**3.1.3.2. Comprender el software y los métodos empleados en el análisis de estabilidad cuantitativo:**

*3.1.3.2.1. Comprender el software empleado.* En el análisis de los modelos se utilizó el software SLOPE/W, de Geo-Slope International Ltd, debido a sus características destacadas como: superficie de falla, factor de seguridad, amplio ingreso de datos, mejor capacidad de manipulación y además permite utilizar una amplia gama de métodos de cálculo (Ordinario, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, entre otros).

*3.1.3.2.2. Entender los métodos de Análisis.* En esta etapa se emplearon dos métodos:

- *Equilibrio Límite (Estático y Dinámico):* Para obtener los factores de seguridad al deslizamiento y la superficie de falla de los taludes.
- *Tenso – deformacionales:* Para estimar los desplazamientos horizontales esperados en la zona potencialmente inestable del área de estudio

**3.1.3.3. Elegir las secciones críticas en la ladera para modelar con el software:** Para precisar la ubicación se toman en cuenta los resultados del levantamiento fotogramétrico y los resultados de los laboratorios de mecánica de suelos y geotecnia, utilizando variables como: el peso volumétrico seco, contenido de humedad, cohesión y el ángulo de fricción; se escogieron las pendientes más críticas y las condiciones donde se prevé mayor riesgo.

En el proyecto N°1 se conformaron 9 perfiles estratigráficos para el análisis de la estabilidad, espaciados entre ellos 23 m, la figura 24 y 54 (Apéndice A) exhibe la ubicación. El proyecto N°2 empleó 5 perfiles para el estudio de la estabilidad, en la Figura 23 se aprecia su ubicación sobre el área de estudio, se aprecia que no están distanciados simétricamente y algunos se interceptan entre sí.

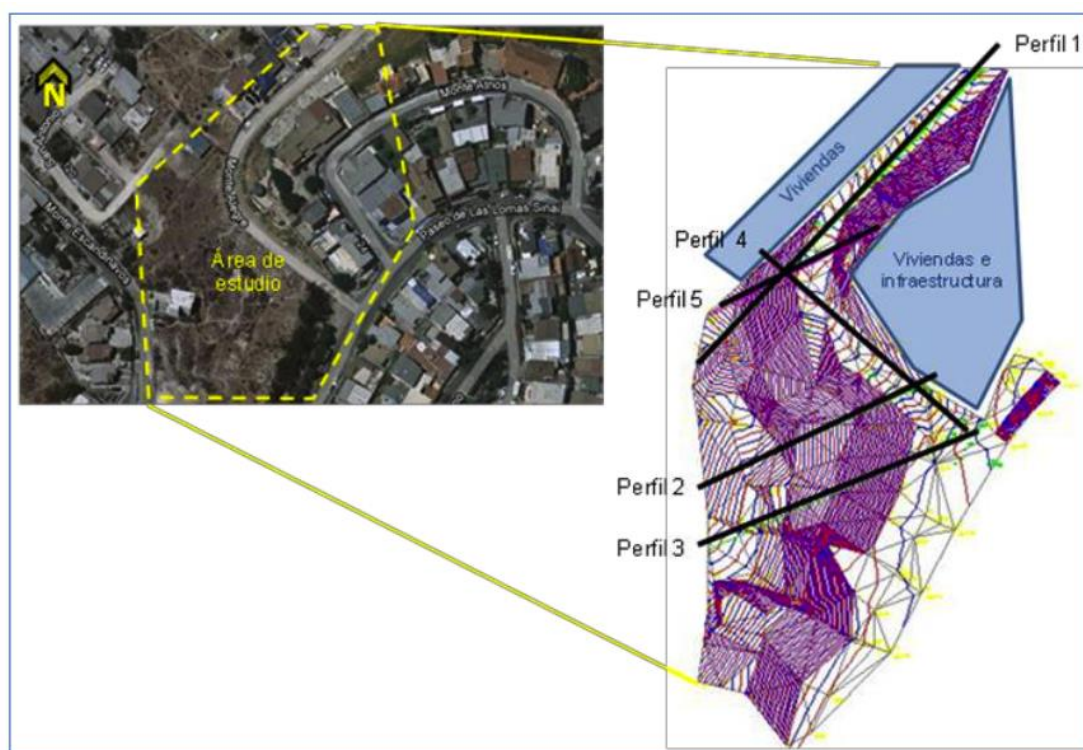


Figura 23. Área de estudio vista en planta y ubicación de los perfiles para el análisis de estabilidad.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

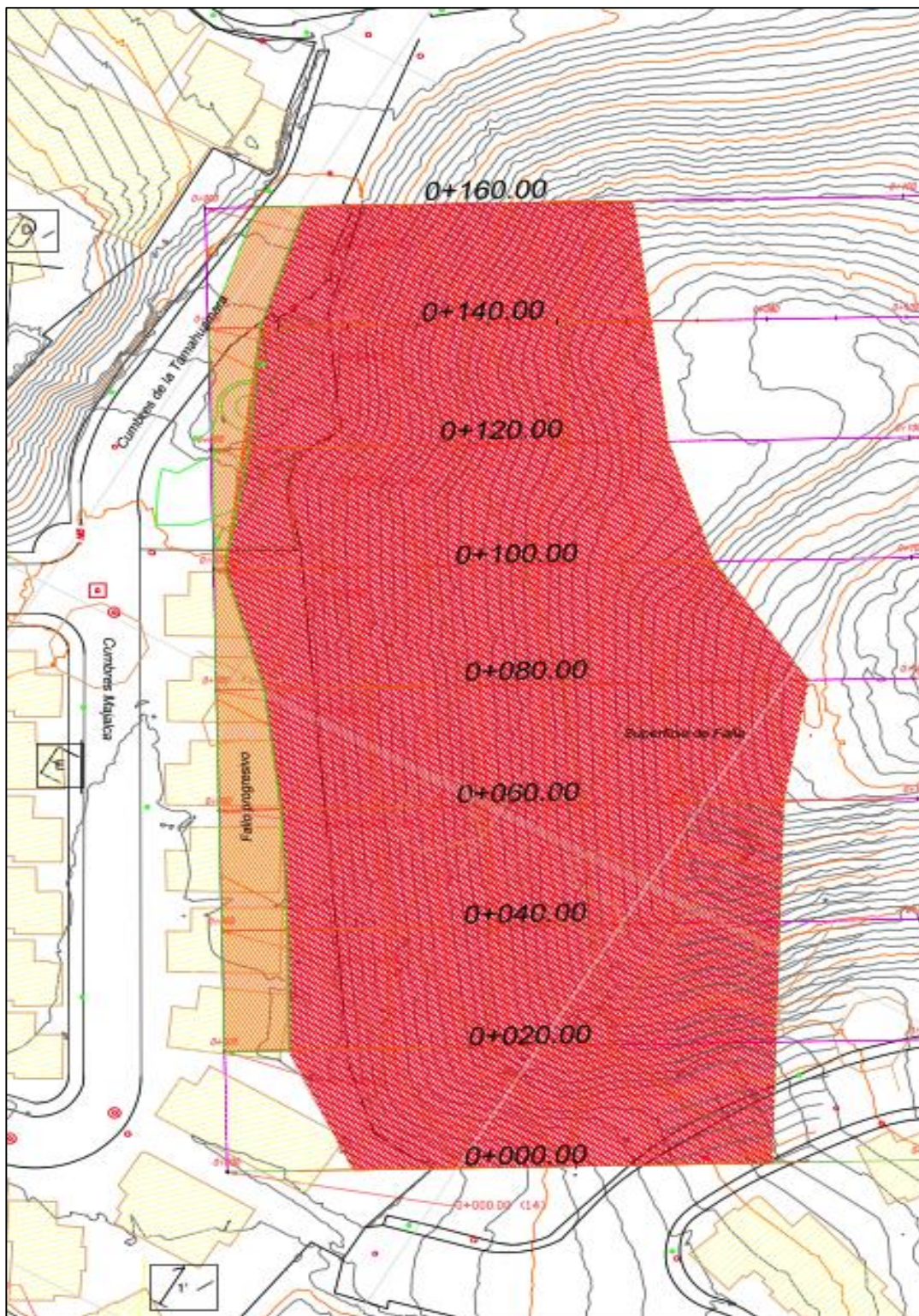


Figura 24. Vista en planta de la ubicación de los perfiles.

Nota fuente: GIE.

**3.1.3.4. Aplicar el software Slope-W para modelar la ladera utilizando el método de equilibrio límite y tenso - deformacional.**

3.1.3.4.1. *Emplear el método de Equilibrio Limite.* Se modelo teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Geometría en dos dimensiones, las propiedades de los materiales y las cargas presentes en el terreno. Para encontrar el valor del factor de seguridad y la superficie de falla para cada perfil se utilizaron los métodos:

- ✓ Método ordinario o de Fellenius
- ✓ Método Bishop simplificado
- ✓ Método de Janbú simplificado
- ✓ Método de Spencer

*Proyecto N°1:* A continuación se observa el resultado obtenido al evaluar los modelos de los 9 perfiles utilizando el programa informático Slope-W (Desde la figura 25 a la figura 33).

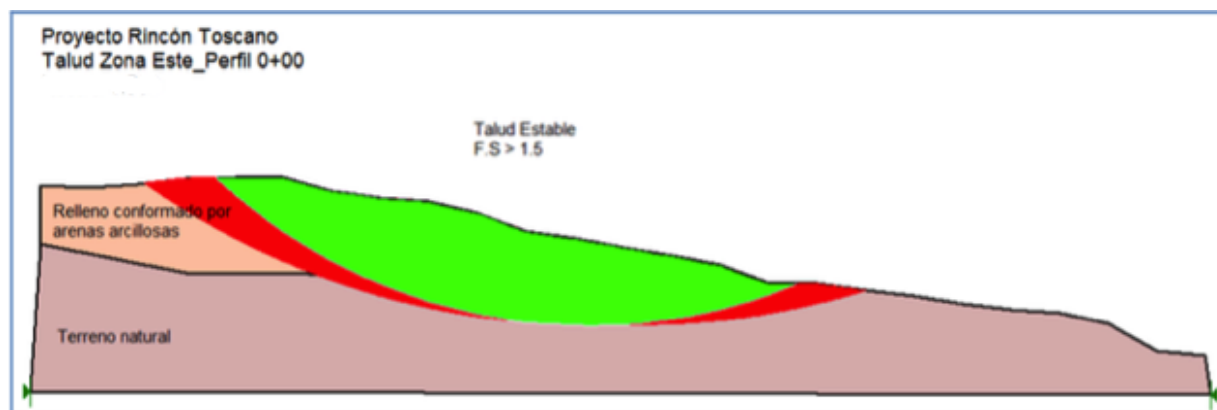


Figura 25. Modelo de falla para el perfil 0 + 000.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.



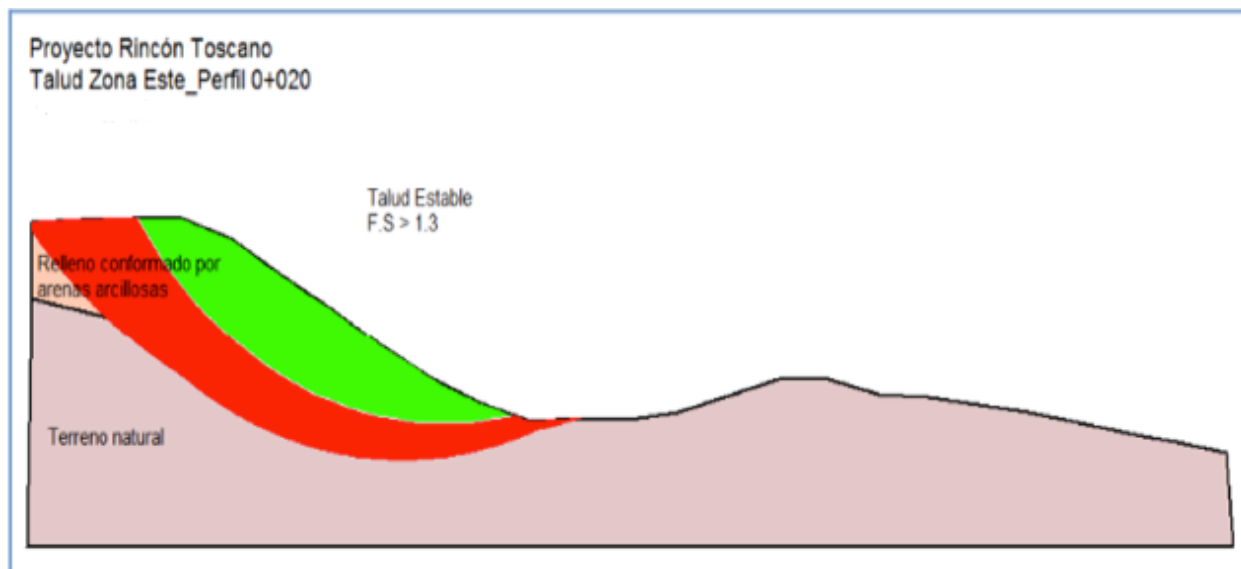


Figura 26. Modelo de falla para el perfil 0 + 020.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

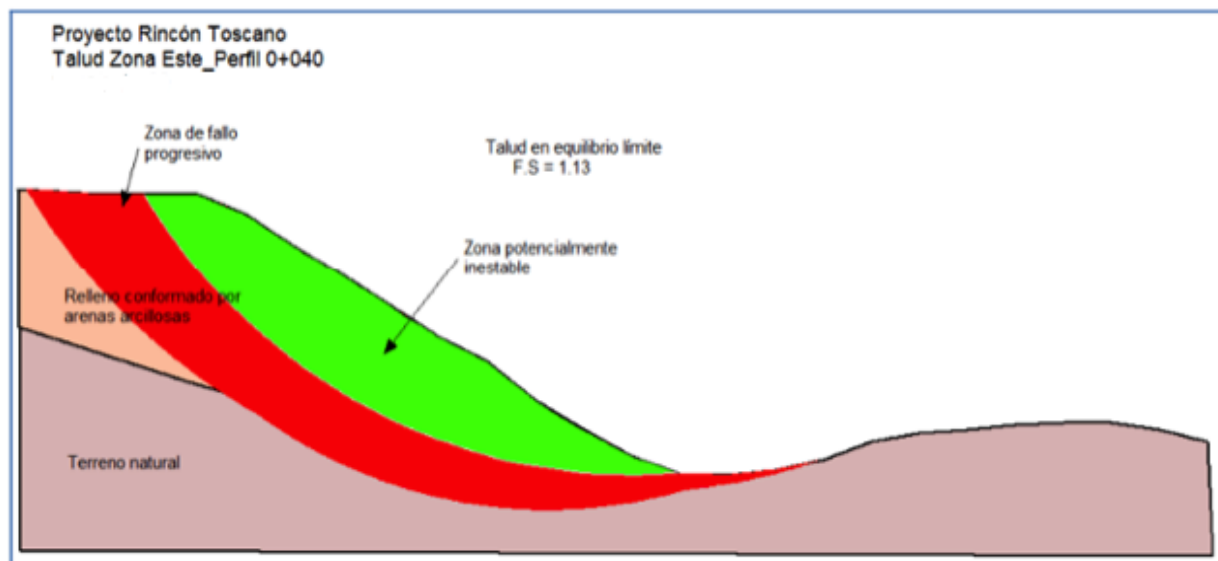


Figura 27. Modelo de falla para el perfil 0 + 040.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

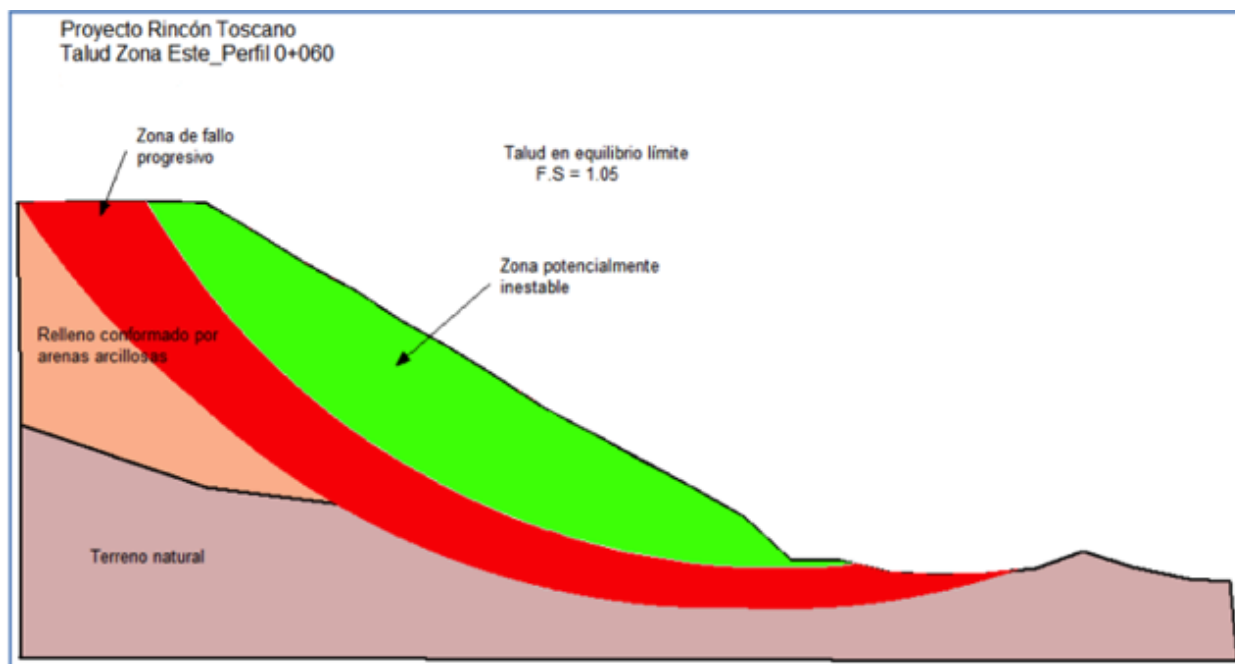


Figura 28. Modelo de falla para el perfil 0 + 060.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

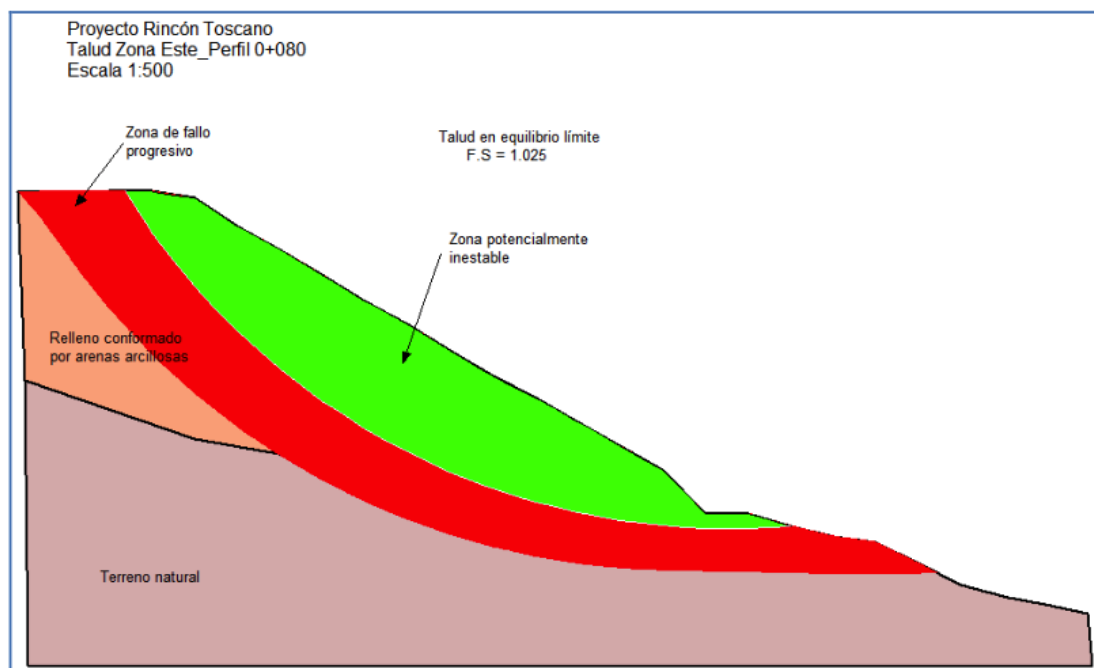


Figura 29. Modelo de falla para el perfil 0 + 080.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

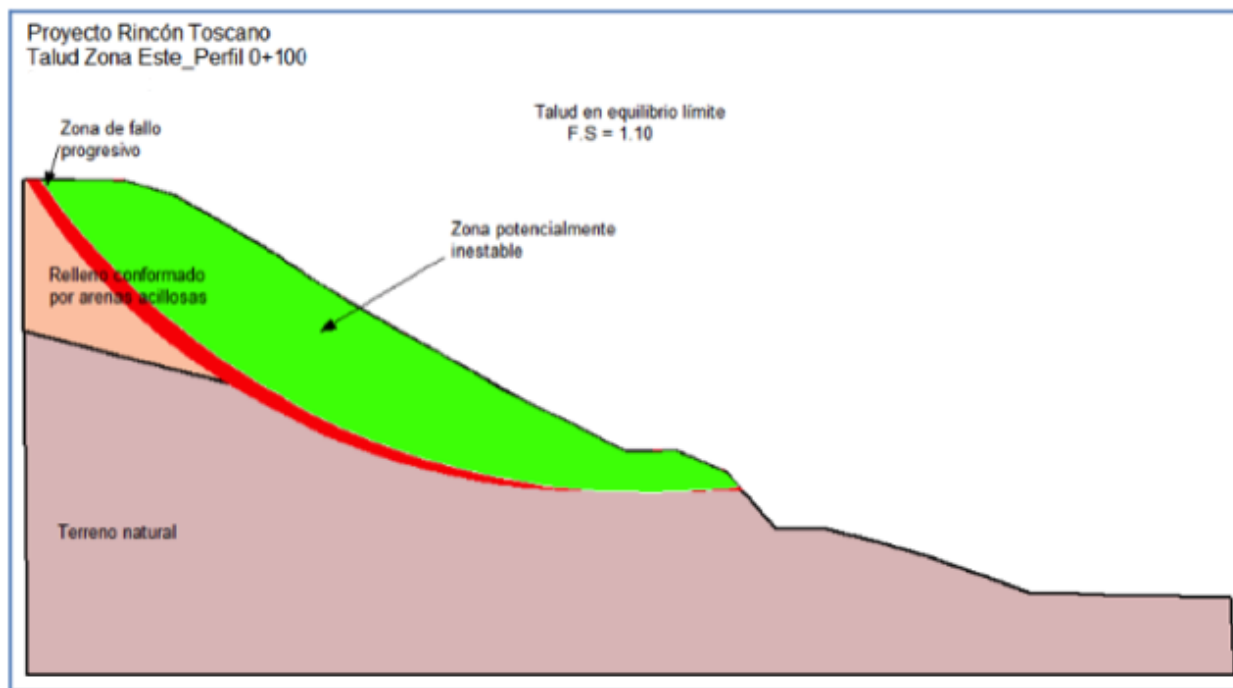


Figura 30. Modelo de falla para el perfil 0 + 100

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

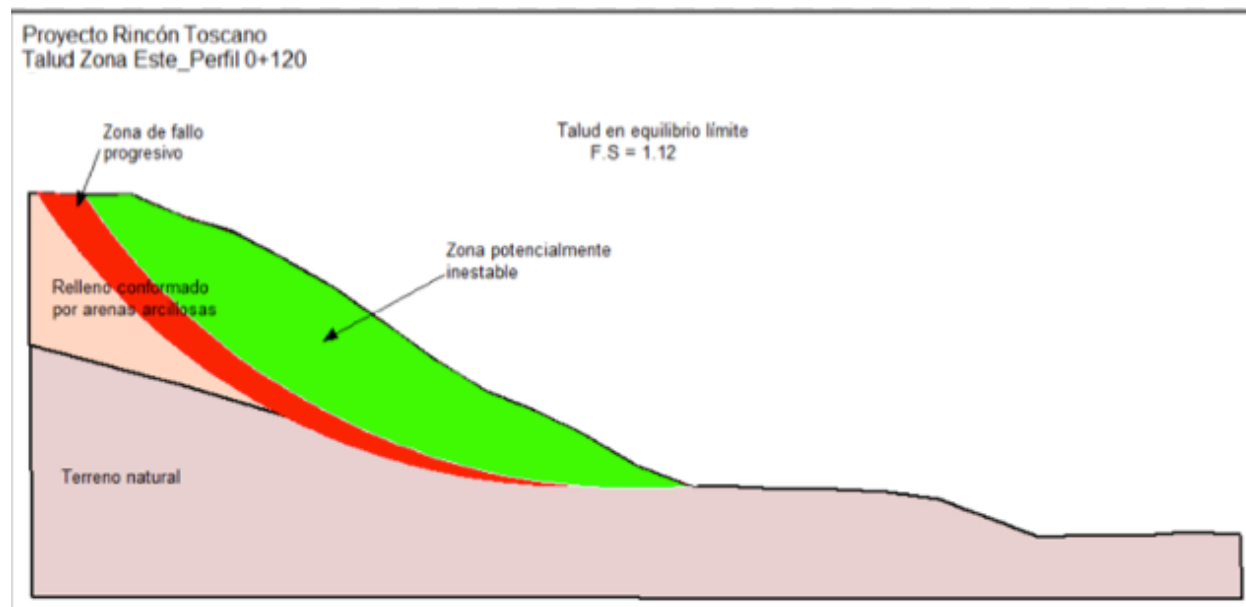


Figura 31. Modelo de falla para el perfil 0 + 120

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

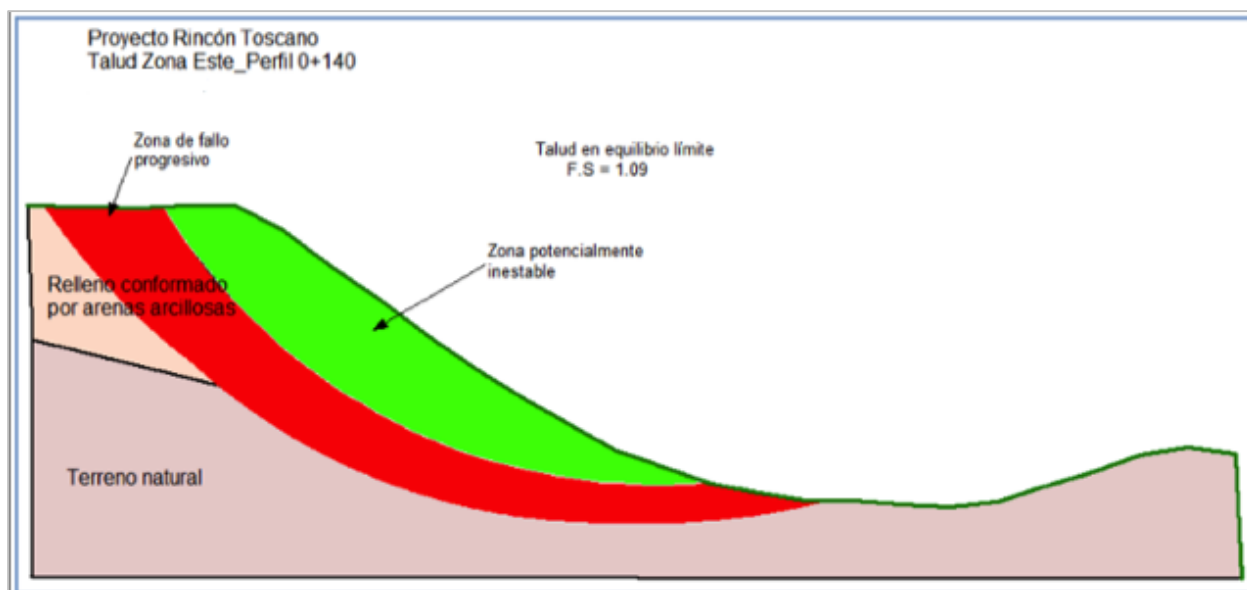


Figura 32. Modelo de falla para el perfil 0 + 140.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

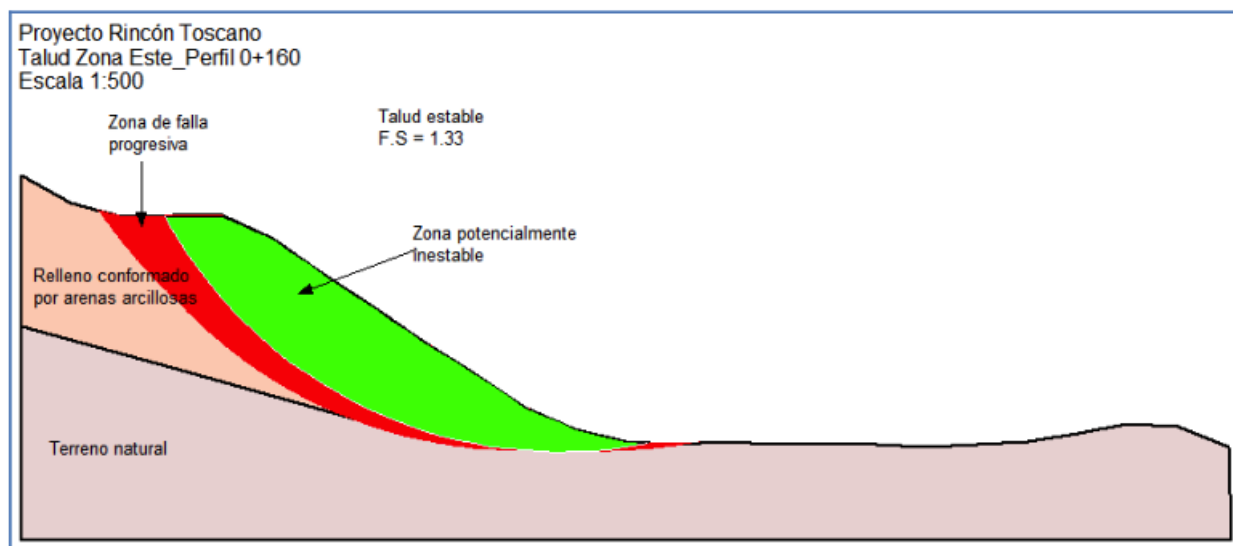


Figura 33. Modelo de falla para el perfil 0 + 140

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

Las gráficas arrojadas mediante el análisis indican que el factor de seguridad está en el rango 1.05 - 1.93, justamente asume que el terreno presentaba altas probabilidades para la ocurrencia de falla con las características existentes del suelo, se hace necesario tomar las medidas pertinentes con el fin de mitigar el riesgo al que están sometidos los propietarios.

*Proyecto N°2:* Para el análisis de la estabilidad considerando el equilibrio límite de las masas de terreno potencialmente inestable. Los resultados del factor de seguridad estáticos y pseudo-estáticos y las superficies de rotura asociadas a los mismos se resumen en la tabla 17, y el análisis de los modelos se observa desde la figura 35 a 38.

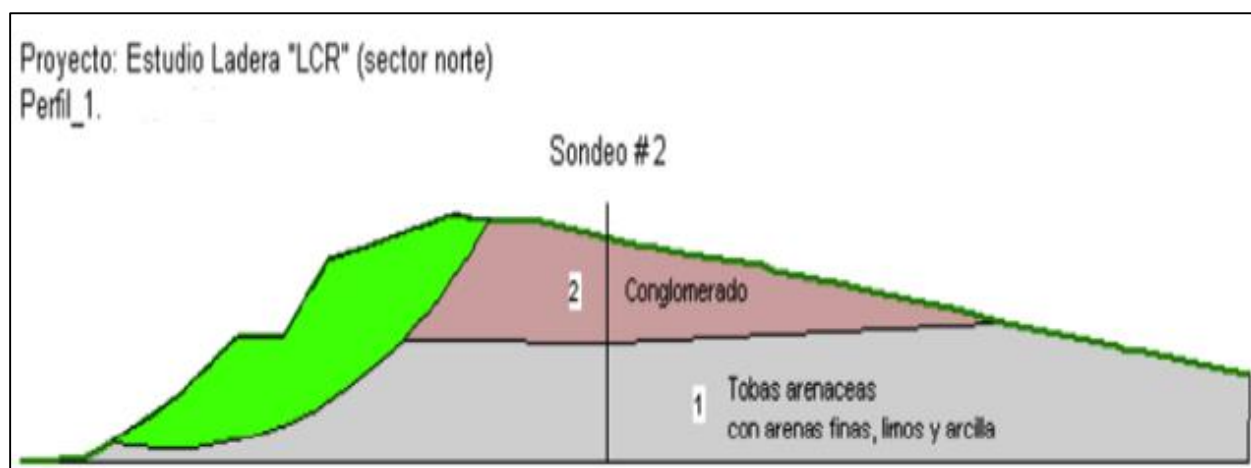


Figura 34. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 1.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

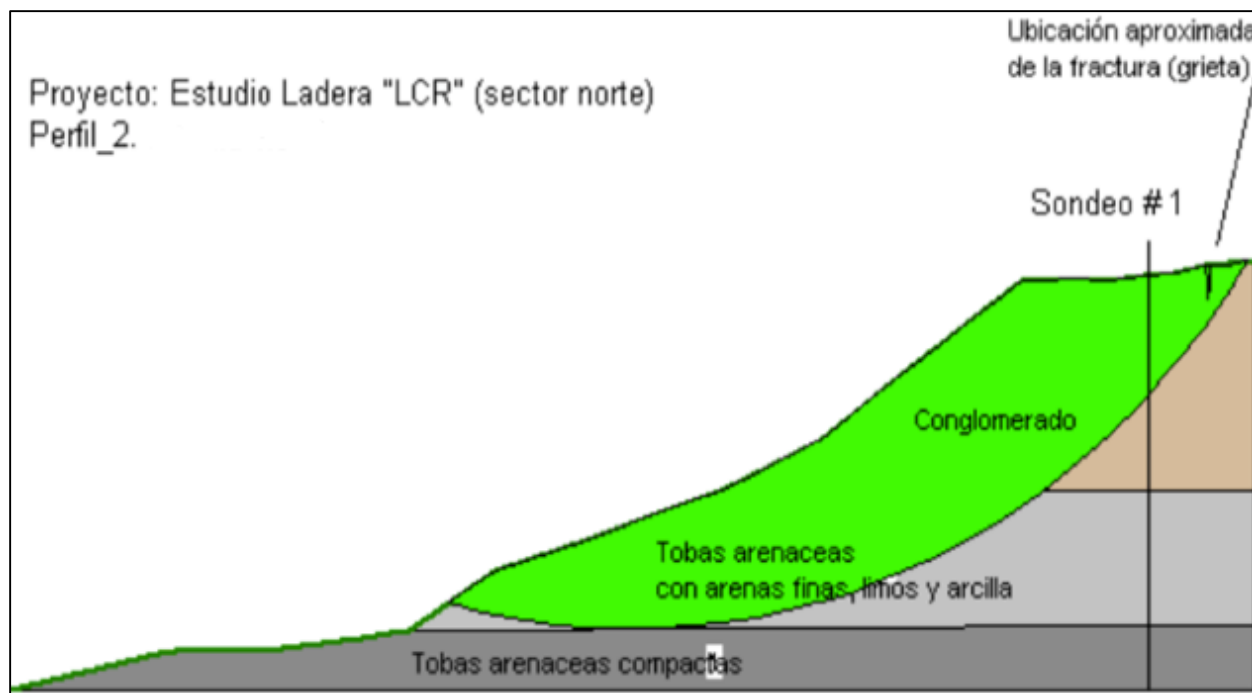


Figura 35. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 2

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano

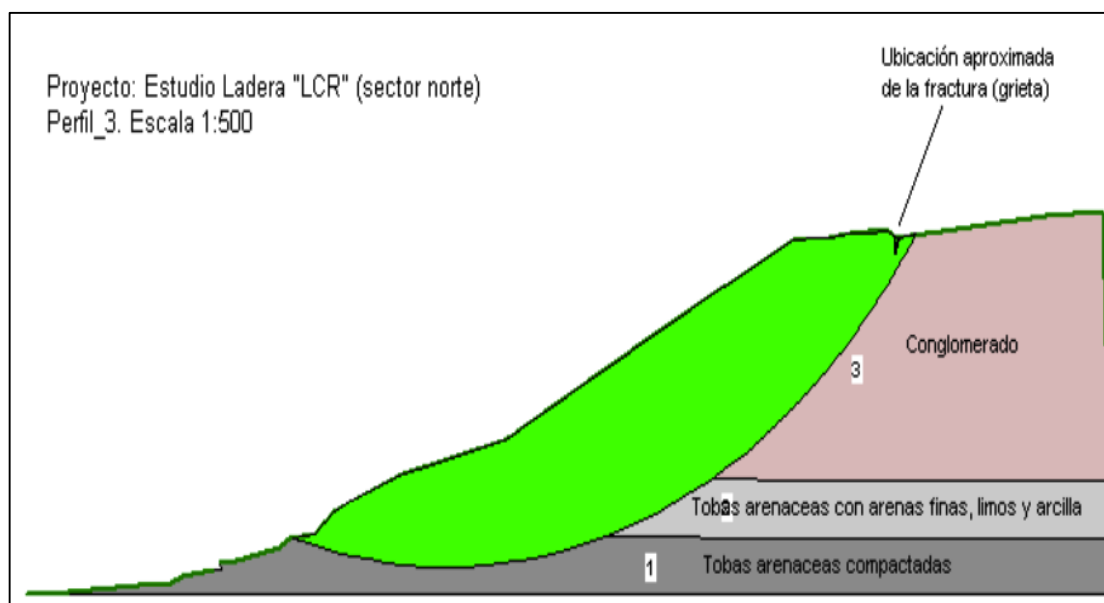


Figura 36. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 3

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano

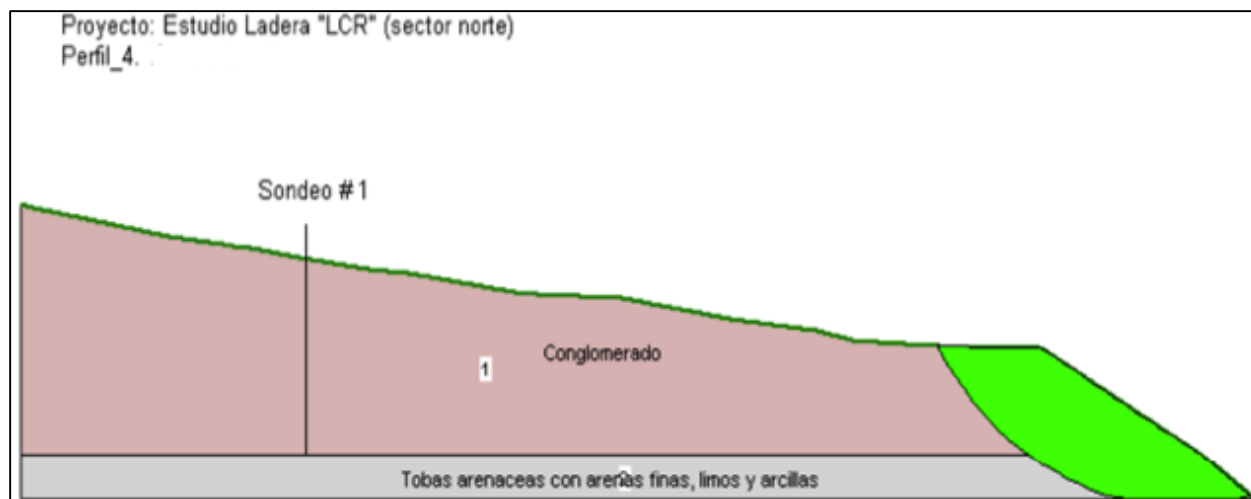


Figura 37. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 4

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano

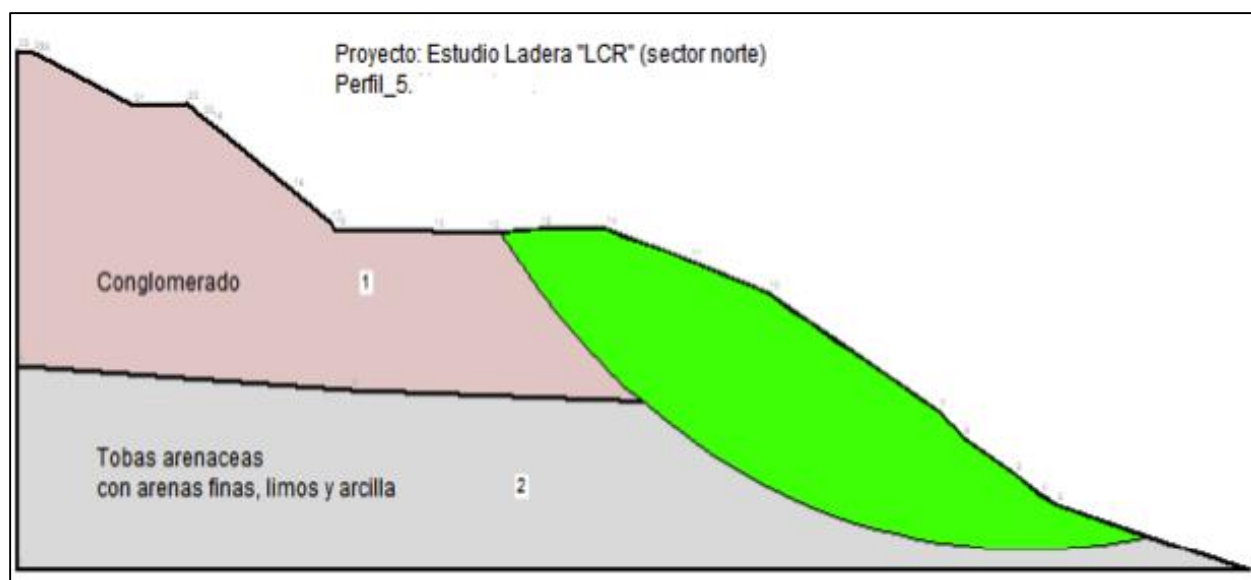


Figura 38. Superficie crítica de falla potencial para el perfil 5.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano.

• *Interpretar los resultados del estudio:* Para determinar si una ladera o talud es estable bajo las condiciones que prevalecen en un determinado sitio, generalmente se utiliza el término factor de seguridad. El valor aceptable del mismo se selecciona tomando en cuenta las consecuencias o riesgos que podría causar el deslizamiento. En laderas y taludes suele adoptarse valores que oscilan entre 1.2 y 1.5 o incluso superiores, dependiendo de la confianza que se tenga en los datos geotécnicos a utilizar en el análisis, así como en la información disponible sobre los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la estabilidad. Se efectuaron algunas observaciones basándose en el valor del factor de seguridad obtenido, lo cual se aprecia en las tablas 16 y 17.

**Tabla 16.**

*F.S. y Observaciones para los modelos de cada perfil en el proyecto N°1.*

<b>Perfil</b>	<b>Factor de Seguridad</b>	<b>Observaciones</b>
0 + 000	1.93	El talud en el perfil analizado es estable.
0 + 020	1.32	El talud en el perfil analizado cumple con la estabilidad permisible
0 + 040	1.13	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (Próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 060	1.05	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 080	1.025	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 100	1.10	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 120	1.20	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 140	1.09	El talud presenta un estado de equilibrio crítico (próximo al límite), con probabilidad de falla.
0 + 160	1.33	El talud en el perfil analizado cumple con la estabilidad admisible.

Nota: Se consideran los efectos de la aceleración sísmica y del 25% de saturación del terreno para todos los modelos.

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano modificado, 2017.



**Tabla 17.**

*Factor de Seguridad para los modelos de cada perfil en el proyecto N°2*

Perfil	F.S <sub>est</sub>	F.S <sub>s-est</sub>
1	3.28 2.49 (Con presencia de agua)	1.61
2	2.16 1.46 (Con presencia de agua)	1.08
3	2.67 1.80 (Con presencia de agua)	1.14
4	2.70 2.22 (Con presencia de agua)	1.43
5	2.37 1.82 (Con presencia de agua)	1.37

Nota: Las denominaciones de Factor de Seguridad Estático (F.S<sub>est</sub>) y Factor de Seguridad pseudo-estático (F.S<sub>s-est</sub>)

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano modificado, 2017.

### *3.1.3.4.2. Emplear los métodos tenso – deformacionales.*

*Proyecto N°1:* En este numeral se encontraron los desplazamientos en el terreno para las condiciones más críticas, tomando como referencia los resultados obtenidos con el método de equilibrio límite, que corresponden a los perfiles estratigráficos ubicados a 60 m, 80 m y 100 m (desde la figura 39 a la figura 41). En la tabla 18 se presentan las observaciones de los perfiles estratigráficos analizados.

**Tabla 18.**

*Observaciones de los modelos de cada perfil empleando métodos tenso - deformacionales*

Perfil más crítico	Observaciones
0 + 060	Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.16 m. Los desplazamientos en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aproximada de 10 metros.
0 + 080	Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.22 m, y en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aprox. de 12 m.

**Tabla 18**

*Observaciones de los modelos de cada perfil empleando métodos tenso – deformacionales*

*(continuación)*

0 + 100	Los desplazamientos horizontales máximos estimados en la corona del talud son de 0.14 m. Los desplazamientos en la cara del talud son significativos hasta una profundidad aproximada de 12 metros.
---------	---

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano modificado, 2017.

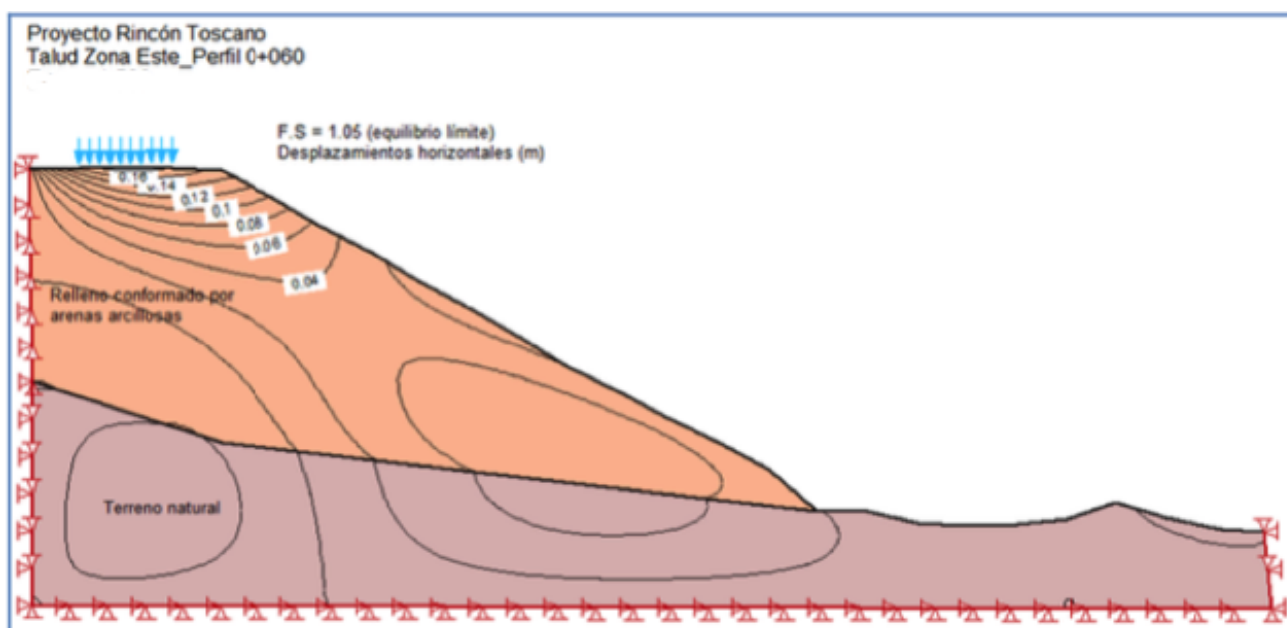


Figura 39. Modelo de deformacional para el perfil 0 + 060

Nota fuente: GIE.

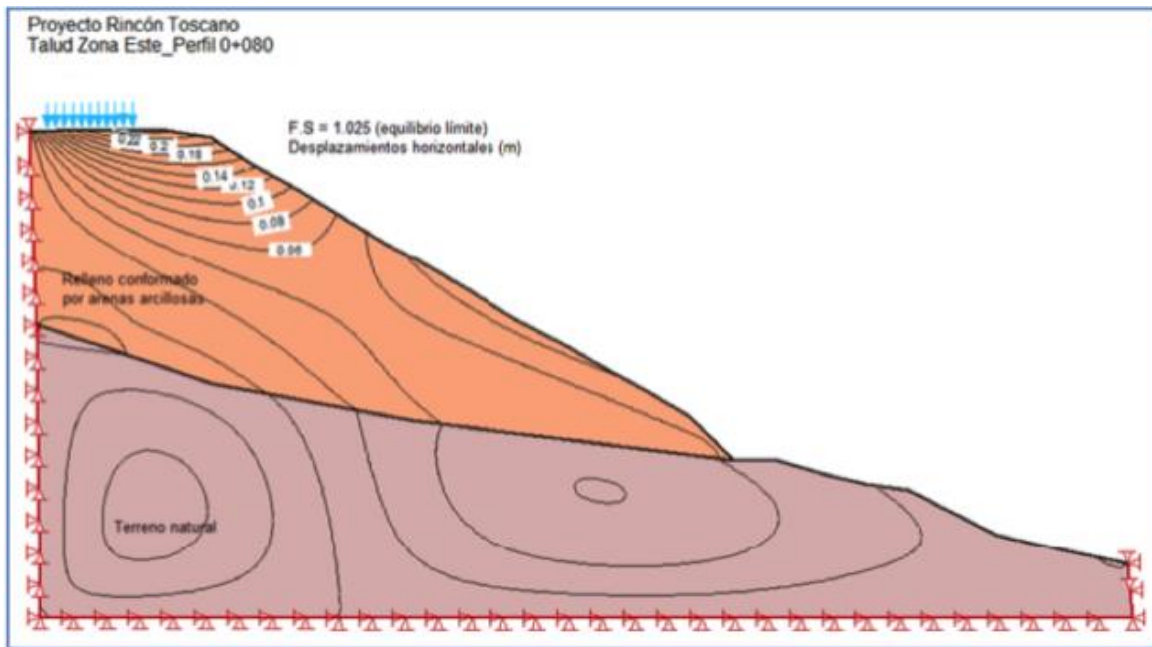


Figura 40. Modelo de deformacional para el perfil 0 + 080.

Nota fuente: GIE.

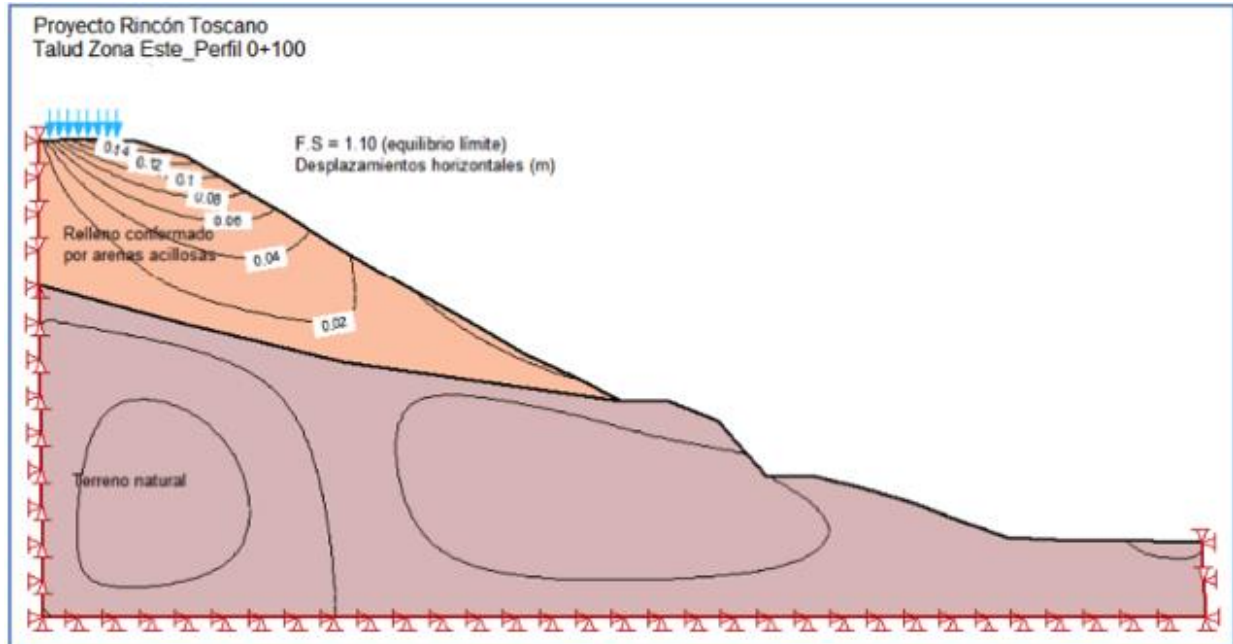


Figura 41. Modelo de deformacional para el perfil 0 + 100.

Nota fuente: GIE.

**3.1.3.5. Emplear los factores de valuación para analizar la estabilidad:** Se realizó un análisis cualitativo de la estabilidad por medio de factores de valuación, que permitió tomar en cuenta la influencia de factores condicionantes y desencadenantes que no pueden ser evaluados cuantitativamente ni modelados matemáticamente con los métodos de cálculo existentes.

Los factores de valuación son un conjunto de parámetros que permiten evaluar la influencia de los diferentes factores condicionantes y desencadenantes que intervienen en la estabilidad de taludes y laderas. Las características de cada factor deben tipificarse de manera adecuada para involucrar su efecto en el comportamiento; una manera de hacerlo es asignándoles un intervalo de valores que indique su efecto sobre la estabilidad de una ladera, con valores ponderados comprendidos entre 0 y 1, el primero corresponde a un efecto nulo o mínimo sobre la estabilidad (no influye o influye muy poco) y el segundo, al de mayor impacto sobre la misma (influye significativamente). Los efectos no extremos se evalúan con valores intermedios (Cuanalo et al., 2007)

Los factores de valuación que se utilizaron se muestran en la tabla 19 así como las principales características de las laderas y/o taludes, región o parámetros de cálculo, tomadas en cuenta para determinarlos. Siguiendo el lineamiento de la metodología empleada por el Grupo Iteico Euroamericano, una vez obtenido el factor de valuación general, se definieron los intervalos y niveles de influencia de los mismos utilizando la tabla 20 para el nivel de influencia, el cual se evalúa en: Bajo, medio, alto.

**Tabla 19.**

*Resumen de los factores de valuación utilizados en el análisis cualitativo de estabilidad*

<b>Factor de Valuación</b>	<b>Concepto</b>	<b>Obtenidos en función de:</b>
Dependiente de las características intrínsecas de la ladera	Morfología y topografía	Forma e inclinación de la ladera
	Suelos friccionantes	Inclinación de la ladera y ángulo de fricción interna.
	Mecánica de Suelos	Inclinación de la ladera, altura, peso volumétrico y resistencia no drenada
	Suelos finos (Limos y arcillas)	
	Hidrogeología	Inclinación de la ladera y grado de saturación del suelo Espesor del suelo.
Vegetación	Tipo de Vegetación Densidad de follaje Área cubierta Tipo de raíz	
Dependientes de las condiciones regionales del sitio	Terremotos	Coefficiente sísmico
	Erosión y socavación	Características del suelo superficial Área de la cuenca Características del sistema de drenaje
	Actividad humana	Cortes o excavaciones Sobrecargas Deforestación
Dependientes del análisis cualitativo de la estabilidad	Superficie de rotura	Profundidad
	Factor de Seguridad	Valor Cuantitativo

Nota fuente: GIE.

**Tabla 20.**

*Intervalos y nivel de influencia de los factores de valuación*

<b>Factor de valuación</b>	<b>Nivel de influencia</b>	<b>Consideraciones</b>
< 0.5	Bajo	No tiene problemas
0.5 + 0.75	Medio	Requiere atención
> 0.75	Alto	Atención Urgente

Nota fuente: GIE.

En la tabla 21 se presentan los valores obtenidos del análisis cualitativo que expresan la influencia de diferentes factores condicionantes y detonantes en la inestabilidad de la ladera.

**Tabla 21.**

*Valores obtenidos del análisis cualitativo para los proyectos analizados*

<b>Factor de valuación</b>	<b>Valor (Proyecto N°2)</b>	<b>Valor (Proyecto N°1)</b>
Morfología y topografía	0.45	0.60
Mecánica de Suelos	0.90	0.92
Hidrogeología	0.75	0.75
Vegetación	0.86	0.50
Actividad Sísmica	1.00	1.00
Erosión y socavación	0.72	0.80
Actividad humana	0.70	0.70
Análisis cuantitativo de de estabilidad	0.75	0.75
<b>Factor General</b>	<b>0.766</b>	<b>0,810</b>

Nota fuente: Grupo Iteico Euroamericano modificado, 2017.

Como paso final el análisis cualitativo arrojó como resultado un factor de valuación general, en ambos casos superior a 0,75. Esto significa que los factores condicionantes y detonantes analizados tienen alto nivel de influencia sobre la inestabilidad de la ladera estudiada y por tanto, la situación requiere de atención urgente. El análisis indica además, que los factores de mayor influencia en la inestabilidad son: Actividad sísmica, características de los suelos, vegetación, hidrogeología, análisis cuantitativo de estabilidad, erosión y socavación.

**3.1.4. Determinar el riesgo por deslizamiento en función de la amenaza y vulnerabilidad para los proyectos asignados.** Para poder conocer el riesgo por inestabilidad el Grupo Iteico Euroamericano utiliza la ecuación mostrada a continuación, ésta se encuentra en función de las variables: Amenaza y Vulnerabilidad.

$$R_{ieIt} = A_i * V_e$$

Donde:

$R_{ieIt}$ : Es el Riesgo, entendido como la probabilidad de que se presenten pérdidas sobre los elementos expuestos (e), si ocurre un movimiento en masa con una intensidad (i), durante un periodo de exposición específico (t);

$A_i$ : Es la Amenaza, entendida como la probabilidad de que se presente un movimiento en masa con una intensidad (i) durante un período de exposición específico (t);

$V_e$ : Es la Vulnerabilidad, entendida como la predisposición de los elementos expuestos o susceptibles a sufrir daños ante la ocurrencia del movimiento en masa.

La evaluación del riesgo por movimientos de remoción en masa comprende la evaluación de daños que pueden sufrir las viviendas, instalaciones y servicios, así como su exposición potencial y la probable afectación humana (Barragán, 2008).

**3.1.4.1. Evaluar la amenaza de un posible deslizamiento:** Desafortunadamente, debido a la complejidad de los sistemas físicos en los cuales un gran número de variables puede condicionar el proceso, la ciencia aún no cuenta con técnicas que le permitan modelar con alta precisión dichos sistemas y por lo tanto los mecanismos generadores de cada una de las amenazas. Por esta razón, la evaluación de la amenaza, en la mayoría de los casos, se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, utilizando información de eventos que han ocurrido en el pasado y modelando con algún grado de aproximación los sistemas físicos involucrados. (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, 2002).

En otras palabras, para poder cuantificar la probabilidad de que se presente un evento de una u otra intensidad durante un período de exposición, es necesario contar con información, la más completa posible, acerca del número de eventos que han ocurrido en el pasado y acerca de la intensidad que tuvieron los mismos. La evaluación de la amenaza efectuada se realizó en función de la ocurrencia de deslizamientos existentes en el área de estudio, a partir de las observaciones, mediciones de campo, análisis y revisión de información disponible (mapas, levantamiento topográfico, fotos aéreas, estudios geotécnicos, informes).



3.1.4.1.1. *Valor de la amenaza para el proyecto N°1.* Para valorar la amenaza en el proyecto ubicado en el fraccionamiento Rincón Toscano se empleó los valores propuestos por los autores Oliva A. Y Gonzales C. (Tabla 22) teniendo en cuenta las variables: Factor de Seguridad y las profundidades de superficies de falla, parámetros obtenidos anteriormente mediante el software Slope-W con el cual se analizó la estabilidad; en base a los factores de valuación que consideran la susceptibilidad a deslizamientos se evidencia en la tabla 23 los resultados del análisis de estabilidad, expresado como el por ciento de probabilidad de que ocurra un movimiento de tierras.

**Tabla 22.**

*Factores de evaluación que consideran la susceptibilidad a deslizamientos.*

Características del análisis de estabilidad	Factor de valuación de estabilidad ( <i>f<sub>c</sub></i> )			
	Superficial < 1.5 m	Somera 1.5 + 5 m	Profunda 5 + 12.5 m	Muy Profunda 12.5 + 20 m
Superficie de rotura	0.25	0.50	0.75	1.00
Factor de Seguridad (F.S.)	Inestable F.S. < 1	Estabilidad crítica F.S. : 1 + 1.5.		Estable F.S: > 1.5
	1.00	0.75		0.00

Nota: El factor de valuación total es el promedio de los factores correspondientes a la superficie de rotura y F.S.

Nota fuente: Gonzales y Oliva.

**Tabla 23.**

*Valor de la amenaza de deslizamiento en cada perfil.*

Perfil	Amenaza (%)	Perfil	Amenaza (%)
0 + 000	0,375	0 + 100	0,875
0 + 020	0,75	0 + 120	0,75
0 + 040	0,75	0 + 140	0,75
0 + 060	0,875	0 + 160	0,75
0 + 080	0,875		

Nota fuente: GIE.

3.1.4.1.2. *Valor de la amenaza para el proyecto N°2.* La zona de estudio cuenta con una historia de deslizamientos frecuentes que permiten clasificar la susceptibilidad de la ladera como “Alta”, según los criterios de la tabla 25. Por otro lado, los factores de seguridad obtenidos en el análisis cuantitativo y los resultados del análisis cualitativo permiten evaluar la amenaza como “Media” con alta influencia de factores no incluidos al momento de efectuar cálculos (tabla 26).

En términos cuantitativos, los registros de deslizamientos de laderas ocurridos en sitios cercanos a la zona de estudio con similares características, geológicas, geotécnicas y geomorfológicas, permiten estimar la probabilidad anual de ocurrencia de un movimiento peligroso en 0,33/año (aproximadamente 1 en 3 años). Por tanto, el valor de la amenaza para casi todos los elementos corresponde a una probabilidad de 0.33 de ocurrencia en toda la zona de estudio (tabla 24).

**Tabla 24.**

*Valor de la amenaza para cada elemento expuesto.*

Dirección del Movimiento	Elemento expuesto	Amenaza P(H)
1	I	0.33
	II	0.33
	III	0.33
	IV	0.33
2	IV	0.33
	VII	0.33
	VIII	0.33
	IX	0.33
3	IV	0.165
	III	0.165
	VII	0.165
	II	0.165
	VI	0.165
	V	0.165

Nota fuente: GIE.

**Tabla 25.**

*Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología*

<b>Factor de valuación</b>	<b>Valor (Proyecto N°1)</b>
VI (Muy Alta)	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
V (Alta)	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de ocurrencia menor a cinco años.
IV (Medianamente Alta)	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años.
III (Mediana)	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
II (Baja)	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
I (Muy Baja)	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

Nota fuente: Crozier, 1986.

**Tabla 26.**

*Escalas recomendadas para la zonificación de amenaza por los deslizamientos.*

<b>Amenaza</b>	<b>Factores de Seguridad estáticos</b>	<b>Factores de seguridad dinámicos (<math>K_h = 0,5A</math>)</b>	<b>Observación</b>
Baja	Mayores a 1.5	Mayores de 1.15	El escenario de análisis estático debe incluir los niveles de aguas de acuerdo con un período de retorno.
Media	1.2 a 1.5	1.0 a 1.5	
Alta	Menores de 1.2	Menores de 1.0	

Nota fuente: Suarez, 1998.

### **3.1.4.2. Estimar la vulnerabilidad física de los proyectos.**

*3.1.4.2.1. Vulnerabilidad para la zona de estudio ubicada en el fraccionamiento Rincón Toscano.* Debido a la magnitud de la probabilidad de los deslizamientos y a la proximidad de las viviendas a la corona del talud se toma el valor de la vulnerabilidad de los elementos a sufrir daños por los deslizamientos como  $V=1$  (Valor Máximo). En el análisis de estabilidad mediante los métodos tenso - deformacionales se vislumbró un alto riesgo para los elementos expuestos (viviendas) en cada uno de los perfiles analizados.

*3.1.4.2.2. Vulnerabilidad para la zona de estudio ubicada en el fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial.* Para evaluar la vulnerabilidad, se apoyó al Grupo Iteico Euroamericano a analizar los daños que podría ocasionar el deslizamiento del terreno con probabilidades de movimiento, es decir, no se evaluó la ocurrencia de tres movimientos en la ladera y los elementos expuestos que involucraba cada uno.

En este caso, los elementos expuestos y susceptibles de sufrir daños son las viviendas existentes dentro y en el entorno de la zona potencialmente inestable. Además, para evaluar la vulnerabilidad se consideraron la profundidad de las cimentaciones y de las superficies de rotura (figura 42). Las infraestructuras viales, de agua potable y drenaje, electricidad y comunicaciones que pudieran ser afectadas, no fueron consideradas en el análisis por no disponer de datos precisos sobre su cantidad y costos. En la tabla 27 se muestran los elementos expuestos y sus vulnerabilidades físicas, obtenidas según los criterios de evaluación de las tablas 28 y 29.



Figura 42. Elementos susceptibles a sufrir daños por movimientos del terreno.

Nota fuente: GIE.

**Tabla 27.**

*Vulnerabilidades de los elementos expuestos*

Dirección del Movimiento	Elemento expuesto	Vulnerabilidad
1	I	1
	II	1
	III	1
	IV	0.3
2	IV	0.7
	VII	0.5
	VIII	1
	IX	0.7

**Tabla 27.**

*Vulnerabilidades de los elementos expuestos (continuación)*

	IV	1
	III	1
3	VII	0.5
	II	0.5
	VI	0.3
	V	0.3

Nota fuente: GIE.

Imiriland (2007) recomienda índices para evaluar diferentes tipos de vulnerabilidades, según las pérdidas y daños esperados, dichas recomendaciones se muestran en la tabla 28.

**Tabla 28.**

*Valores de vulnerabilidad física al impacto de deslizamientos de tierra.*

<b>Descripción de Vulnerabilidad</b>	<b>Rango de pérdidas</b>	<b>Índice</b>
Estructuras intactas	0	0
Daños locales	1 + 25%	0.25
Daños serios pero posibles de reparar	26 + 50%	0.50
Destruído en su mayoría y difícil de reparar	51 + 75%	0.75
Destruído Local	76 + 100%	1.00

Nota fuente: Imiriland.

No existe un procedimiento o guía aceptada para evaluar la vulnerabilidad y la mayoría de autores recomiendan utilizar criterios relativamente subjetivos. Ragozin y Tikhvinsky (2000) proponen valores de vulnerabilidad de una estructura de acuerdo con su profundidad de cimentación (tabla 29).

**Tabla 29.**

*Valores tentativos de vulnerabilidad de una estructura a los deslizamientos de acuerdo con su profundidad de cimentación.*

<b>Profundidad de la Cimentación (incluyendo pilotes) [m]</b>	<b>Profundidad del deslizamiento [m]</b>	<b>Vulnerabilidad</b>
< 2	< 2	1.0
> 2	> 2	0.0
Menos que la profundidad del deslizamiento	2 - 10	1.0
10 - 13	2 - 10	0.5 – 1.0
> 13	2 - 10	0.0 – 0.5 *
Cualquiera	> 10	1.0**

Notas:

(\*) Los valores están por encima de cero para los deslizamientos cuyo pie es más alto que la profundidad de cimentación; la velocidad de movimiento hacia el edificio es de más un metro por segundo y el volumen es de más de 100 m<sup>3</sup>.

(\*\*) Excepto para cimentaciones especiales resistentes a los deslizamientos considerados.

Nota fuente: Regonzi y Tikhvinsky.

**3.1.4.3. Establecer el riesgo por deslizamiento en la zona de estudio.** En resumen, para evaluar el riesgo se siguieron tres pasos: la evaluación de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo como resultado de relacionar los dos parámetros anteriores. En los párrafos antepuestos se obtuvieron los valores necesarios, por lo tanto ahora se culmina la obtención del riesgo.

**3.1.4.3.1. Estimar el riesgo en el proyecto N°1.** Como se ha mencionado con anticipación el riesgo se calculó mediante la ecuación 1, y con la supervisión del Ing. Aldo Oliva, se apoyó en la obtención del mismo, la tabla 30 contiene el resumen de los valores encontrados.

**Tabla 30.**

*Porcentaje de riesgos para el proyecto ubicado en el fraccionamiento Rincón Toscano.*

<b>Perfil</b>	<b>Amenaza (%)</b>	<b>Vulnerabilidad de elementos expuestos (%)</b>	<b>Riesgos de daños (%)</b>
0 +000	0,375	1,00	0,375
0 +020	0,75	1,00	0,75
0 +040	0,75	1,00	0,75
0 +060	0,875	1,00	0,875
0 +080	0,875	1,00	0,875
0 +100	0,875	1,00	0,875
0 +120	0,75	1,00	0,75
0 +140	0,75	1,00	0,75
0 +160	0,75	1,00	0,75

Nota fuente: GIE.

A partir de estos resultados se efectuó una zonificación en el talud (Figura 43) teniendo en cuenta el grado de inestabilidad y riesgo de deslizamiento del área; para detectar las viviendas con mayor exposición y proceder a tomar las medidas preventivas y/o recomendaciones. Sin embargo se conoce el hecho de que la aplicación de medidas preventivas no garantiza una confiabilidad del 100% de que no se presenten consecuencias, razón por la cual el riesgo no puede eliminarse totalmente, pero es conveniente reducir lo mayor posible las consecuencias, implementando medidas estructurales y no estructurales para reducir la vulnerabilidad o la intensidad con la que impacta un fenómeno. El análisis determinó el perfil 0 + 080 como el más crítico, y en la Figura 44 se observan las dimensiones de las probables superficies de falla.



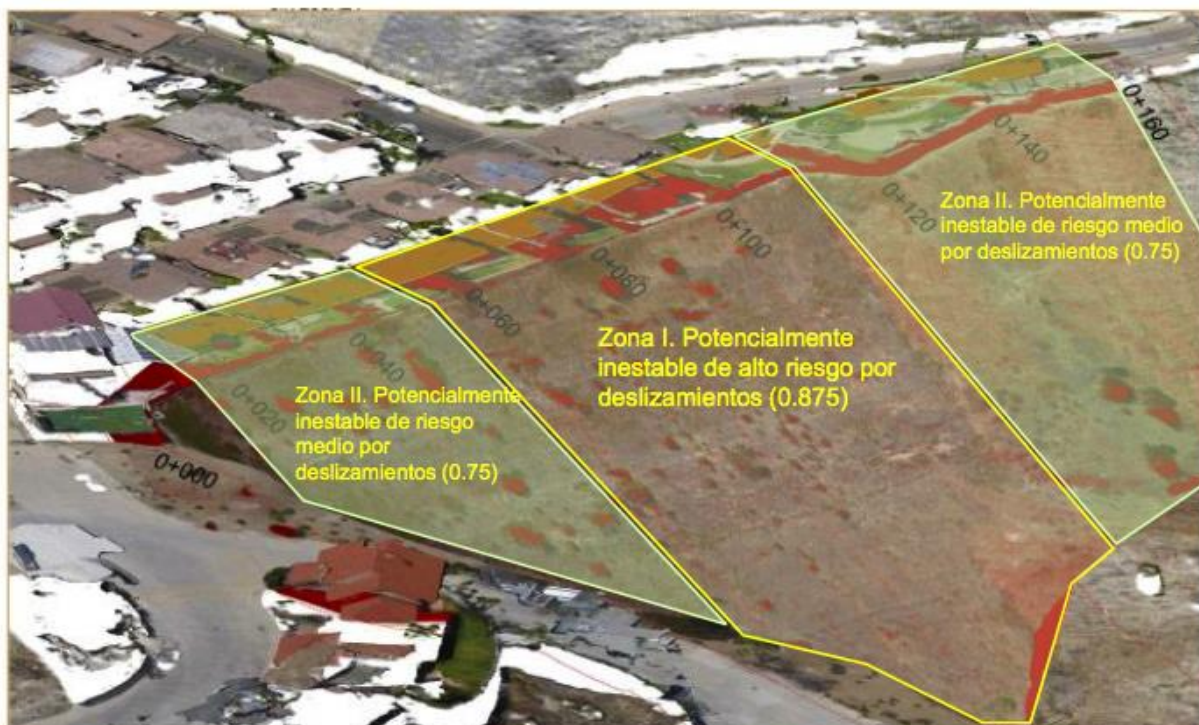


Figura 43. División de las zonas por inestabilidad del terreno y nivel del riesgo.

Nota fuente: GIE.

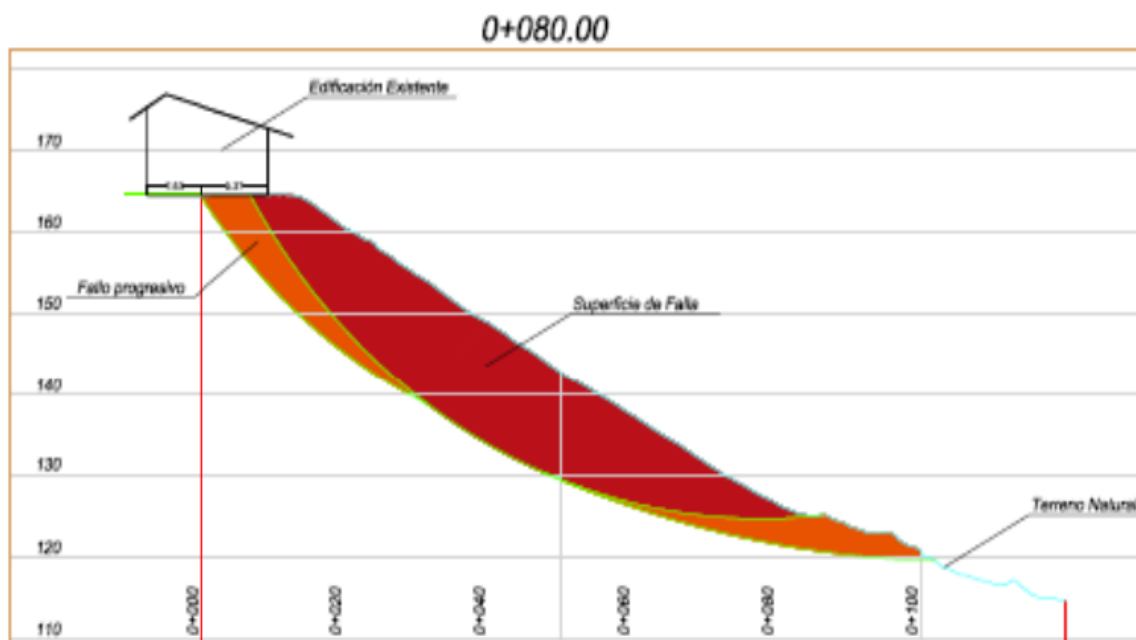


Figura 44. Dimensiones de las probables superficies de falla en el perfil considerado más crítico.

Nota fuente: GIE.

3.1.4.3.2. *Estimar el riesgo en el proyecto N°2.* En el análisis del riesgo se tuvieron en cuenta el Riesgo Específico R(S), el Valor del Riesgo Específico R (SV) y el Riesgo Múltiple R (M) que se presentan en la zona. Es importante destacar que, teniendo en cuenta la posibilidad de que el movimiento de la masa se presente en tres direcciones y en diferentes momentos, la evaluación del riesgo se hizo considerando las tres direcciones posibles de movimiento. La tabla 31 muestra la evaluación de los diferentes riesgos en función de la amenaza y vulnerabilidad.

**Tabla 31.**

*Resultados de la evaluación del riesgo para el proyecto en Lomas Conjunto Residencial.*

Dirección del Movimiento	Elemento expuesto	Amenaza P(H)	Vulnerabilidad	Riesgo Específico R(S)
1	I	0.33	1	0.03
	II	0.33	1	0.03
	III	0.33	1	0.03
	IV	0.33	0.3	0.09
2	IV	0.33	0.7	0.21
	VII	0.33	0.5	0.15
	VIII	0.33	1	0.30
	IX	0.33	0.7	0.21
3	IV	0.165	1	0.15
	III	0.165	1	0.15
	VII	0.165	0.5	0.07
	II	0.165	0.5	0.07
	VI	0.165	0.3	0.04
	V	0.165	0.3	0.04

Nota fuente: GIE.

**3.1.4.4. Analizar el resultado obtenido.** En resumen, debido a las condiciones actuales de la zona se vio la necesidad de evaluar el potencial de riesgo, el Grupo Iteico Euroamericano en busca de promover el proceso de investigación realiza las actividades de seguimiento y consultoría. En los fraccionamientos Rincón Toscano y Lomas Conjunto Residencial existen evidencias de contrastes geológicos estructurales dispensadores de contingencias, dichos antecedentes muestran que la inestabilidad en el terreno ha provocado cuantiosas pérdidas materiales y considerables daños a las infraestructuras, generando situaciones de emergencia.

La evaluación de riesgo varía entre el rango 0 y 1, el primero indica la no ocurrencia y no daño en el terreno, mientras que el segundo la certeza de que ocurrirá y destrucción total. En ambos proyectos se obtuvieron valores diferentes de riesgo, sin embargo los que se encuentran entre 0 – 0.5 revelan un bajo nivel de riesgo y en el rango 0.51 – 1.00 riesgo inminente. Al obtener estos valores lo más importante es tomar medidas de prevención, construcción de obras de mitigación y el fortalecimiento de la comunidad para garantizar la seguridad de los propietarios y posible personal afectado. En la tabla 32 se presentan algunas propuestas y estrategias para reducir la vulnerabilidad y el riesgo.

**Tabla 32.**

*Medidas y estrategias para reducir la vulnerabilidad y el riesgo.*

Dirección del Movimiento	Estrategia	Características
Estructurales	Construcción de procesos de estabilización para reducir la vulnerabilidad física.	Rectificación geométrica, elementos de drenaje, elementos estructurales de refuerzo, muros de contención, protección superficial,

**Tabla 32.***Medidas y estrategias para reducir la vulnerabilidad y el riesgo (continuación)*

Instrumentales	Instalación de equipos de instrumentación y monitoreo para establecer un sistema de alerta temprana con la finalidad de reducir la vulnerabilidad física y funcional.	Piezómetros, inclinómetros, pluviómetros, puntos de nivelación, topografía, extensómetros y sismógrafos.
No estructurales	Difusión de información, identificación de la amenaza (factores condicionantes y desencadenantes), evaluar la vulnerabilidad (nivel de exposición y grado de fragilidad de la comunidad), integración de los mapas de riesgo, elaboración de reglamentos o códigos de construcción para regular el uso del suelo y el ordenamiento territorial, todos ellos con la finalidad de reducir la vulnerabilidad social.	Fortalecimiento institucional, educación, capacitación y preparación de la comunidad, legislación y planificación para mitigar el impacto de la actividad humana en el medio ambiente, participación comunitaria y gestión de riesgo a nivel local, regional, estatal, nacional e internacional.

Nota fuente: Cuanalo &amp; Gallardo.

**3.1.5. Elaborar un manual instructivo para el análisis de la estabilidad del terreno**

**utilizando el método de equilibrio límite.** La ejecución de un manual de uso del método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad del terreno (Apéndice G) busca proveer una herramienta básica y didáctica de uso ágil que le permitan al interesado establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo, para proyectos que por las características del terreno y las requieran del uso de este tipo de consultoría.

**3.1.5.1. Revisión bibliográfica de los conceptos acordes a la temática.** El manual parte de la revisión de conceptos básicos de ingeniería más empleados en el documento, sobre términos generales, relacionados con probabilidad y términos técnicos. También se describen los ensayos de laboratorios de mecánica de suelos necesarios para conocer las características del terreno.

**3.1.5.2. Estudiar los métodos de equilibrio límite (estático y dinámico) empleados en el análisis de estabilidad.** En los últimos años, con el desarrollo de los llamados métodos numéricos, se ha conseguido introducir el análisis de las deformaciones en el cálculo de la estabilidad de taludes y laderas. Los resultados obtenidos con la aplicación de estos métodos son bastante exactos y de mucha utilidad para el estudio de la estabilidad, pues con ellos se consigue simular el comportamiento tenso-deformacional del terreno. De forma general, los métodos de cálculo utilizados para analizar la estabilidad de taludes y laderas se pueden clasificar en dos grandes grupos: métodos generales basados en el equilibrio límite de la masa de terreno que desliza y métodos que consideran las deformaciones del terreno.

Para el caso del manual se analiza los métodos basados en el equilibrio límite, los cuales a su vez, se pueden clasificar teniendo en cuenta la precisión de las soluciones que se obtienen con su aplicación, en los siguientes grupos:

- Métodos exactos, donde la aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema, con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite (ausencia de deformaciones, factor de seguridad constante en toda la curva

de rotura). Esto sólo es posible en casos de geometría sencilla como por ejemplo la rotura planar y rotura por cuñas (León & González, 2013).

- Métodos no exactos, en los cuales la mayor parte de los casos la geometría de la curva de rotura, no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución (León & González, 2013).

El manual contiene una breve explicación del procedimiento general para la aplicación de los métodos, centrándose en el de equilibrio límite, mostrando dos programas informáticos altamente usados: RocLab y GeoStudio 2004.

#### 4. Diagnóstico final

En el lapso de tiempo como pasante se brindó apoyo técnico al análisis y evaluación del riesgo en los proyectos denominados “Análisis de la estabilidad del terreno y monitoreo geotécnico-estructural en el Fraccionamiento Rincón Toscano” y “Diagnóstico, evaluación y modelación del riesgo por inestabilidad de una ladera en el sector norte del fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial de la delegación La Mesa en la ciudad de Tijuana” realizando actividades como visitas técnicas a los sitios de estudio, levantamientos topográficos y fotogramétricos, revisión de pruebas de laboratorio efectuadas en los sondeos y trincheras, el uso de los métodos de equilibrio límite y tenso – deformacionales, en particular ejecutando todo el lineamiento implementado por el Grupo Iteico Euroamericano, correspondiente a acciones en busca de diagnosticar el riesgo por deslizamientos, debido a que el objetivo en estos proyectos era diagnosticar y evaluar el riesgo a fin de plantear medidas de prevención y mitigación si el sector las amerita.

Se desarrolló un *Manual de uso del método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad del terreno*, resultado del proceso de investigación al lado del personal administrativo y bajo la dirección del Dr. Aldo Oliva, director general del Grupo Iteico. Dicho manual constituye un aporte tanto a la Universidad de las Californias Internacional como a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. El propósito principal consiste en ser una guía práctica para los ingenieros responsables del análisis de la estabilidad del terreno para determinar el riesgo y proponer las medidas necesarias que ayuden o mitiguen los efectos que se presentarán si ocurre un siniestro. Existen diferentes sistemas de análisis de estabilidad cuantitativos, cada uno presenta estrategias y mecanismos que lo diferencian, para fines del manual se trabajó con el

método de equilibrio límite, debido a la existencia de una gran cantidad de paquetes de software, la fácil obtención de un número de factor de seguridad, el análisis de superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc., y como última instancia la posibilidad de realizar análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.



## 5. Conclusiones

La geología, hidrogeología, morfología y la actividad humana en la ciudad de Tijuana han contribuido a generar muchas zonas de riesgo en el área metropolitana, debido a esto los análisis del riesgo por inestabilidad son requeridos y las entidades de investigaciones como lo es el Grupo Iteico Euroamericano efectúan actividades con el fin de colaborar a la comunidad. Se brindó un apoyo técnico al grupo donde se aportaron conocimientos en la ejecución de los análisis en los fraccionamientos Rincón Toscano y Lomas Conjunto Residencial, en el transcurso se aprendió la metodología tras la cual se rige el grupo para llevar a cabo sus estudios, aparte se conoció los software y equipo empleado para modelar, calcular los valores necesarios, y evaluar las zonas con potencial de inestabilidad; se puede afirmar que el método para evaluar el riesgo es muy similar al empleado en Ocaña a través de personal de la Universidad Francisco de Paula Santander, sin embargo se cuenta con un adelanto tecnológico mayor, que brindan ventajas y disminuyen costo y tiempo, factores muy influyentes a la hora de elaborar un diagnóstico de inestabilidad.

Se realizó una revisión sobre la información existente correspondiente a los proyectos asignados por el Grupo Iteico Euroamericano para el desarrollo de la pasantía, permitiendo comprender mediante los antecedentes e inspección visual de la problemática actual en las viviendas, la razón que conllevó a ejecutar el análisis del riesgo en el sector.

Se determinaron las características de la masa de suelo presente en el talud a través de laboratorios de Pruebas de corte directo, de expansión, proctor modificado, valor de resistencia, granulometría y límites de Atterberg, para calcular el peso volumétrico seco, el contenido de humedad, la cohesión unitaria, el ángulo de fricción interna, índice de expansión, tipo de suelo y porcentaje existente en el mismo, efectuadas a muestras alteradas extraídas de sondeos y trincheras, también se efectuó un análisis de la geología regional y local utilizando herramientas como la carta geológica de la república Mexicana y mapas de geología suministrados por el Grupo Iteico Euroamericano, todo esto con la finalidad de identificar los factores geológico - geotécnicos condicionantes de inestabilidad.

En la ejecución del análisis de estabilidad cuantitativo en las áreas de estudio se implementaron dos métodos, el de equilibrio límite permitió conocer los valores del factor de seguridad, el cual varió desde 1.05 hasta 1.93 para cada uno de los perfiles estratigráficos, además de las superficies de falla o rotura permitiendo identificar a su vez las zonas potencialmente inestables, y los tenso – deformacionales facilitaron la magnitud de los desplazamientos que podrían producirse en las zonas de equilibrio crítico, donde el mínimo movimiento consistió en 0,14 m y 0.22 m el máximo, Se verificó que el Factor de seguridad cumpliera con el especificado en la normativa, para garantizar la estabilidad del talud, aquellos fuera del rango permisible corresponden a la zona potencialmente inestable, es decir para este caso por debajo de 1.30 la masa de suelo es inestable, para el proyecto ubicado en Rincón Toscano en los perfiles 0 + 040 hasta el 0 + 140 se obtuvieron valores por debajo del rango permisible, y en el proyecto ubicado en Lomas Conjunto Residencial los perfiles 2 y 3 no

alcanzaron el nivel de estabilidad requerido porque su factor de seguridad estuvo por debajo de 1.30.

Con el fin de determinar el riesgo por deslizamiento, inicialmente se efectuó un análisis de la amenaza del sector para luego evaluar la vulnerabilidad de los proyectos estudiados, a través de procesos matemáticos se calculó el riesgo y como última instancia se procedió a analizar los resultados obtenidos, donde el rango 0.0 – 0.5 indica una probabilidad menor de riesgo y entre 0.51 – 1.00 un riesgo inminente, al evaluar los taludes ambos estuvieron comprendidos entre las dos zonas, se realizaron las apreciaciones por parte del Grupo para prevenir la ocurrencia de deslaves, mencionando la necesidad de medidas estructurales y no estructurales para evitar o reducir los impactos negativos de los movimientos de masas de suelo y rocas inestables.

Finalmente se elaboró un manual instructivo para el análisis de la estabilidad del terreno utilizando el método de equilibrio límite considerando las metodologías y prácticas desarrolladas en la ejecución de los proyectos a los cuales se les brindó apoyo técnico, además se realizó un instructivo para la aplicación de los programas RocLab y GeoStudio 2004 en el análisis.

## **6. Recomendaciones**

Se recomienda instalar un equipo de laboratorio en las instalaciones del Grupo Iteico Euroamericano con el objetivo de ejecutar las pruebas de mecánica de suelos y geotecnia a las muestras recolectadas en el estudio de los proyectos analizados, de esta manera se comprobará la veracidad de los datos en la zona y se agilizará el proceso debido a que el tiempo de obtención de los datos sería menor.

Implementar una base de datos que contenga las zonas sobre las cuales se han realizado estudios de evaluación del riesgo a causa de inestabilidad, con el fin de que las entidades públicas o privadas y la comunidad en general tenga acceso a ella, y así considerar la situación de riesgo de las viviendas, y con base a ello realizar acciones pertinentes.

Capacitar a más personas de la Universidad para que realicen la función de auxiliares, llevando a cabo actividades no tan complejas como lo es la supervisión de las obras, visitas técnicas, análisis de muestras, entre otras.

## Referencias

- Morán, Z. D. (s.f.). *Geología de la República Mexicana* (Vol. II).
- GEOCON INCORPORATED. (2005). *Estudio Geotécnico Sobrantes Cumbres de Juárez delegación centro, Tijuana, Baja California*. Estudio Geotécnico, Tijuana.
- Matteis, Á. (2003). *Estabilidad de Taludes*. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias, Ingeniería y Agrimensura, Provincia de Santa Fe.
- Servicios profesionales de Geología, Geofísica y Geotecnia. (2012). *Estudio Sísmico - Geotécnico para la caracterización de dos sitios en la calle Monte Alegre, Tijuana*. Tijuana, Baja California, México.
- Barragán, M. (2008). *Evaluación del Riesgo por Terrenos inestables en el Sector Madrigal - Quito*. Diplomado.
- Hogarth, R. (2006). *Los seguros y la seguridad después del 11 de septiembre ¿Acaso el mundo se ha vuelto un lugar más "riesgoso"?* Obtenido de Cholonautas. Sitio Web para el desarrollo de las Ciencias Sociales en el Perú.: <http://www.cholonautas.edu.pe>
- Cardona, O., Hurtado, J., Duque G, Moreno, A., Chardon, A., Velázquez, S., y otros. (2003). *The Notion Of Disaster Risk. Conceptual Framework For Integrated Risk Management*. Recuperado el 2017, de Universidad Nacional de Colombia: Manizales: <http://idea.unalmz.edu.co/documentos/IADB-IDEA%20Indicators%20-%20Summary%20Report%20for%20WCDR.pdf>
- Universidad de las Californias Internacional. (2017). *¿Quiénes Somos?* Recuperado el Febrero de 2017, de UDCI, El prestigio no se hereda, se gana: <http://www.udc.com.mx/index.php/quienes-somos/quienes-somos.html>
- Heras, A. (2010). *Arrasa deslave en Tijuana 11 casas y daña 8*. Obtenido de La Jornada en Línea: <http://www.jornada.unam.mx/2010/05/04/estados/031n1est>
- Anónimo. (2017). *Protección Civil de Tijuana supervisa áreas afectadas por taludes*. Recuperado el Mayo de 2017, de 20 minutos: <http://www.20minutos.com.mx/noticia/186119/0/proteccion-civil-de-tijuana-supervisa-areas-afectadas-por-aludes/#xtor=AD-1&xts=513356>
- Camarillo, J. L. (2017). *Tijuana se convierte en la capital del mundo por deslizamientos*. . Obtenido de UniObregón.com: <http://www.uniobregon.com/noticias/tijuana/465387/tijuana-se-convierte-en-la-capital-del-mundo-por-deslizamientos-pc.html>
- Protección Civil. (2016). *Dirección Municipal de Protección Civil en Tijuana*. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.tijuana.gob.mx/ubicacion.aspx>
- Gobierno de Estado. (s.f.). *Dignóstico Estratégico*. Tijuana, Baja California.

Cyment, D. (1979). Riesgo Sísmico de los Asentamientos Humanos en la Zona Fronteriza de la Baja California y la Planeación de la Seguridad. *Simposium "The Human Settlements on THE SANANDREAS FAULT"*. .

Reyes, A., Brune, J., Baker, T., Canales, L., Madrid, J., Rebollar, J., y otros. (1975). *A microearthquake survey of the San Miguel fault zone, Baja California, Mexico: Geophysical Research Papers* (Vol. II).

Frez, J., & Frías, V. (1998). *Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias*.

Frez, J., González, J., Méndez, I., Carlos, J., & Álvarez, M. (2000). *A detailed Microseismicity Study and Current Stress Regime in the Peninsular Ranges of Borthern Baja California, México: The Ojos Negros Region*.

Guevara, E., Quaas, R., & Zepeda, O. (2001). *El Atlas Nacional de Riesgos*. Centro Nacional de Prevención de Desastres.

Cuanalo, O., & Gallardo, R. (2016). Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo. *Revista Vector*, 31-34.

Gob.mx. (s.f.). *Atlas Nacional de Riesgos*. Obtenido de <http://www.atlasmnacionalderiesgos.gob.mx>

Cuanalo, O., Oliva, A., & González, C. (2007). Estabilidad de laderas. Análisis mediante factores de valuación. *IngeoPres* (164).

Crozier, M. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. . London.

Carrascal Osorio, G., & Arias, A. (2016). *Estudio Técnico Zona de Actividad Residencial con Afectación por Riesgo Geológico (ZARG)*. Ocaña.

Ordóñez Ante, C. A. (2016). *Estudio Geotécnico Centro de Integración Ciudadana*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Galvis, L., & Meisel, A. (2000). El crecimiento económico de las ciudades colombianas y sus determinantes, 1973-1998. *II Simposio sobre la Economía de la Costa Caribe: Las ciudades portuarias como polos de crecimiento* , (págs. 5 - 6). Cartagena de Indias.

Gutiérrez, D. (1977). *El desarrollo económico y de población en la ciudad de Tijuana*. Recuperado el Febrero de 2017, de HEINONLINE: <http://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/narj17&div=48&id=&pag>

Cervantes, M. (5 de Enero de 2017). *Inestabilidad, factor común en los suelos des estado*. Obtenido de Jornada Baja California.: <http://jornadabc.mx/tijuana/02-06-2015/inestabilidad-factor-comun-en-los-suelos-del-estado>

Rendón, A., & Vargas, R. (1998). *Sistematización del proceso de evaluación de amenaza por movimientos en masa, en zonas de ladera del municipio de Medellín*. Universidad de Antioquia, Departamento de trabajo social.

Gómez, L. (2012). *Siguen los deslizamientos en laderas Monterrey*. Obtenido de El Mexicano, Gran diario regional.: <http://www.el-mexicano.com.mx/informacion/noticias/1/3/estatal/2011/03/13/460365/siguen-los-deslizamientos-en-laderas-de-monterrey>

Lomoschitz, A. (2005). ¿Qué es y para qué sirve un estudio geotécnico en Edificación? (págs. 2 - 4). Colegio de Arquitectos de Canarias.

Instituto de Geología. (2007). *Texto explicativo de la carta Geológica de México*. (U. N. Universitaria, Ed.) México D.F.

Cupuerán, M. (2016). *Evaluación del riesgo por subsidencia en la zona de Turubamba, sur de Quito, como aporte al diseño de un plan integral de gestión de riesgo del distrito metropolitano de Quito*. Escuela politécnica nacional, Facultad de ingeniería en geología y petróleos, Quito.

León, A., & González, J. (2013). *Análisis cuantitativo de la estabilidad en taludes y laderas*. Pregrado, Universidad de la Californias Internacional, Tijuana.

Millán, J. (2005). *Guía ambiental para evitar, corregir y compensar los impactos de las acciones de reducción y prevención del riesgo en el nivel municipal*. (Vol. I). Bogotá: Departamento nacional de Planeación.

Zuñiga, H. (2011). *La inestabilidad natural del subsuelo es una amenaza a considerar, en el ordenamiento territorial de los municipios del país*. Ensayo Técnico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniería Forestal, Bogotá.

Suarez, J. (2010). Deslizamientos - análisis geotécnico. Capítulo 1 nomenclatura y clasificación de los movimientos.

CENAPRED. (2001). Inestabilidad de Laderas. En I. Alcántara, A. Echavarría, C. Gutiérrez, & I. Noriega. México, D.F., México: Miladera.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (1991). Artículo 27.

ASTM. (s.f.). *ASTM International*. Obtenido de <https://www.astm.org>

Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (Miércoles 6, de Junio de 2012). Ley General de Protección Civil. Estados Unidos Mexicanos.

Project Management Institute. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de los proyectos* (Vol. 5ta).

Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED]. (2001). *Diagnostico de Peligros e identificación de Riesgos de Desastres en México* (1º Edición ed.). (S. d. Gobernación, Ed.) México.

Keipi, K., Mora, S., & Bastidas, P. (2005). *Gestión de riesgo de amenazas naturales en proyectos de desarrollo*. Banco Interamericano de Desarrollo, Desarrollo Sostenible, Washington, D.C.

Brusi, D., & Roqué, C. (1998). *Enseñanzas de las ciencias de la tierra* (Vol. VI). Universidad de Girona.

Cardona, O. (1993). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: Elementos para el ordenamiento y planeación del desarrollo*. (M. Andrew, Editor) Obtenido de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>

Ogura, A., & Soares, E. (2000). Procesos y Riesgos Geológicos. En I. d. Paulo (Ed.), *II Curso Internacional de aspectos geológicos de protección ambiental* (pág. 126). UNESCO.

Centro Nacional para la Investigación del fenómeno de El Niño. (2004). *CIIFEN*. (G. N. Ecuador, Productor) Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es)

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-10* (Vol. II). Bogotá D.C., Colombia.

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (Vol. I). (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Escobar, C., & Duque, G. (2016). *Geotecnia para el Trópico Andino* (Vol. I). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (2002). Instrumento de Apoyo para el Análisis y la Gestión de riesgos Naturales. Managua, Nicaragua.

Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (2002). *Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua*. (E. t. COSUDE, Ed.) EDISA.

Gallardo, R., Guerrero, T., & Macgregor, A. (2013). Investigación Geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña, departamento de Norte de Santander (Colombia). *INGE CUC*, IX.



## Apéndices

## Apéndice A. Mapas guías empleados para el análisis



Figura 45. Carta Geológica de la República Mexicana.

Nota Fuente: Instituto de Geología.



Figura 46. Provincias geológicas de México.

Nota fuente: Instituto de Geología.

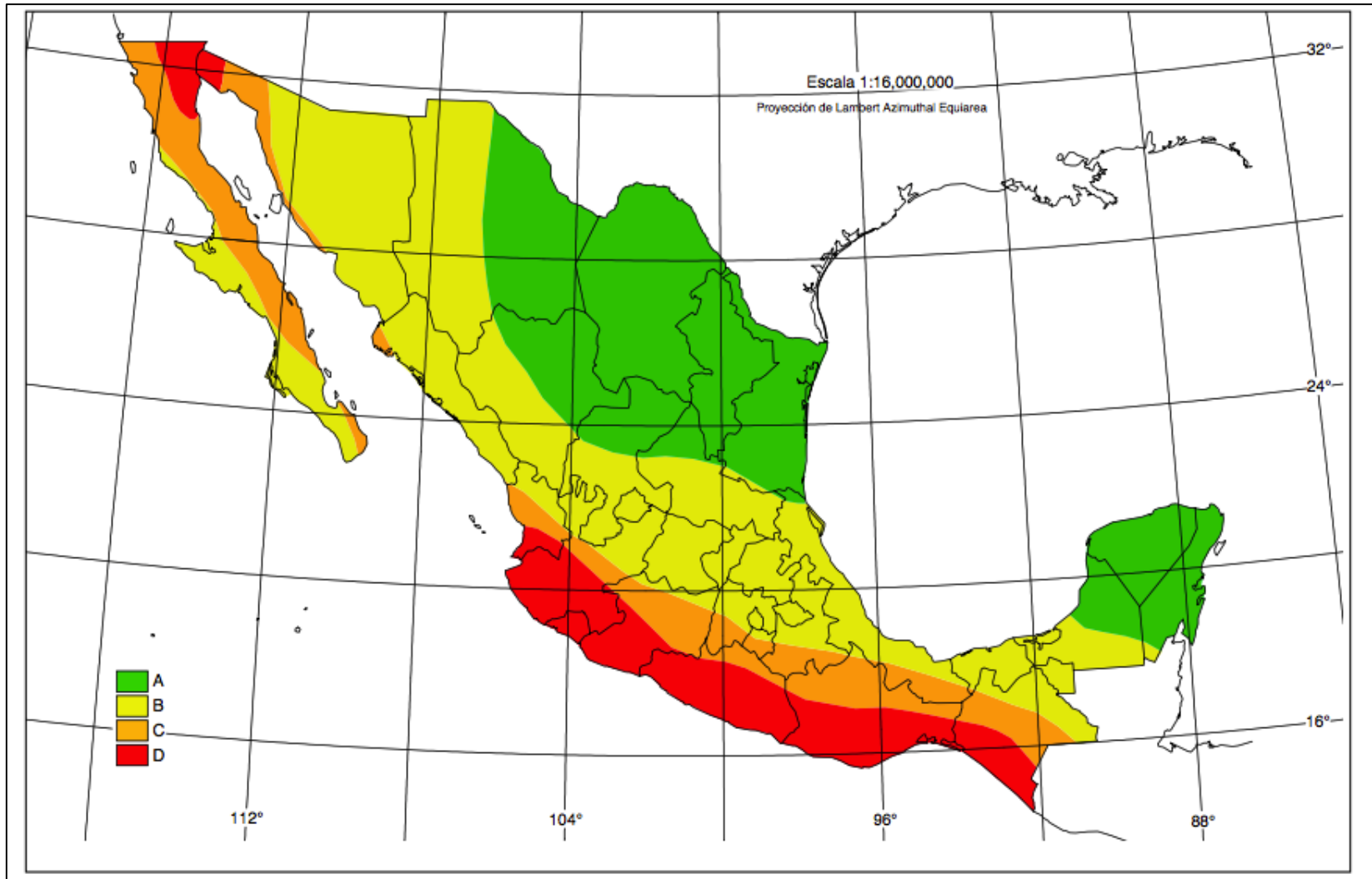


Figura 47. Regionalización Sísmica de México.

Nota Fuente: Secretaría de Gobernación.

**Tabla 33.** Explicación de las zonas evaluadas en la regionalización sísmica de México*Explicación de las zonas evaluadas en la regionalización sísmica de México*

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
A	No cuenta con registros históricos, no se han reportado sismos grandes en los últimos 80 años y las aceleraciones del terreno se esperan menores al 10% del valor de la gravedad.
B – C	Presenta sismicidad con menor frecuencia o intermedia, están sujetas a aceleraciones del terreno que no rebasan los 70% del valor de la gravedad.
D	Frecuencia de grandes temblores y las aceleraciones del terreno pueden ser superiores al 70% del valor de la gravedad.

Nota fuente: Secretaría de Gobernación.





Figura 49. Ortofoto del proyecto N°1 Escala 1 : 1000.

Nota fuente: GIE.

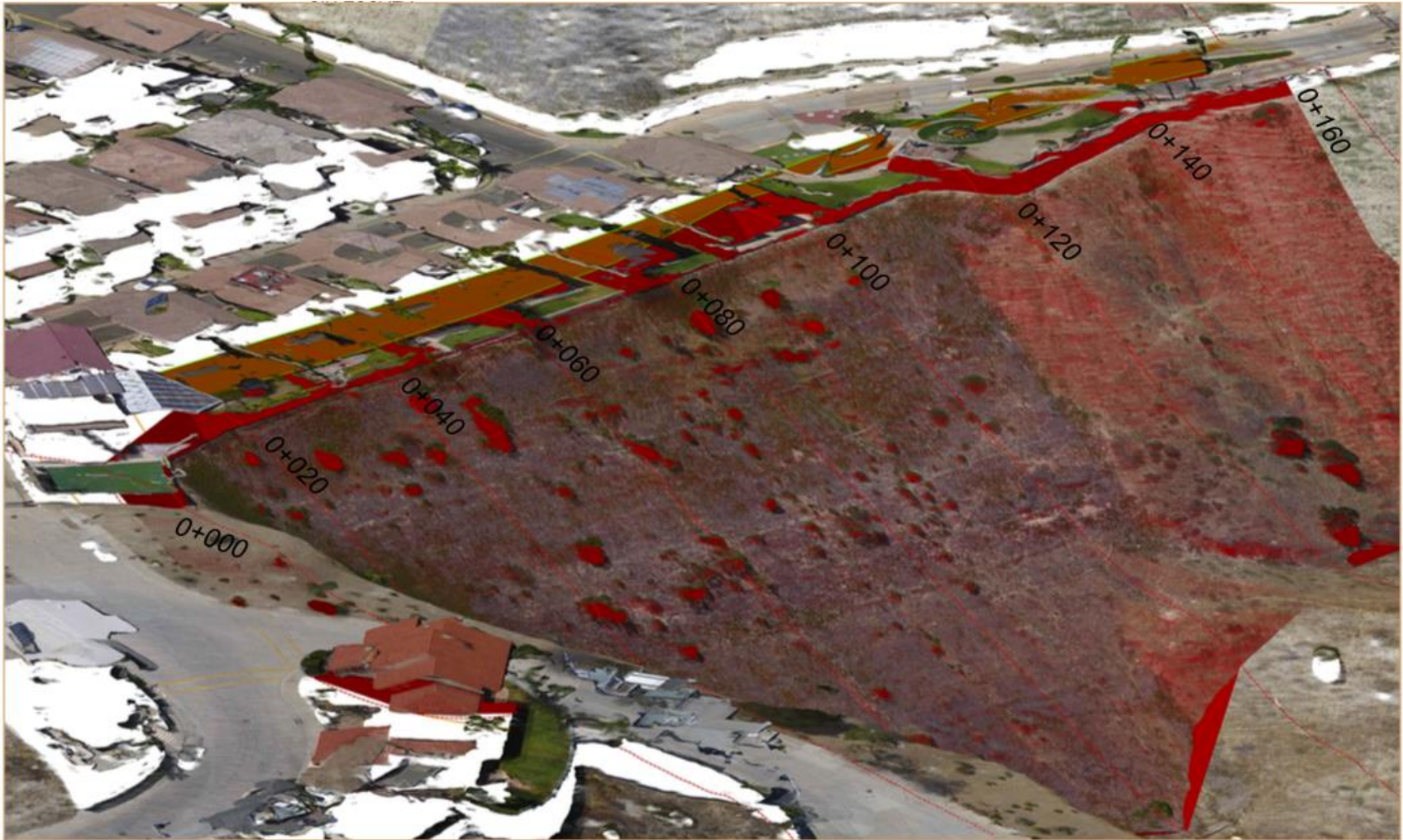


Figura 50. Vista isométrica con nube de puntos de la ubicación de los perfiles.

Nota fuente: GIE.



**Apéndice B. Cortes estratigráficos de las exploraciones efectuadas en las trincheras del proyecto ubicado en el Fraccionamiento Rincón Toscano.**

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREÁTICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 2		RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPEO 30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M <sup>3</sup> )	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>156</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0	T2-1			SM	<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, húmeda a muy húmeda, café grisáceo, limosa, arcillosa, fina a muy gruesa con grava y boleo				
1	T2-2			SM	-Ligera transmisión de agua <b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, medianamente densa a densa, húmeda, gris olivo claro, limosa, fina a gruesa, poco de raíces, pobremente cementada, micosa				
				GP	Conglomerado en forma de gravas y boleos empacados en una matriz de arena, densa, poco húmeda a húmeda, café amarillento a café olivo, fina a muy gruesa, pobre a moderadamente cementado				
2	TRINCHERA TERMINADA EN 2.00 METROS								

**Figura A-2,**  
**Corte Estratigráfico Trinchera T 2, Pagina 1 de 1**

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA			
	MUESTRA NO RECUPERADA		PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR
	MUESTRA VOLUMETRICA		MUESTRA DE TERRON
	MUESTRA HINCADA (INALTERADA)		NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREÁTICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 2		RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>156</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0	T2-1			SM	<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, húmeda a muy húmeda, café grisáceo, limosa, arcillosa, fina a muy gruesa con grava y boleas				
1	T2-2			SM	-l. ligera transmisión de agua <b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, medianamente densa a densa, húmeda, gris olivo claro, limosa, fina a gruesa, poco de raíces, pobremente cementada, micosa Conglomerado en forma de gravas y boleas empacados en una matriz de arena, densa, poco húmeda a húmeda, café amarillento a café olivo, fina a muy gruesa, pobre a moderadamente cementado				
2				GP					
TRINCHERA TERMINADA EN 2.00 METROS									

Figura A-2, Corte Estratigráfico Trinchera T 2, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOLOGIA					
	... MUESTRA NO RECUPERADA		... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR		... MUESTRA HINCADA (MALTERADA)
	... MUESTRA VOLUMETRICA		... MUESTRA DE TERRON		... NIVEL FREÁTICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 3 ELEV. (NMM) <u>171</u> FECHA <u>03-22-2005</u> EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>	RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
DESCRIPCION DEL MATERIAL								
0					<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, humeda a muy humeda, cafe a cafe grisaceo obscuro, arcillosa, limosa, fina a muy gruesa con gravaboleo y roca de hasta 18 pulgadas en dimension, abundante basura y escombros, incluyendo llantas, madera y concreto <i>Presca</i>			
1				SC				
					-Transmision de agua			
2				SM	<b>DEPOSITOS TERRACIALES</b> Arena, densa, poco humeda a humeda, cafe rojizo a gris olivo moteado, limosa, fina a gruesa con grava, moderadamente cementada			
TRINCHERA TERMINADA EN 2.00 METROS								

Figura A-3, Corte Estratigrafico Trincheras T 3, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA	... MUESTRA NO RECUPERADA	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	... MUESTRA VOLUMETRICA	... MUESTRA DE TERRON	... NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AGUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 4		RESISTENCIA A LA PENETRACION (COUPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>172</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO				
					RETROEXCAVADORA CASE 580 L				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0				SC	DEPOSITOS DE LADERA Arena, suelta, humeda, cafe obscuro, arcillosa, fina a mediana				
1	T4-1			GM-GC	Grava y boleco empacado en matriz de arena arcillosa, medianamente densa, humeda, cafe grisaceo a cafe olivo, fina a mediana, poco de raizes				
2	T4-2			SM	DEPOSITOS TERRACIALES Arena, densa, poco humeda, cafe rojizo, limosa, fina a gruesa, con grava, pobre a moderadamente cementada				
TRINCHERA TERMINADA EN 2.60 METROS									

Figura A-4,  
Corte Estratigrafico Trinchera T 4, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA					
<input type="checkbox"/>	... MUESTRA NO RECUPERADA	<input type="checkbox"/>	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA HINCADA (NALTERADA)
<input type="checkbox"/>	... MUESTRA VOLUMETRICA	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA DE TERRON	<input type="checkbox"/>	... NIVEL FREATICO O TRANSMINACION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01



PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 5		RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>170</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0				CL	<b>DEPOSITOS DE LADERA</b> Arcilla, firme, humeda, cafe oscuro, arenosa, con grava y boleo				
			▼		-Transmision de agua <b>DEPOSITOS TERRACIALES</b> Arena, medianamente densa a densa, humeda a muy humeda, cafe rojizo, limosa, fina a mediana, con poco de grava, pobremente cementada				
1				SM					
2			▼		-Transmision de agua N30W / 24SW <b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, densa, humeda, cafe amarilloso claro a gris olivo, limosa, fina a mediana, micosa, poco cementada				
3				SM					
TRINCHERA TERMINADA EN 3.00 METROS									

Figura A-5, Corte Estratigrafico Trinchera T 5, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA			
	... MUESTRA NO RECUPERADA		... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR
	... MUESTRA VOLUMETRICA		... MUESTRA DE TERRON
		▼	... NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES.

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 6 ELEV. (NMM) <u>172</u> FECHA <u>03-22-2005</u> EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>	RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
0					DESCRIPCION DEL MATERIAL			
1				SC	<b>DEPOSITOS DE LADERA</b> Arena, suelta, humeda, cafe, limosa, arcillosa, fina a gruesa, con grava y boleto, estructura porosa, abundante raizes en primer metro			
2				SM	<b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, densa, humeda, cafe amarilliso claro a cafe olivo, limosa, fina a mediana con poco de grava y boleto, pequenos grumos de arcilla, pobremente cementada			
3					TRINCHERA TERMINADA EN 3.80 METROS			

Figura A-6,  
Corte Estratigrafico Trinchera T 6, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOLOGIA	□	... MUESTRA NO RECUPERADA	■	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	■	... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	▨	... MUESTRA VOLUMETRICA	■	... MUESTRA DE TERRON	⚡	... NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES YO FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 7		RESISTENCIA A LA PENETRACION (DOLUPEX/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>133</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0									
1				SC	<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, humeda, café, limosa, arcillosa, fina a gruesa con abundante grava y boleó, rocas de hasta 18 pulgadas, abundante basura y escombros, incluyendo llantas, tubos, concreto y madera				
2	T7-1			SM	<b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, densa, humeda, gris claro, limosa, fina a gruesa, micosa, pobremente cementada				
TRINCHERA TERMINADA EN 2.80 METROS									

Figura A-7,  
Corte Estratigrafico Trinchera T 7, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA NO RECUPERADA	<input checked="" type="checkbox"/>	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	<input checked="" type="checkbox"/>	... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	<input checked="" type="checkbox"/>	... MUESTRA VOLUMETRICA	<input checked="" type="checkbox"/>	... MUESTRA DE TERRON	<input checked="" type="checkbox"/>	... NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 8		RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
					ELEV. (NMM) <u>129</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
					EQUIPO UTILIZADO				
					RETROEXCAVADORA CASE 580 L				
DESCRIPCION DEL MATERIAL									
0				SC	SUELOS DE RELLENO Arena, suelta, humeda, cafe grisaceo, arcillosa, limosa, fina a gruesa con grava y boleto				
				CL	DEPOSITOS DE LADERA Arena, suelta, humeda, cafe obscuro, arcillosa, fina a gruesa, poco de grava y raizes				
1				SM	FORMACION SAN DIEGO Arena, densa, humeda, cafe gris claro, limosa, fina a gruesa, pobremente cementada, poco de grava				
					TRINCHERA TERMINADA EN 1.80 METROS				

Figura A-8,  
Corte Estratigrafico Trinchera T 8, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOLOGIA	SYMBOLOLOGIA		
	... MUESTRA NO RECUPERADA	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	... MUESTRA HINCADA (NALTERADA)
... MUESTRA VOLUMETRICA	... MUESTRA DE TERRON	... NIVEL FREATICO O TRANSMINACION DE AGUA	

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES



NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREÁTICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 9 ELEV. (NMM) <u>123</u> FECHA <u>03-22-2005</u> EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>	RESISTENCIA A LA PENETRACION (C/OLPESO 30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
0					DESCRIPCION DEL MATERIAL			
1				GP-GC	<b>SUELOS DE RELLENO</b> Grava y boleo empacados en matriz de arena, suelta, humeda, cafe a cafe grisaceo, arcillosa, limosa, fina a gruesa con roca de hasta 24 pulgadas en dimension, poco de basura y escombros incluyendo tubos de plastico, llantas y tubos de metal			
2	T9-1			GM	<b>SUELO ALUVIAL</b> Grava suelta, humeda a muy humeda, cafe, arenosa, limosa, con poco de boleo, se colapsan las pareces			
				SM	<b>FORMACION SAN DIEGO</b> Arena, densa, humeda, gris claro, limosa, fina a gruesa, micosa			
3					TRINCHERA TERMINADA EN 3.00 METROS			

Figura A-9,  
Corte Estratigrafico Trinchera T 9, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA	<input type="checkbox"/> ... MUESTRA NO RECUPERADA	<input type="checkbox"/> ... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	<input type="checkbox"/> ... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	<input type="checkbox"/> ... MUESTRA VOLUMETRICA	<input type="checkbox"/> ... MUESTRA DE TERRON	<input type="checkbox"/> ... NIVEL FREÁTICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

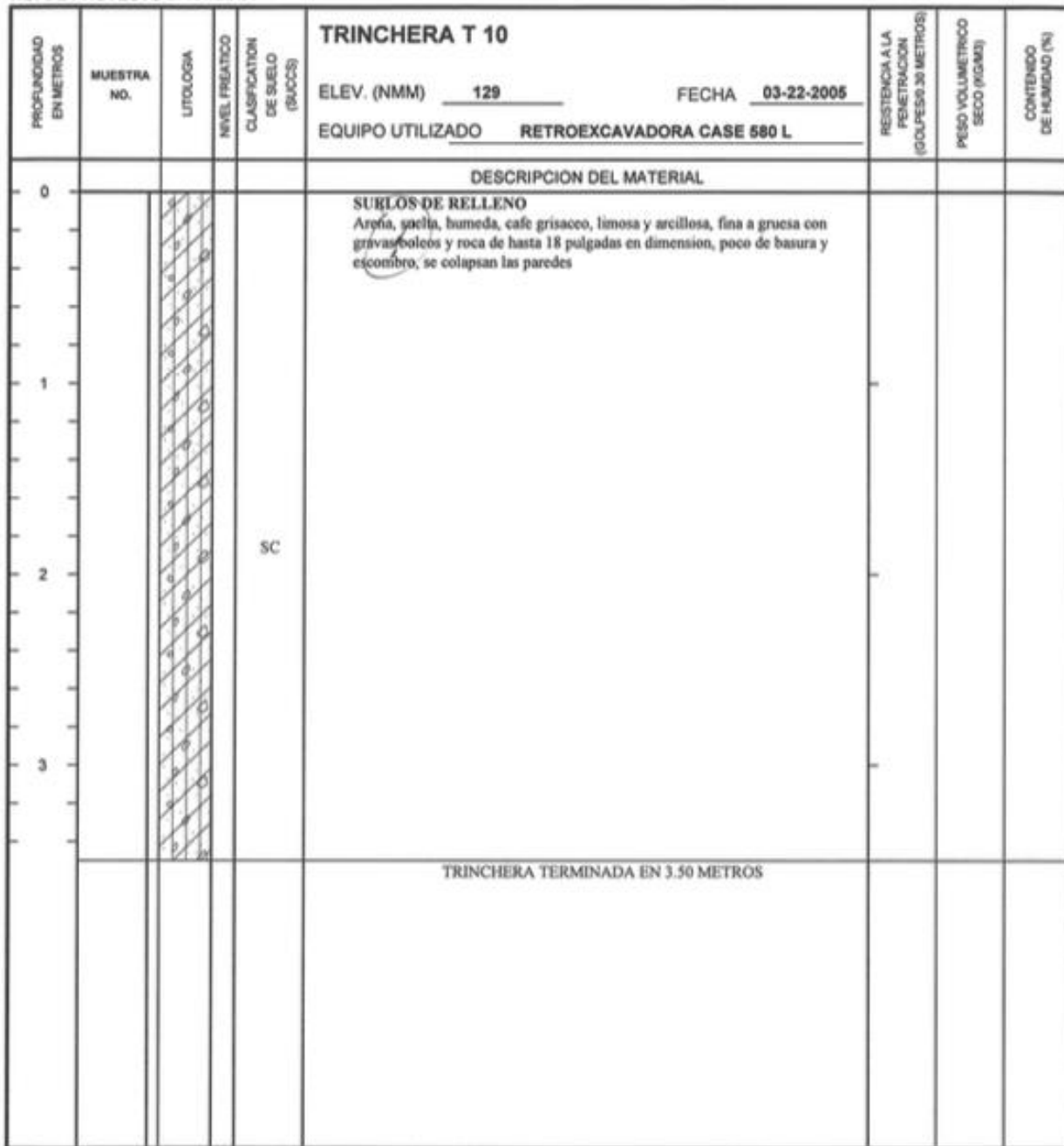


Figura A-10, Corte Estratigrafico Trinchera T 10, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA					
	... MUESTRA NO RECUPERADA		... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR		... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	... MUESTRA VOLUMETRICA		... MUESTRA DE TERRON		... NIVEL FREATICO O TRANSAMINACION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 11 ELEV. (NMM) <u>126</u> FECHA <u>03-22-2005</u> EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>	RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (PG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
0				CH	<b>DEPOSITOS DE LADERA</b> Arcilla, firme, húmeda, café a café olivo, arenosa con grava y boleto, abundante raíces, estructura porosa			
1				ML	<b>FORMACION SAN DIEGO</b> Limo, muy denso, húmedo, café olivo a gris olivo, muy intemperizado primeros 45 centímetros			
2				SM	Arena, densa, poco húmeda, gris claro a café amarilloso, limosa, fina a gruesa, poco de grava, pobre a moderadamente cementada			
TRINCHERA TERMINADA EN 2.80 METROS								

Figura A-11, Corte Estratigráfico Trinchera T 11, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

<b>SYMBOLOGIA</b>	... MUESTRA NO RECUPERADA	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	... MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	... MUESTRA VOLUMETRICA	... MUESTRA DE TERRON	... NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREÁTICO	TRINCHERA T 12		RESISTENCIA A LA PENETRACION (GOLPES/30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
				ELEV. (NMM) <u>192</u>	FECHA <u>03-22-2005</u>			
				EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>				
DESCRIPCION DEL MATERIAL								
0				<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, poco humeda a humeda, cafe grisaceo, arcillosa, limosa, fina a muy gruesa, con grava, boleto y rocas de hasta 30 pulgadas en dimension, con escombros y basura, se colapsan las paredes				
1						SC		
2				TRINCHERA TERMINADA EN 2.80 METROS Debido a constante colapso de las paredes				

Figura A-12, Corte Estratigrafico Trinchera T 12, Pagina 1 de 1

07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA NO RECUPERADA	<input type="checkbox"/>	... PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA HINGADA (INALTERADA)
	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA VOLUMETRICA	<input type="checkbox"/>	... MUESTRA DE TERRON	<input type="checkbox"/>	... NIVEL FREÁTICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

NO. DE PROYECTO 07491-22-01

PROFUNDIDAD EN METROS	MUESTRA NO.	LITOLOGIA	NIVEL FREATICO	CLASIFICACION DE SUELO (SUCCS)	TRINCHERA T 13 ELEV. (NMM) <u>189</u> FECHA <u>03-22-2005</u> EQUIPO UTILIZADO <u>RETROEXCAVADORA CASE 580 L</u>	RESISTENCIA A LA PENETRACION (CULPEPO 30 METROS)	PESO VOLUMETRICO SECO (KG/M3)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
0					DESCRIPCION DEL MATERIAL			
	T13-1			SM	<b>SUELOS DE RELLENO</b> Arena, suelta, poco humeda, cafe, limosa, fina a gruesa, con grava y bolco, poco de raizes y basura			
1				SM	<b>DEPOSITOS TERRACIALES</b> Arena, densa, humeda, cafe olivo a cafe rojizo, limosa, fina a gruesa con grava, poco de bolco			
2								
TRINCHERA TERMINADA EN 2.40 METROS								

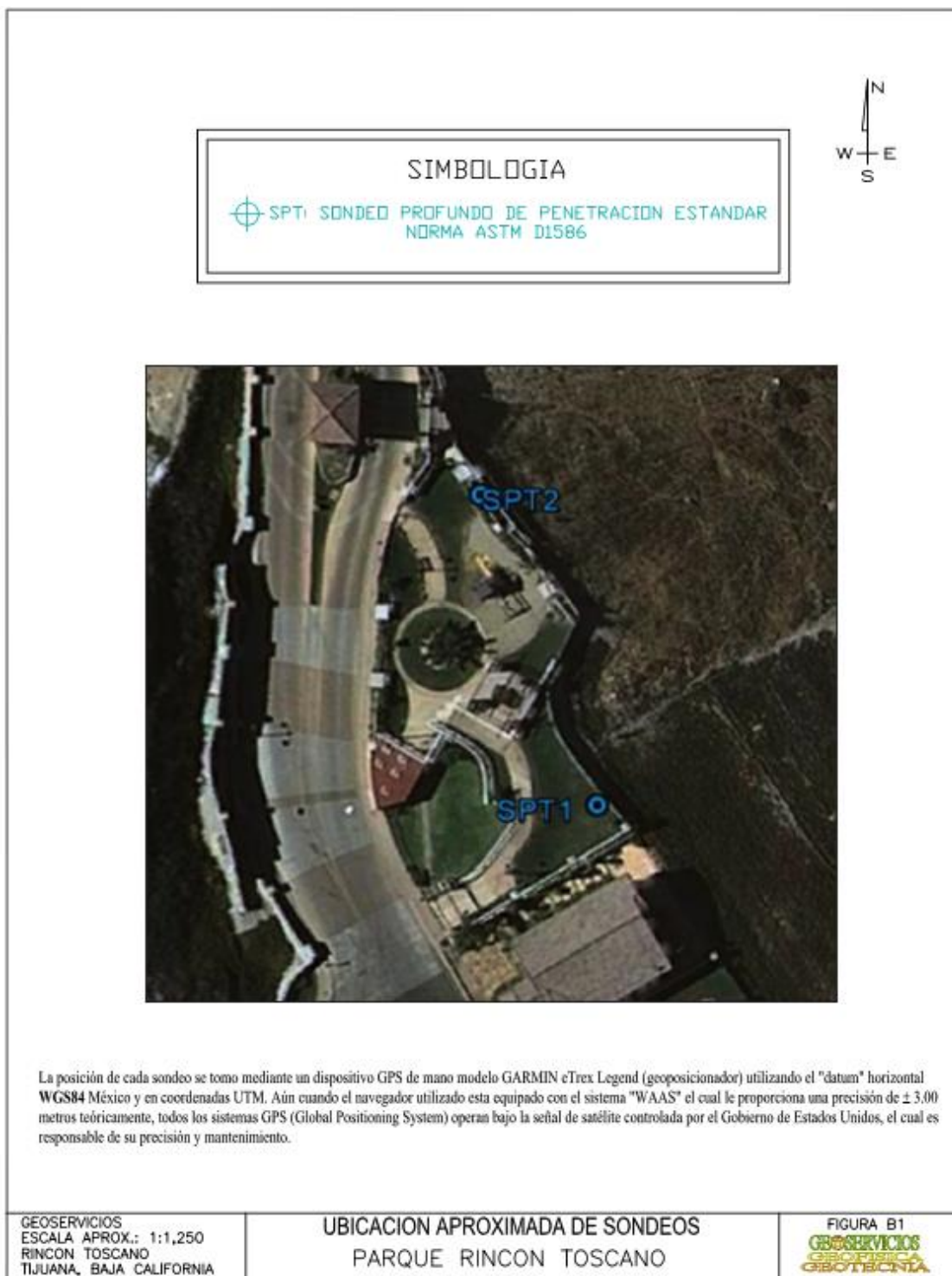
Figura A-13, Corte Estratigrafico Trinchera T 13, Pagina 1 de 1



07491-22-01.GPJ

SYMBOLOGIA	<input type="checkbox"/> .. MUESTRA NO RECUPERADA	.. PRUEBA DE PENETRACION ESTANDAR	.. MUESTRA HINCADA (INALTERADA)
	.. MUESTRA VOLUMETRICA	.. MUESTRA DE TERROH	.. NIVEL FREATICO O TRANSMISION DE AGUA

NOTA: EL CORTE ESTRATIGRAFICO DE LAS CONDICIONES DE SUBSUELO INDICADAS AQUI CORRESPONDEN A LA UBICACION ESPECIFICA DE LA TRINCHERA O PERFORACION Y A LA FECHA INDICADA Y NO EXISTE UNA GARANTIA DE QUE SEA REPRESENTATIVA DE LAS CONDICIONES DEL SUBSUELO EN OTRAS UBICACIONES Y/O FECHAS POSTERIORES

## Apéndice C. Registro de los sondeos efectuados en el proyecto del Fraccionamiento Rincón Toscano.



REGISTRO DE SONDEOS						SONDEO: SPT1					
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.											
UBICACION: UTM WGS84 497425 , 3596725						HOJA: 1/4					
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recupera (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							LP.	W	LL	LC	IP.
0.00	RELLENO. Arcillas arenosas y arenas arcillosas, de color cafe oscuro, de grano fino a grano medio, parcialmente humedas a humedas, de plasticidad baja a media, con gravillas, con raices y pasta superficial. de COMPACIDAD SUELTA	1	0.0 a 0.60		20	9	23.4	10.1	47.6	9.3	24.2
0.60	Arenas arcillosas, de color cafe a cafe grisaceo, de grano fino a grano medio, parcialmente humedas, de plasticidad baja a media, de COMPACIDAD MUY SUELTA	2	0.60 a 1.20		43	2		13.9			
1.20	Se toma con manchas de color oscuro, con gravillas frecuentes de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA.	3	1.20 a 1.80		18	8		16.1			
1.80	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA A MEDIA	4	1.80 a 2.40		N.R.	11					
2.40		5	2.40 a 3.00		N.R.	12					
3.00	Arenas arcillosas con limos, de color cafe, de grano fino a medio, muy humedo, de plasticidad media, con gravillas frecuentes y algunas gravas subangulosas, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	6	3.00 a 3.60		20	20		18.8			
3.60											

NOMENCLATURA: LL= LIMITE LIQUIDO, LP.= LIMITE PLASTICO, IP.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.

GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B2 GEOSERVICIOS GEOLOGIA GEOBOTANICA
---	---	--

REGISTRO DE SONDEOS						SONDEO: SPT1					
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.											
UBICACION: UTM WGS84 497425 , 3596725						HOJA: 2/4					
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recuperada (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							LP.	W	LL	LC	IP.
3.80	Se torna ligeramente mas arenoso, con tonos oscuros, de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA	7	3.60 a 4.20		10	7		24.8			
4.20	Se torna mas heterogeneo, con algunas gravas subangulosas de hasta 3.0 cm en dimension, de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA A MEDIA.	8	4.20 a 4.80		23	11	23.4	13.7	47.6	9.3	24.2
4.80		9	4.80 a 5.40		46	13		13.9			
5.20	Se torna de compacidad relativa densa* (por presencia de gravas y boleos)	10	5.40 a 5.60		20	>60		12.9			
5.60	Avance con punta conica, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	11	5.60 a 6.20		N.A.	18					
6.00	Arenas arcillosas, se torna el material de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	12	6.20 a 6.80		13	14	25.0	15.2	47.3	8.5	22.3
6.80	Arenas arcillosas y limos de color cafe grisaceo con tonos oscuros, de grano fino a medio, humedas, de plasticidad media, algo heterogenea, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	13	6.80 a 7.40		23	15	25.0	14.1	47.3	8.5	22.3
7.40											


NOMENCLATURA: LL.= LIMITE LIQUIDO, LP.= LIMITE PLASTICO, IP.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.


GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B3 GEOSERVICIOS GEOTECNICA
---	---	---




REGISTRO DE SONDEOS							SONDEO: SPT1				
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.							HOJA: 3/4				
UBICACION: UTM WCS84 497425 , 3596725											
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recuperado (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD * LIMITES %				
							LP.	W	LL	LC	IP.
7.60	Se torna heterogenea, con gravillas, con manchas de color naranja, de COMPACIDAD MEDIA	14	7.40 a 8.00		20	12		18.2			
8.00	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	15	8.00 a 8.60		N.R.	18					
8.60	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA A DENSA	16	8.60 a 9.20		N.R.	31					
9.20	Relleno heterogeneo, arcillas arenosas y arenas arcillosas de color cafe, de grano fino a grueso, humedas a muy humedas, de plasticidad media, con algunas gravas subangulosas, con algunas raicillas, de compacidad relativa MEDIA	17	9.20 a 9.80		41	27		-			
9.80	Arena limosa de color cafe claro a blanquizco, de grano fino a grueso, humeda a muy humeda, de plasticidad media, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	18	9.80 a 10.40		N.R.	29					
10.00	No se recupero material, de compacidad relativa media,										
10.40	Se torna con intercalaciones arcillosas, de plasticidad media, con algunas gravillas, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA A DENSA	19	10.40 a 11.00		56	36		-			
11.00	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	20	11.00 a 11.60		N.R.	19					

NOMENCLATURA: LL.= LIMITE LIQUIDO, L.P.= LIMITE PLASTICO, I.P.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.

GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B4 
---	---	--

REGISTRO DE SONDEOS							SONDEO: SPT1				
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.							HOJA: 4/4				
UBICACION: UTM WGS84 497425 , 3596725											
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recuperacion (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							LP.	W	LL	LC	IP.
11.40	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	21	11.60 a 12.20		N.R.	30					
11.60											
12.20											
12.20	No se recupero material, DE COMPACIDAD RELATIVA DENSA	22	12.20 a 12.65		N.R.	>60					
12.65	Avance con punta conica sin exito.	23	12.65 a 12.80		N.A.	>60					
12.80	Profundidad del sondeo=12.80m.										
											
14.20											
14.60											
15.00											

NOMENCLATURA: LL.= LIMITE LIQUIDO, LP.= LIMITE PLASTICO, IP.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.

GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B5 
---	---	--

REGISTRO DE SONDEOS							SONDEO: SPT2				
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.											
UBICACION: UTM WGS84 497414 , 3596754							HOJA: 1/3				
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recuperado (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							L.P.	W	LL	LC	I.P.
0.00	Arcillas arenosas y arenas arcillosas, de color cafe con tonos oscuros, de grano fino, humedas, de plasticidad media, heterogenea, de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA	1	0.0 a 0.60		31	7		15.7			
0.60	Se torna ligeramente mas arenoso, de grano fino, de plasticidad baja a media, DE COMPACIDAD RELATIVA MUY SUELTA	2	0.60 a 1.20		15	4		16.2			
1.20	No se recupero material, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	3	1.20 a 1.80		N.R.	15					
1.80	Avance con punta conica, de compacidad RELATIVA MEDIA	4	1.80 a 2.40		N.A.	20					
2.40	Arenas arcillosas y limos de color cafe, de grano fino, humedos, de plasticidad media, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	5	2.40 a 3.00		35	16	27.8	19.2	59.5	11.9	31.7
3.00		6	3.00 a 3.60		30	15	27.8	22.9	59.5	11.9	31.7
3.60											

NOMENCLATURA: LL.= LIMITE LIQUIDO, L.P.= LIMITE PLASTICO, I.P.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.

GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B6 GEOSERVICIOS GEOTECNICA
---	---	---

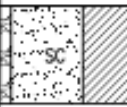
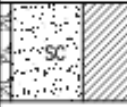
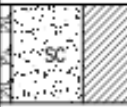
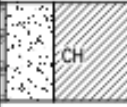

REGISTRO DE SONDEOS		SONDEO: SPT2									
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.											
UBICACION: UTM WGS84 497414 , 3596754						HOJA: 2/3					
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recupera (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							L.P.	W	LL	LC	LP
3.80	Se torna de COMPACIDAD RELATIVA SUELTA A MEDIA	7	3.60 a 4.20		35	13	26.1	21.0	53.7	10.4	27.6
4.20											
4.20	Se torna de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	8	4.20 a 4.80		34	15	26.1	18.1	53.7	10.4	27.6
4.80	Limos de color cafe, de grano fino, humedos, de plasticidad media, de consistencia muy firme.	9	4.80 a 5.06		17	>60	18.6				
5.06											
5.40	Avance con punta conica, DE COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	10	5.06 a 5.66		N.A.	20					
5.66	Arenas arcillosas. Se torna con algunos manchones de color blanquizco, algo heterogeneo, de grano fino, de COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	11	5.66 a 6.26		54	24	25.0	17.1	52.2	10.4	27.2
6.26											
6.26	Se torna con manchas de color oscuro, persiste heterogeneo, de grano fino, humedo, de plasticidad media, DE COMPACIDAD RELATIVA MEDIA	12	6.26 a 6.86		37	19	25.0	19.1	52.2	10.4	27.2
6.86	Arcilla arenosa de color cafe oscuro, de grano fino a medio, humeda, de plasticidad media, con gravillas, DE COMPACIDAD RELATIVA MEDIA.	13	6.86 a 7.46		20	23	16.7				
7.46											

NOMENCLATURA: L.L.= LIMITE LIQUIDO, L.P.= LIMITE PLASTICO, I.P.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.


GEOSERVICIOS  
 ESCALA: SIN  
 RINCON TOSCANO  
 TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

REGISTRO DE SONDEO SPT  
 PARQUE RINCON TOSCANO

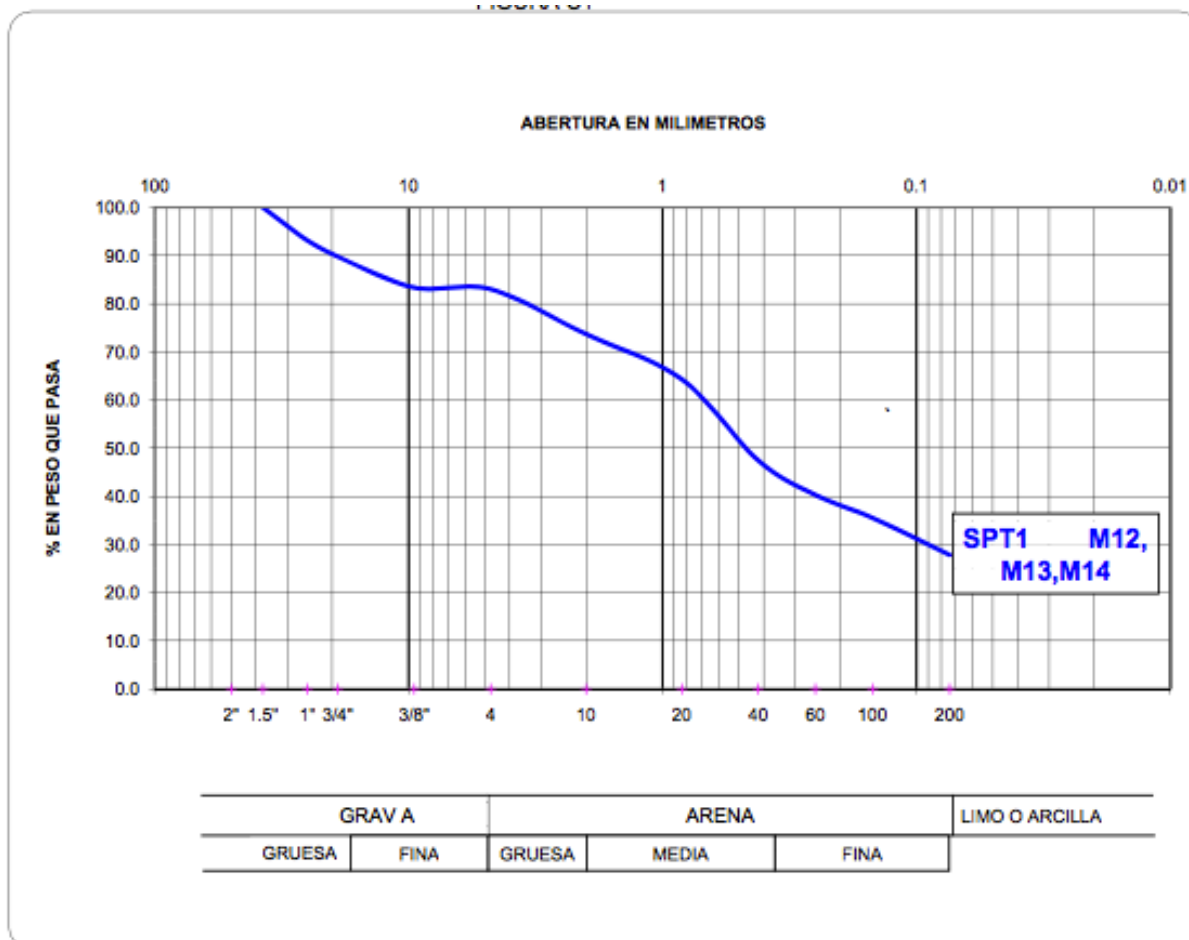
FIGURA B7

REGISTRO DE SONDEOS		SONDEO: SPT2									
PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA, EN TIJUANA B.C. MEXICO.											
UBICACION: UTM WGS84 497414 , 3596754						HOJA: 3/3					
EQUIPO DE EXPLORACION: Equipo de Penetracion Estandar y Equipo manual.											
Prof. en mts.	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	Profundidad metros MUESTRA	SISTEMA DE CLASIFICACION S.U.C.S.	R recupera (cm)	No DE GOLPES N	HUMEDAD Y LIMITES %				
							LP.	W	LL.	L.C.	IP.
7.60	Arenas arcillosas y arcillas arenosas de color cafe oscuro, de grano fino a grano medio, humeda a muy humeda, de plasticidad media, de COMPACIDAD MEDIA	11	7.46 a 8.06		30	28	25.9	19.3	47.6	8.01	21.7
8.06		12	8.06 a 8.66		26	30	25.9	15.3	47.6	8.01	21.7
8.66		13	8.66 a 9.26		29	23	25.9	15.6	47.6	8.01	21.7
9.26		14	9.26 a 9.70		47	45	25.3	20.1	50.6	9.7	25.3
9.70	Profundidad del sondeo=9.70m.										
10.00											
10.40											
11.00											

NOMENCLATURA: LL.= LIMITE LIQUIDO, LP.= LIMITE PLASTICO, IP.= INDICE PLASTICO, P.V.H.= PESO VOLUMETRICO HUMEDO.

GEOSERVICIOS ESCALA: SIN RINCON TOSCANO TIJUANA, BAJA CALIFORNIA	REGISTRO DE SONDEO SPT PARQUE RINCON TOSCANO	FIGURA B8 
---	---	--

**Apéndice D. Resultados de los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg en el proyecto del Fraccionamiento Rincón Toscano.**



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD		LÍMITES Y CARACTERÍSTICAS							GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	S.U.C.S.
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT1												<b>SC</b>
	12,13,14	6.20 a 8.00	22.3	47.3	25.0	8.5			17.0	55.2	27.8	
I <sub>Cc</sub> = 0.336		Compresibilidad media						Humedad lugar = 15.8 %			D <sub>30</sub> =0.091 D <sub>60</sub> =0.712	
I <sub>c</sub> = 1.413								IL= -0.413				

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

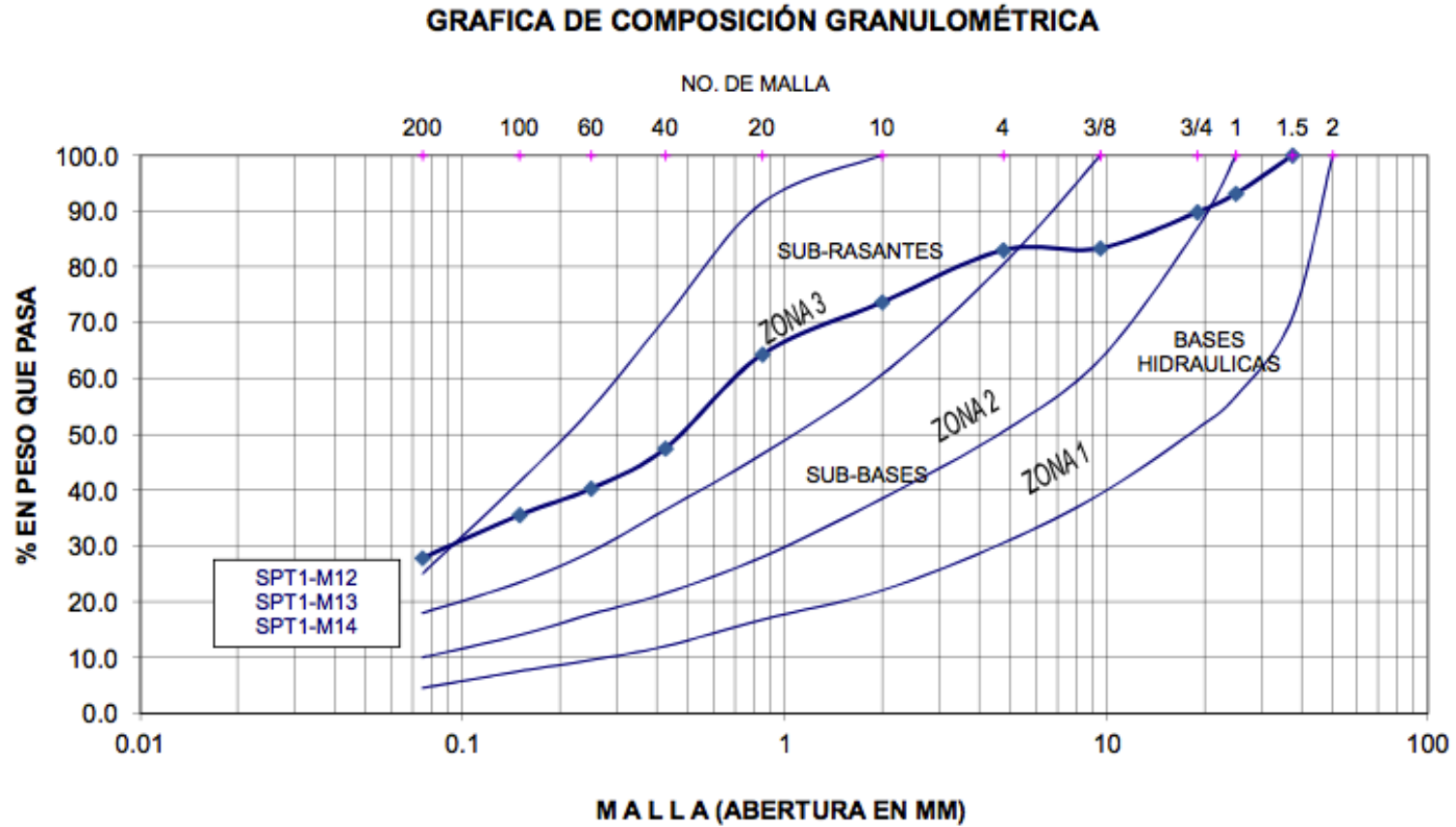
W= humedad. L.L.= Límite Líquido. L.P.= Límite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>. Cc=(D<sub>30</sub>)<sup>2</sup>/(D<sub>10</sub>x D<sub>60</sub>)

S.U.C.S.= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

I<sub>Cc</sub>=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. I<sub>c</sub>= Índice de consistencia

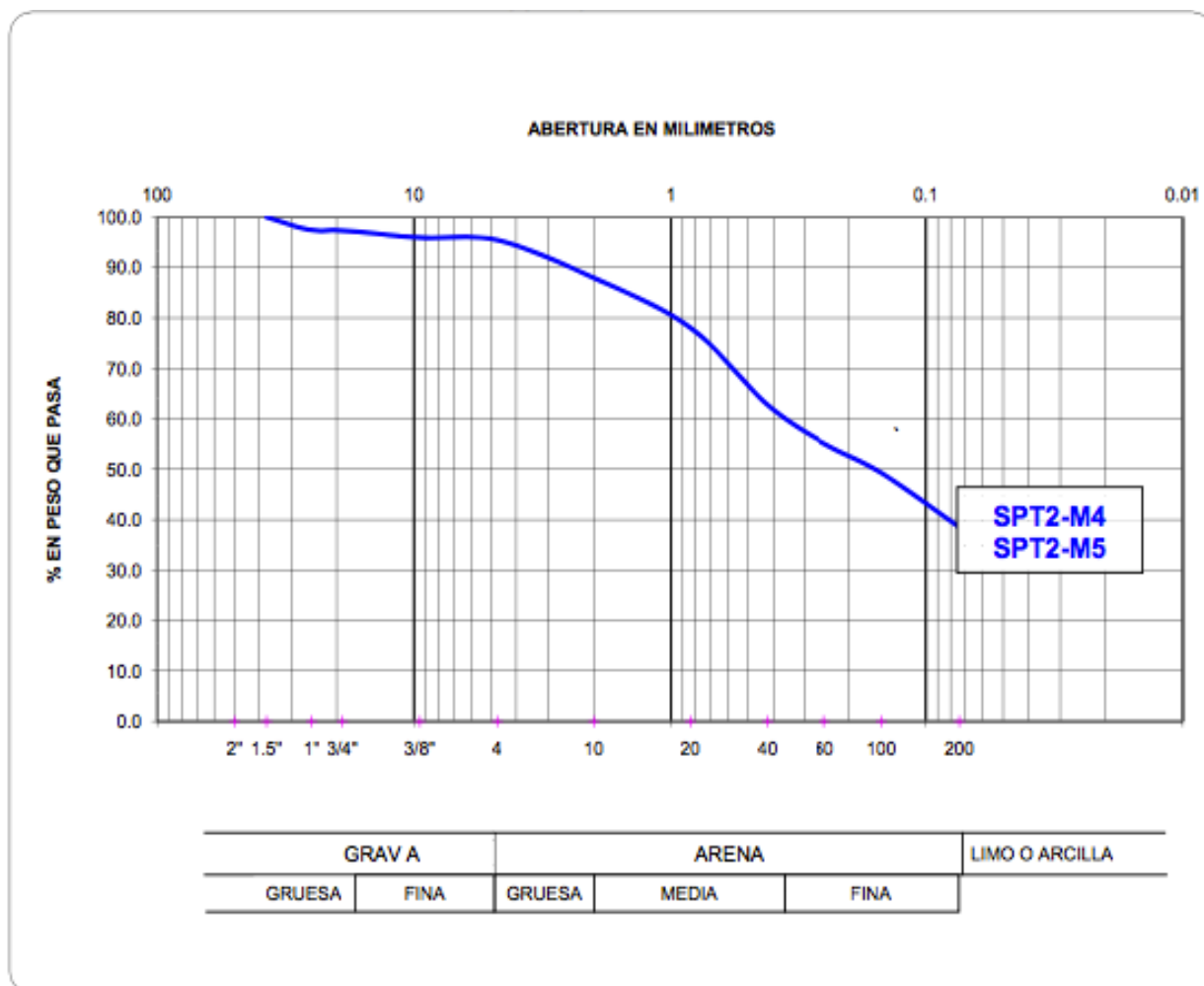
IL=Índice de liquidez

**GEO SERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEO TECNICA**



NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT1-M12, M13, M14, (6.20 a 8.00 m.), (17.0% GRAVAS, 55.2% ARENAS, 27.8% FINOS), SC.

FIGURA C1-A  
**GEOSEVICIOS**  
 GEOFISICA  
 GEOTECNIA



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITES Y CARACTERISTICAS					GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación <b>S.U.C.S.</b>	
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	LL	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas		Finos
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT2	4,5	2.40 a 3.60	31.7	59.5	27.8	11.9			4.5	57.0	38.5	<b>SC</b>
	I <sub>Cc</sub> =	0.446	Compresibilidad alta				Humedad lugar =			17.7	%	D <sub>60</sub> =0.345
	I <sub>c</sub> =	1.319				IL=			-0.319			

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

W= humedad. LL.= Limite Líquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal., Cu= D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>. Cc=(D<sub>30</sub>)<sup>2</sup>/(D<sub>10</sub>x D<sub>60</sub>)

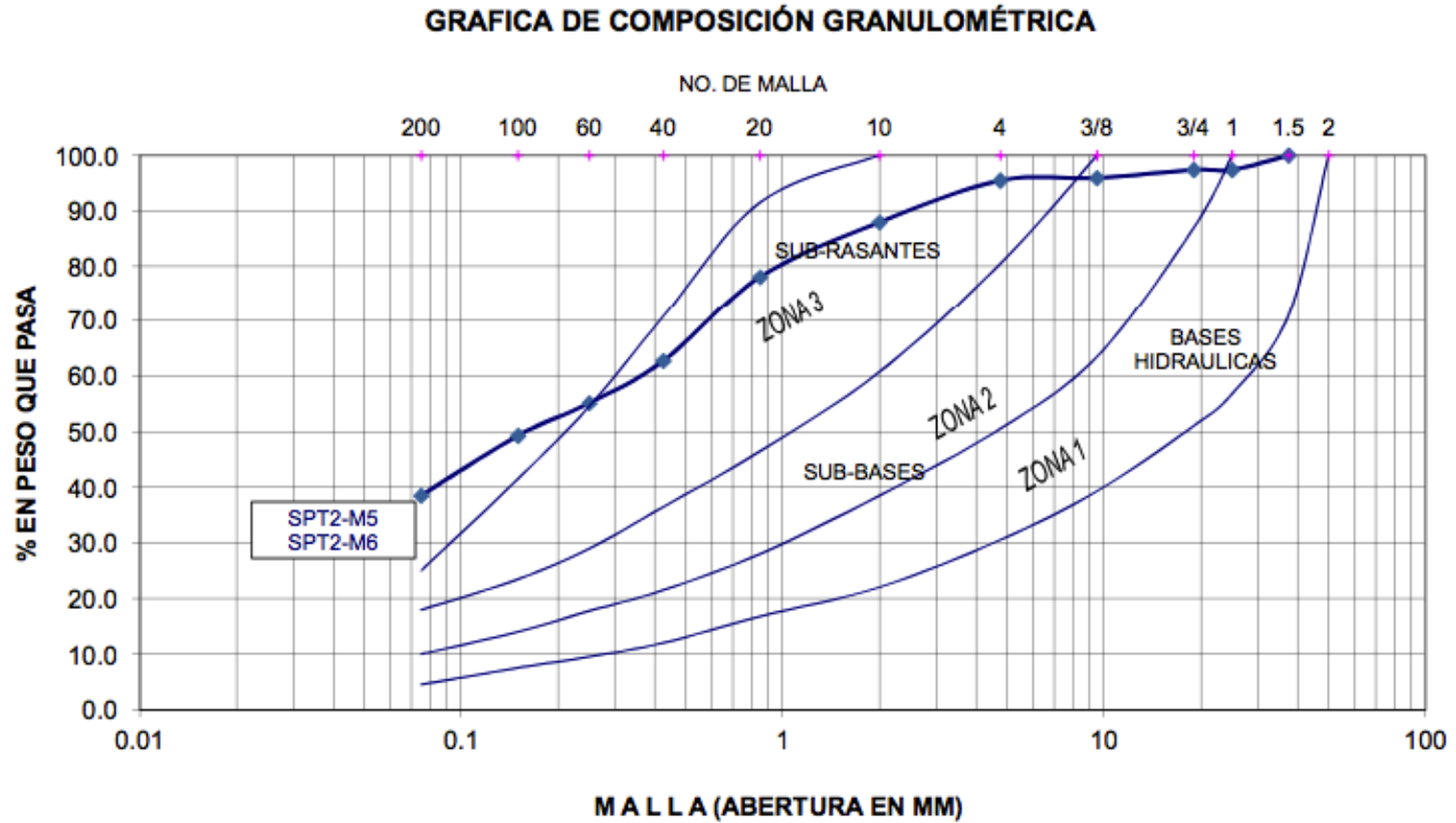
S.U.C.S= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

I<sub>Cc</sub>=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. I<sub>c</sub>= Índice de consistencia

IL=Índice de liquidez

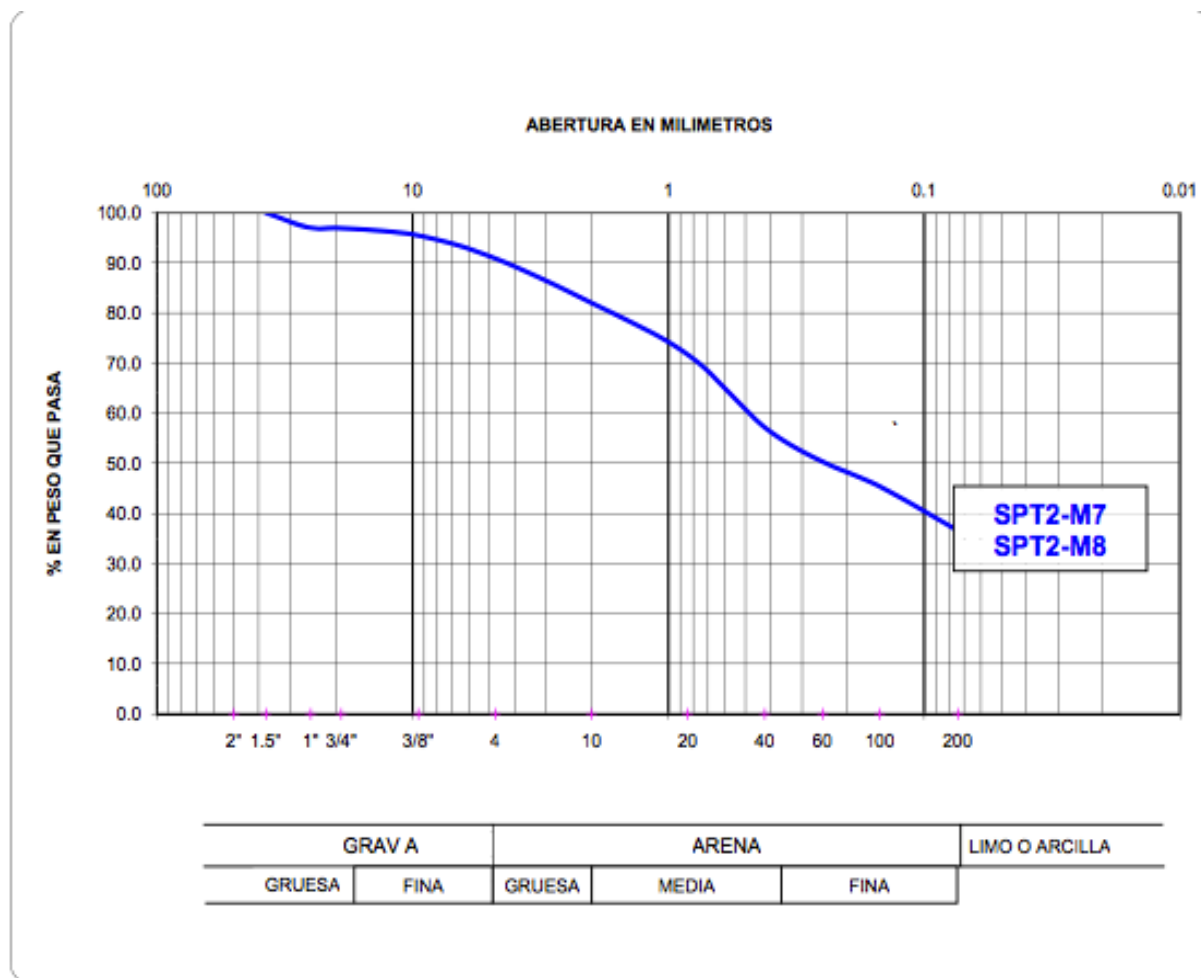
**GEO SERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEO TECNIA**





NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT2-M5 Y M6, (2.40 a 3.60 m.), (4.5% GRAVAS, 57.0% ARENAS, 38.5% FINOS), SC.

FIGURA C2-A  
**GEO SERVICIOS**  
 GEOFISICA  
 GEOTECNIA



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD		LIMITES Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación	
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	S.U.C.S.
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT2												
	7,8	3.60 a 4.80	27.6	53.7	26.1	10.4			9.1	54.3	36.6	<b>SC</b>
ICc=		0.393	Compresibilidad alta				Humedad lugar =		19.6	%		D60=0.486
Ic=		1.236	IL=		-0.236							

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

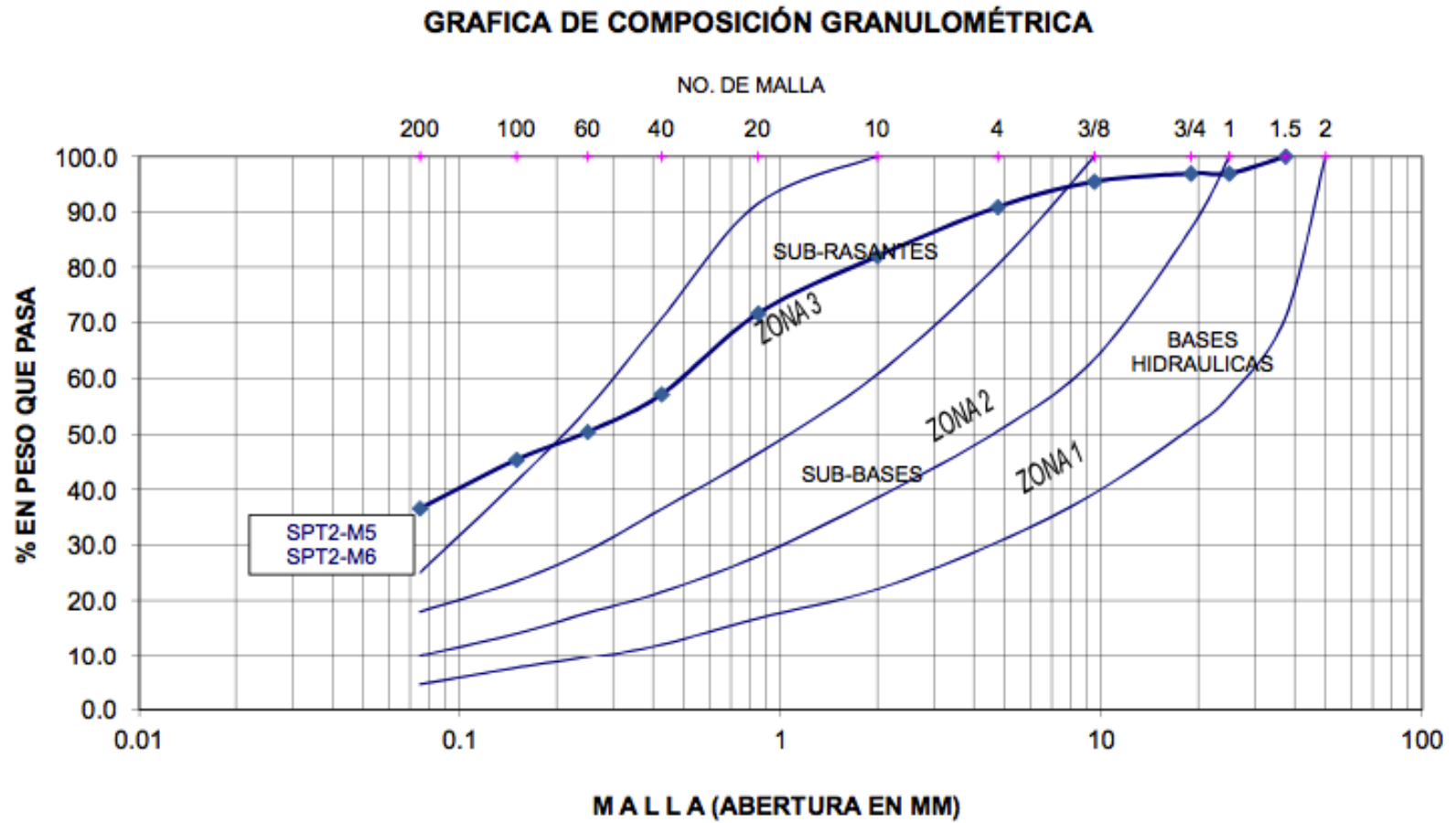
W= humedad. L.L.= Limite Líquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)<sup>2</sup>/(D10xD60)

S.U.C.S= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

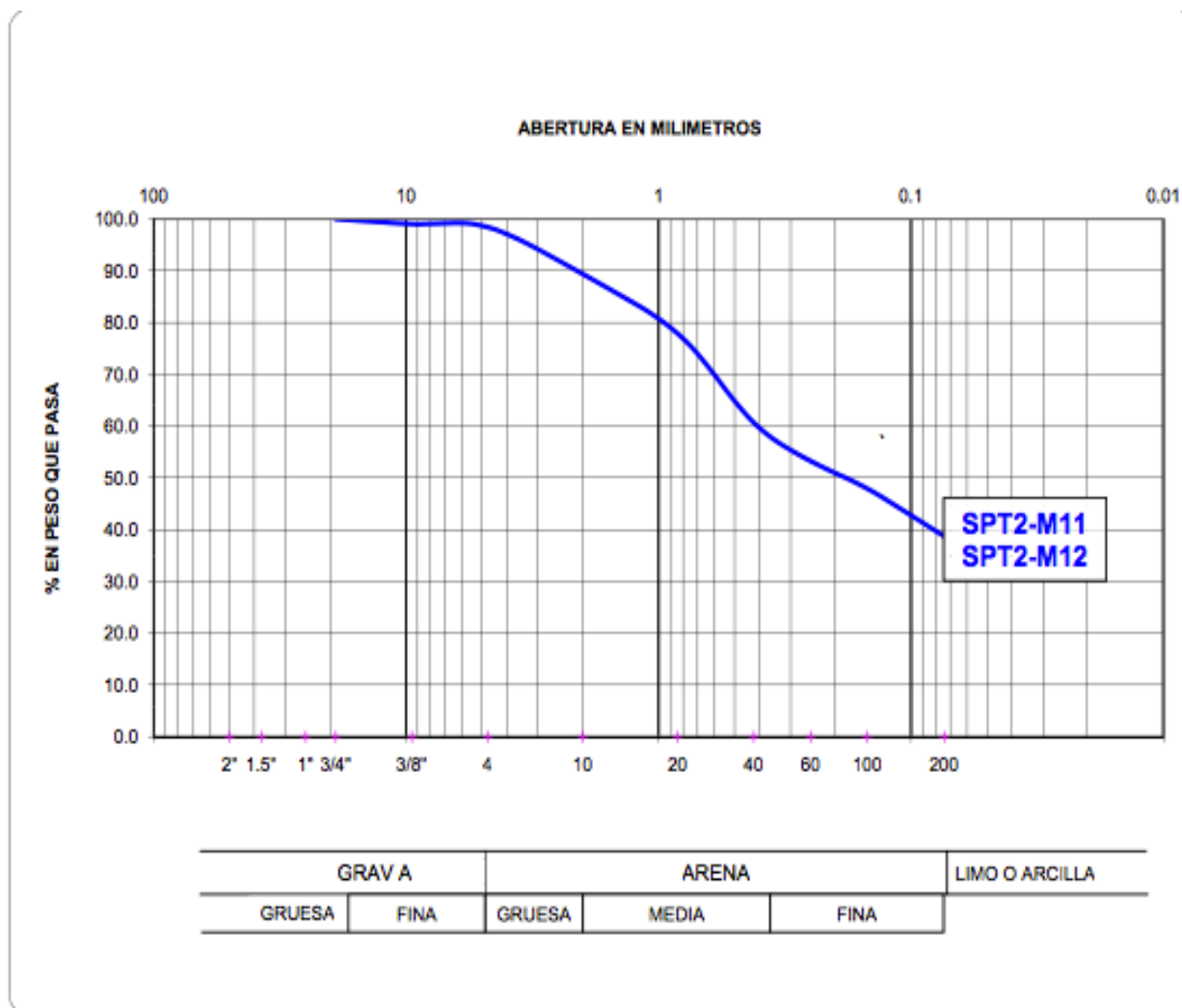
IL=Índice de liquidez

**GEO SERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEO TECNOLOGIA**



NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT2 - M5 Y M6, (3.60 a 4.80m.), (9.1% GRAVAS, 54.3% ARENAS, 36.6% FINOS), SC.

FIGURA C3-A  
**GEO SERVICIOS**  
 GEOFISICA  
 GEOTECNIA



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITE Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación <b>S.U.C.S.</b>
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	L.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT2												
	11,12	5.06 a 6.86	27.2	52.2	25.0	10.4			1.6	59.7	38.7	<b>SC</b>
ICc= 0.380 Compresibilidad media			Humedad lugar = 18.1 %						D60=0.401			
Ic= 1.254			IL= -0.254									

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

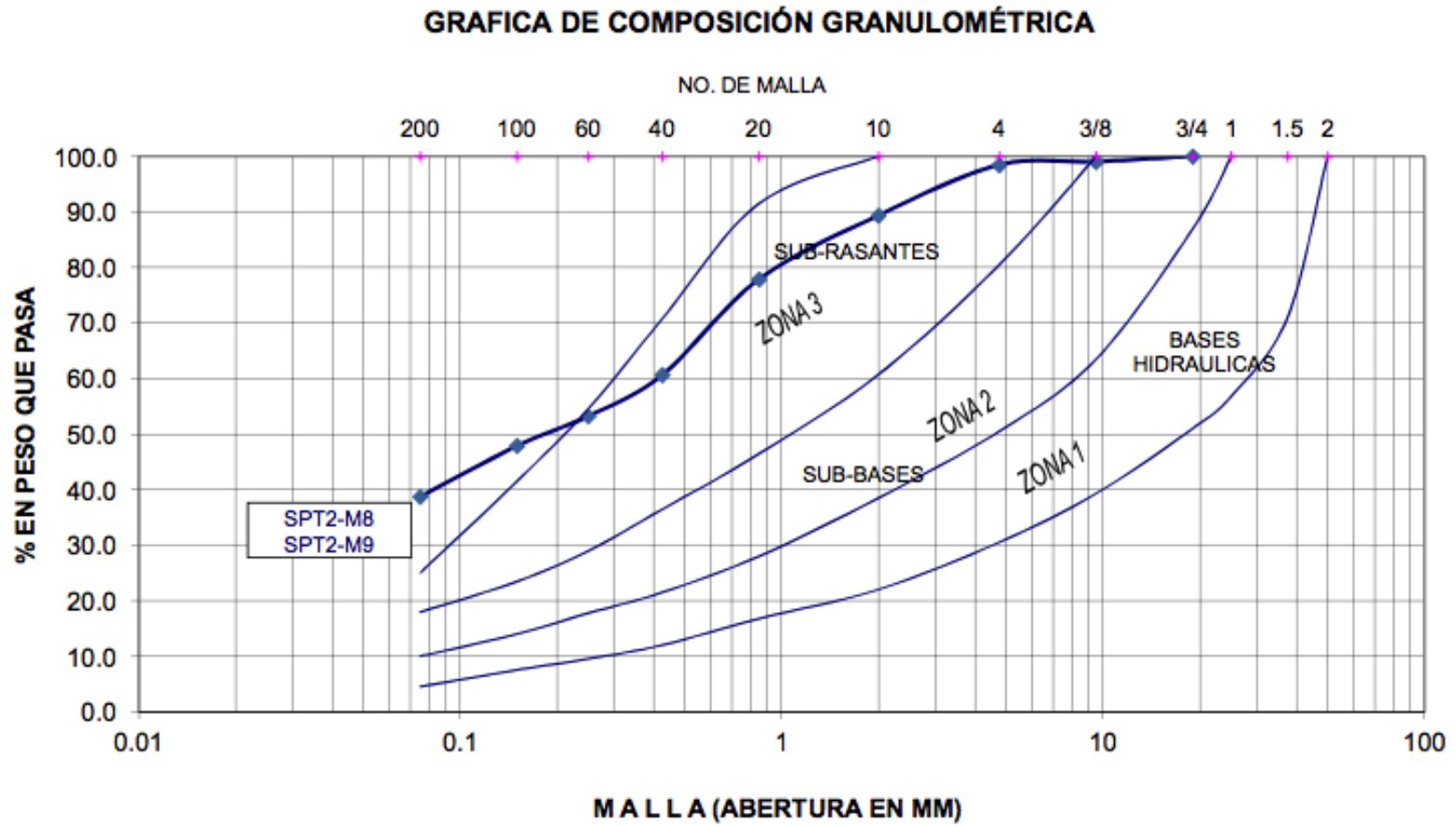
W= humedad. L.L.= Limite Liquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)<sup>2</sup>/(D10xD60)

S.U.C.S= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

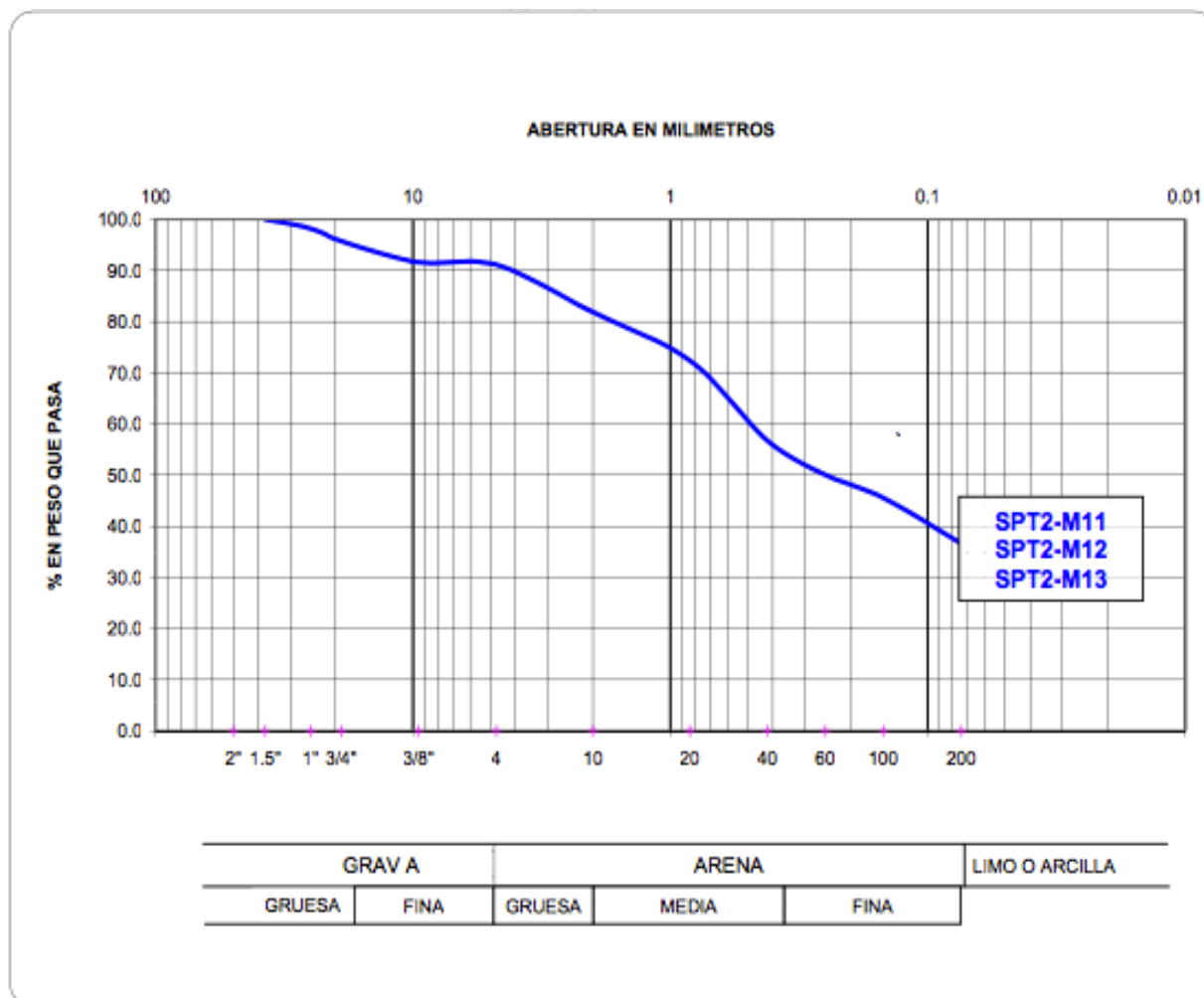
IL=Índice de liquidez

**GEO SERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEOTECNIA**



NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT2-M8 Y M9, (5.06 a 6.86 m.), (1.6% GRAVAS, 59.7% ARENAS, 38.7% FINOS), SC.

FIGURA C4-A  
**GEOSERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEOTECNIA**



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITE Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	LL	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	S.U.C.S.
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT2	11,12,13	7.46 a 9.26	21.7	47.6	25.9	8.0			8.9	54.5	36.6	<b>SC</b>
ICc=	0.338	Compresibilidad media						Humedad lugar = 16.7 %			D60=0.490	
Ic=	1.424							IL= -0.424				

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

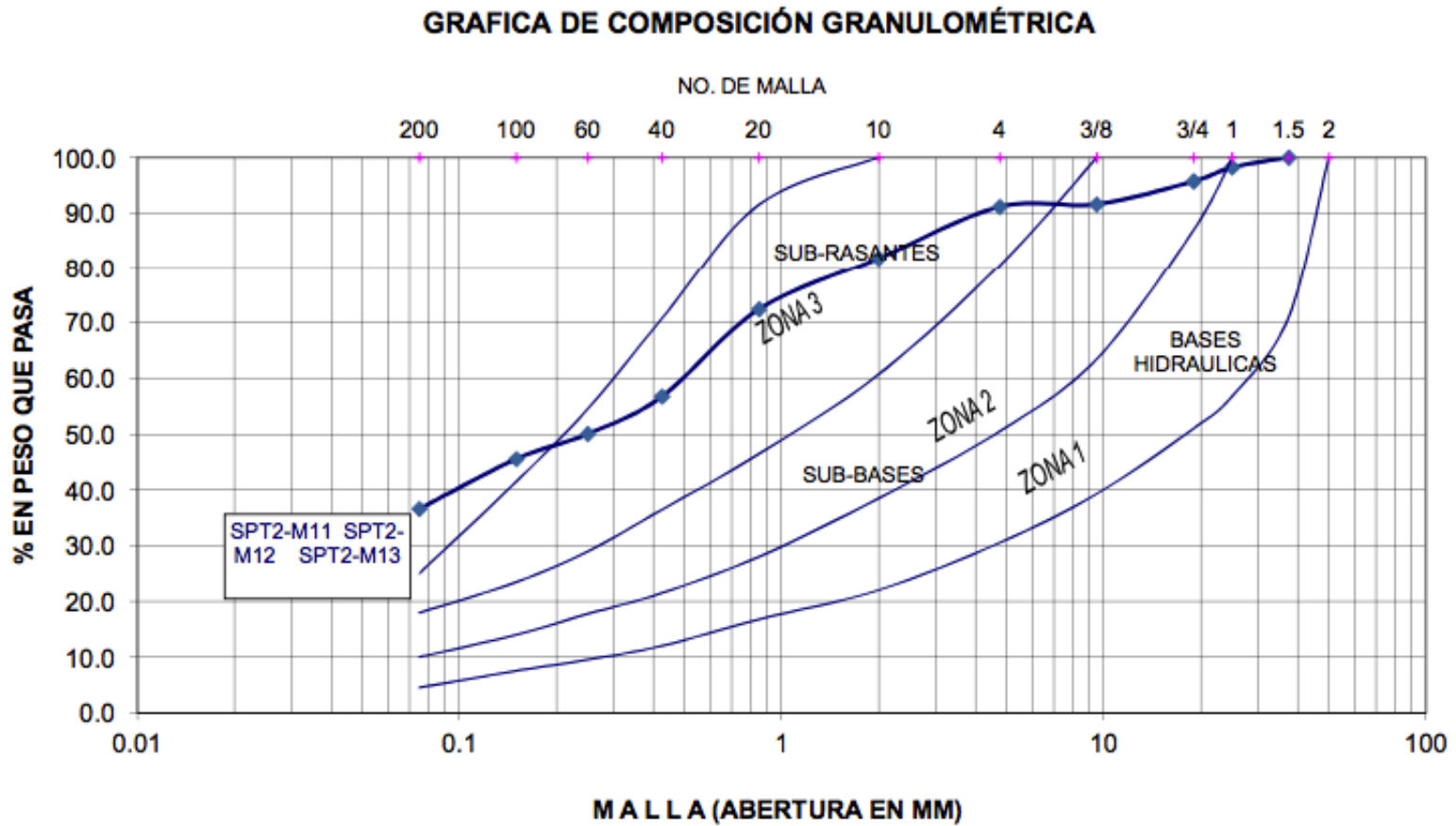
W= humedad. LL.= Limite Liquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)<sup>2</sup>/(D10xD60)

S.U.C.S= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

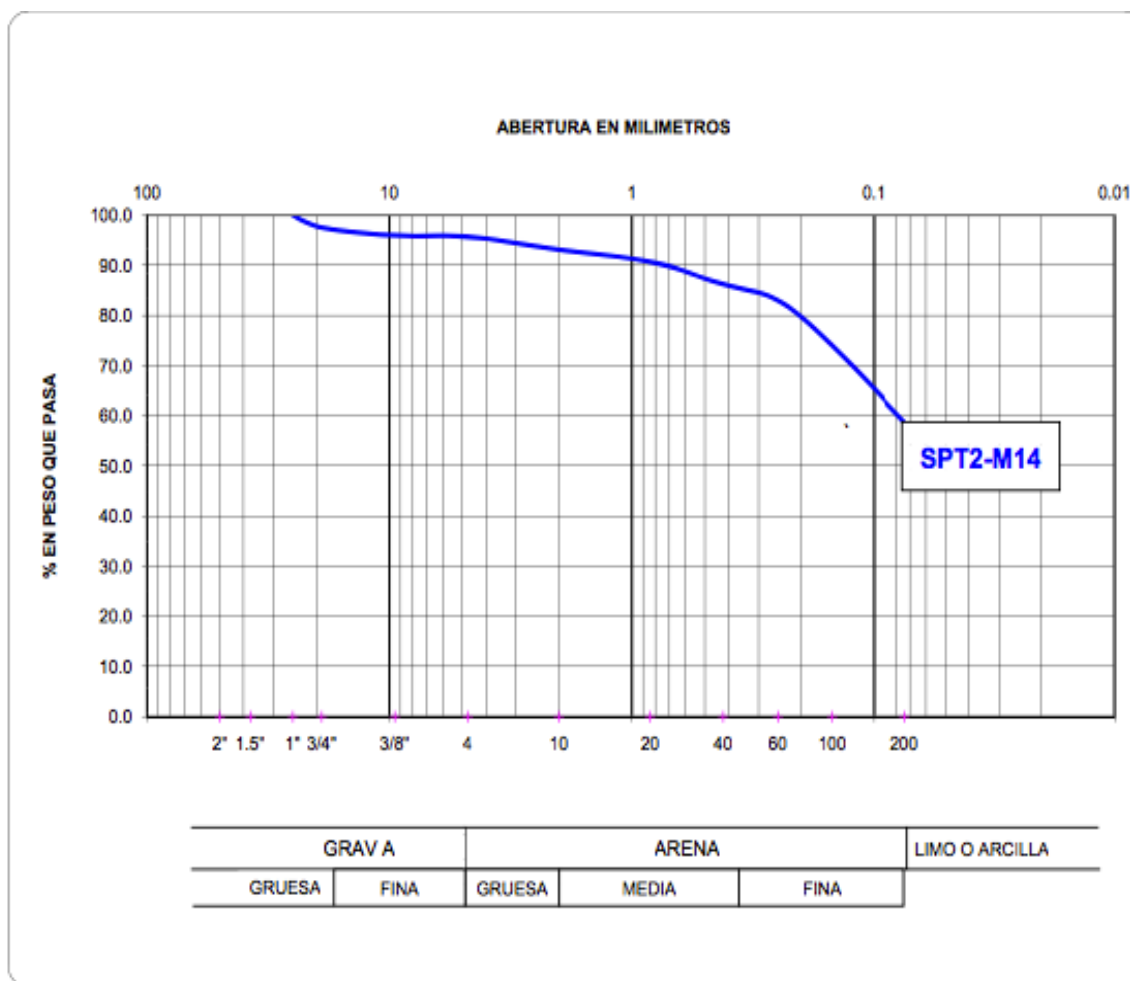
IL=Índice de liquidez

**GEOSERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEO-TECNIA**



NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT2-M11, M12 Y M13, (7.46 a 9.26 m.), (8.9% GRAVAS, 54.5% ARENAS, 36.6% FINOS), SC.

FIGURA C5-A  
**GEO SERVICIOS**  
 GEOPHISICA  
 GEOTECCNIA



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITES Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación <b>S.U.C.S.</b>
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros							%	%	%	%
SPT2												
	14	9.26 a 9.71	25.3	50.6	25.3	9.7			4.3	37.0	58.7	<b>CH</b>
ICc= 0.365 Compresibilidad media			Humedad lugar = 20.1 %									D60=0.800
Ic= 1.206			IL= -0.206									

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

W= humedad. L.L.= Limite Líquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D60/D10. Cc=(D30)<sup>2</sup>/(D10xD60)

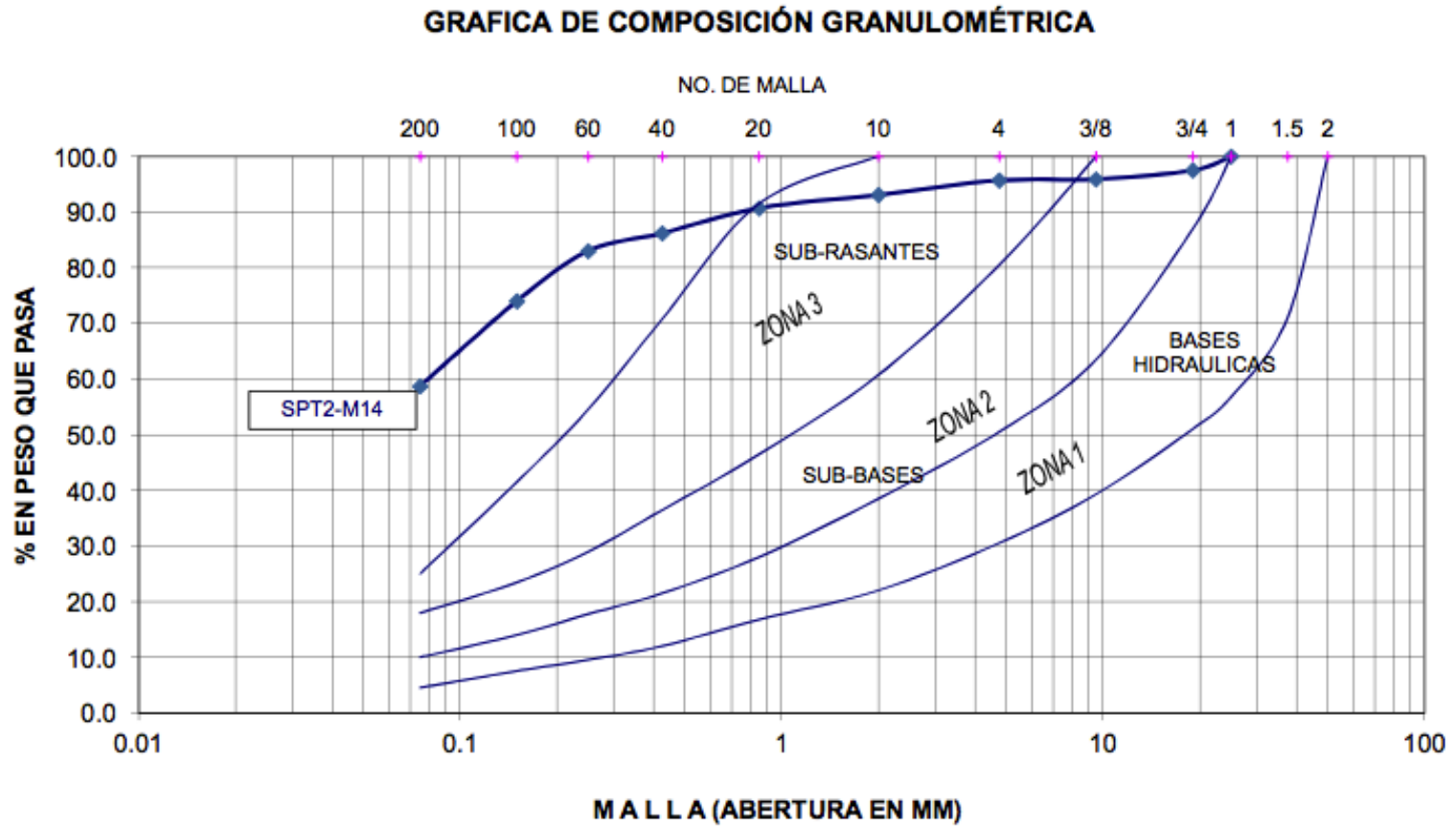
S.U.C.S.= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

ICc=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. Ic= Índice de consistencia

IL=Índice de liquidez

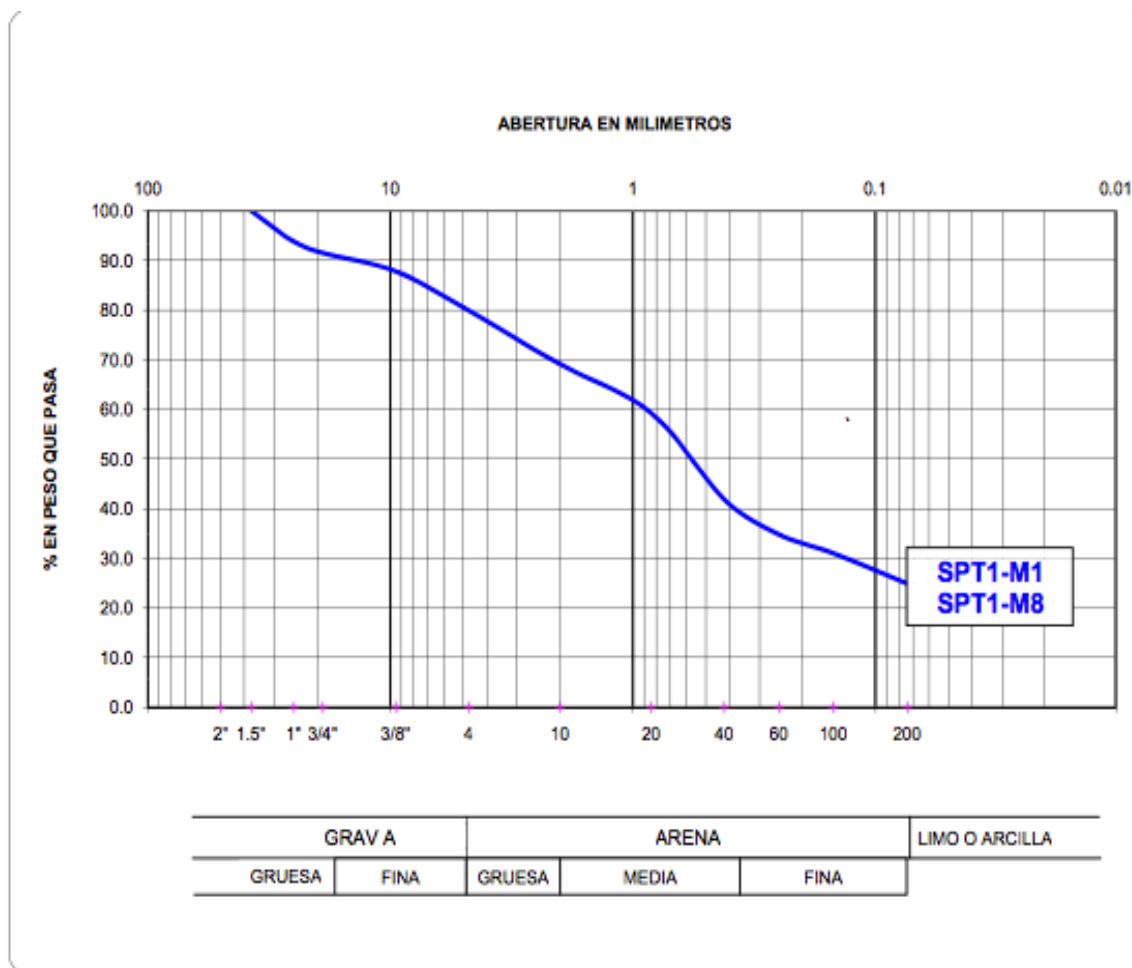
**GOSERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEOTECNIA**





NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT2-M14, (9.26 a 9.71 m.), (4.3% GRAVAS, 37.0% ARENAS, 58.7% FINOS), CH.

FIGURA C6-A  
**GEOSERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEOTECNIA**



NOMENCLATURA Y PROFUNDIDAD			LIMITES Y CARACTERISTICAS						GRANULOMETRIAS. % PASA			Clasificación <b>S.U.C.S.</b>
PROCEDENCIA	Muestra	Profundidad	I.P.	L.L.	L.P.	C.L.	Cu.	Cc.	Gravas	Arenas	Finos	
	No.	Metros	%	%	%	%			%	%	%	
SPT1	1	0.60 a 1.20										
SPT1	8	4.20 a 4.80	24.2	47.6	23.4	9.3			20.1	55.0	24.9	<b>SC</b>
I <sub>Cc</sub> =	0.338	Compresibilidad media					Humedad lugar =			20.8	%	D <sub>30</sub> =0.134
I <sub>c</sub> =	1.107						IL=			-0.107		D <sub>60</sub> =0.904

<b>PROYECTO</b>	PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA
<b>UBICACIÓN</b>	EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México

NOMENCLATURA:

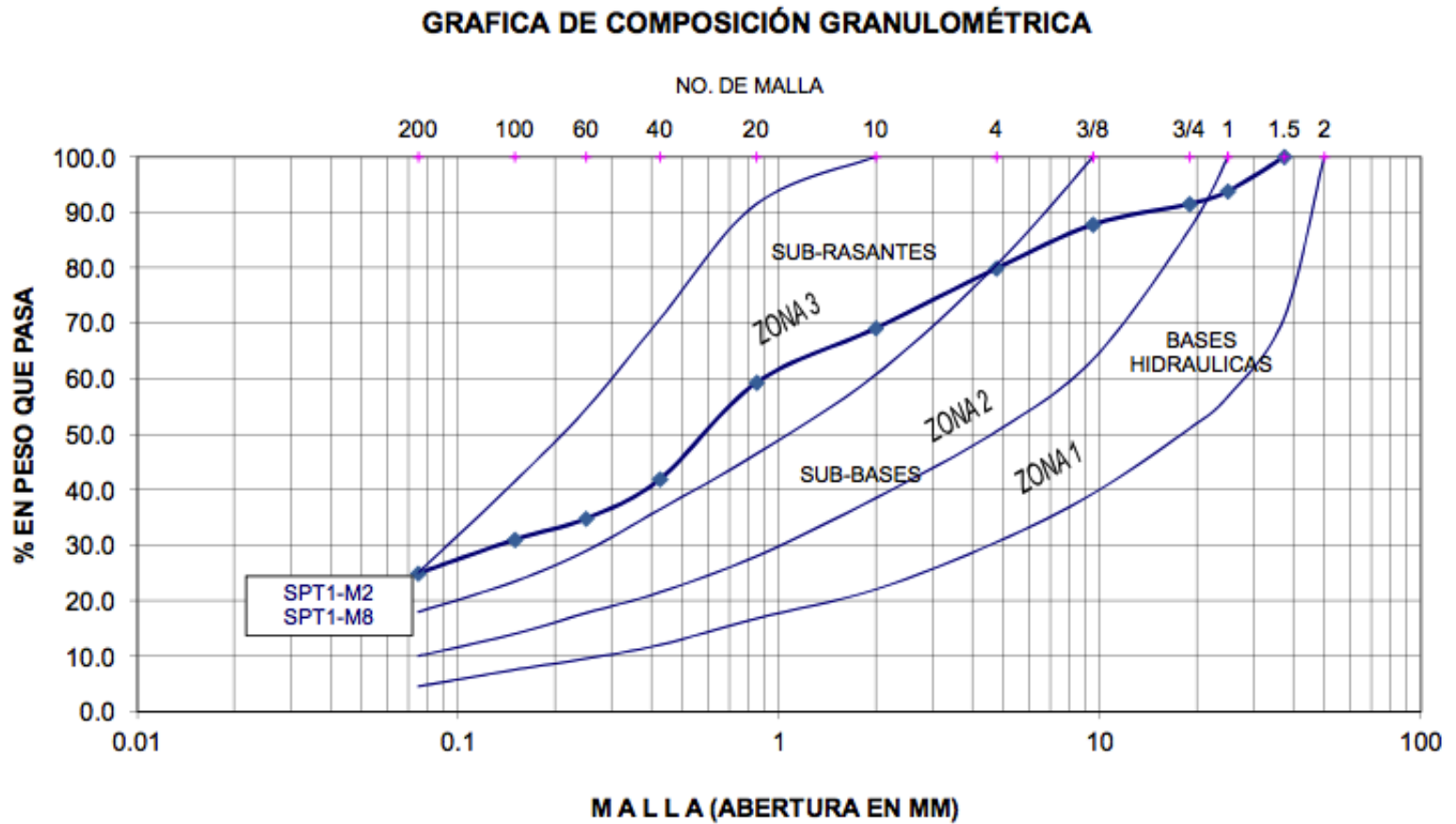
W= humedad. L.L.= Limite Liquido. L.P.= Limite plástico. C.L.= Contracción lineal. Cu= D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>. Cc=(D<sub>30</sub>)<sup>2</sup>/(D<sub>10</sub>xD<sub>60</sub>)

S.U.C.S= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

I<sub>Cc</sub>=Índice de compresión según Terzaghi y Peck. I<sub>c</sub>= Índice de consistencia

IL=Índice de liquidez

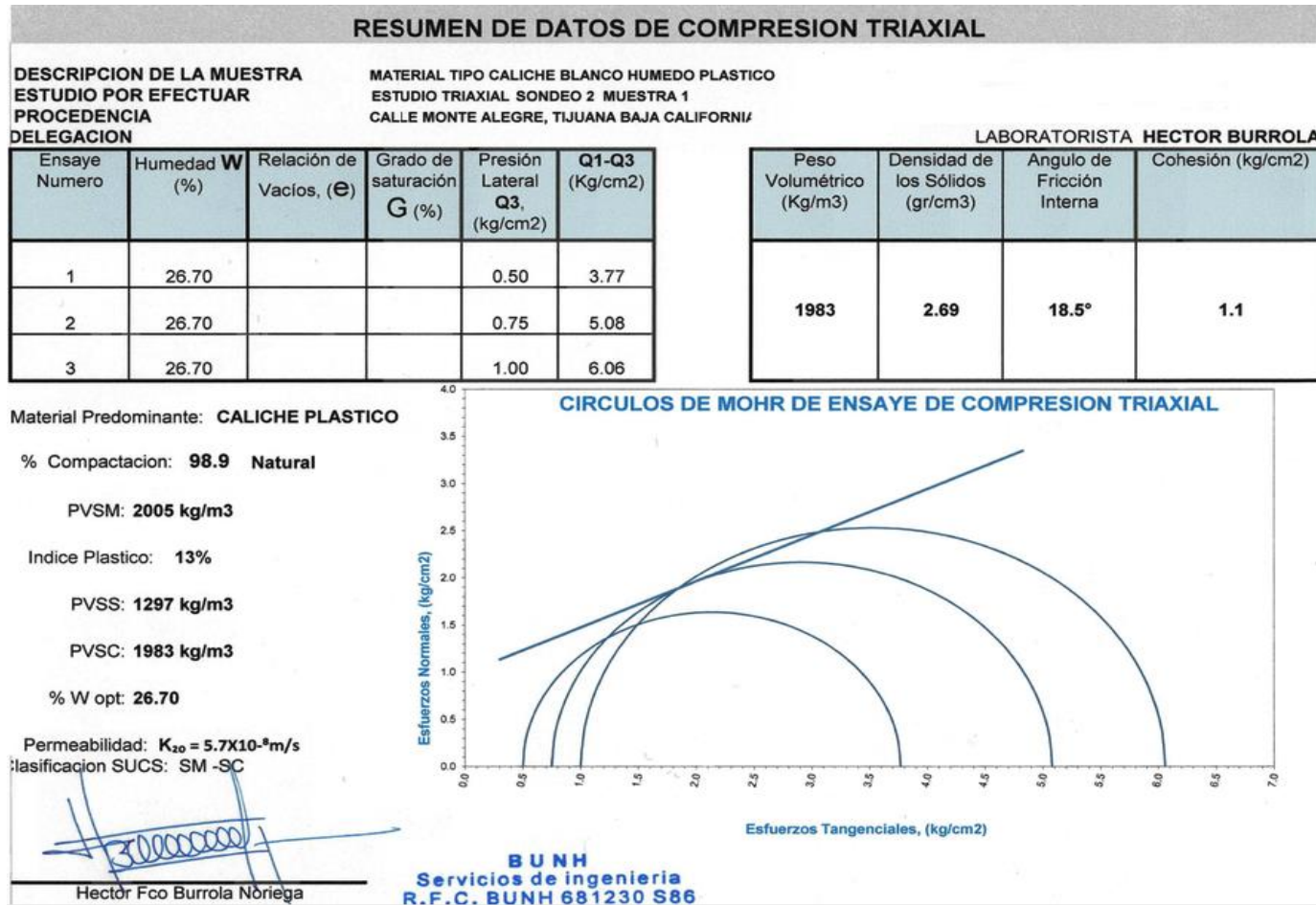
**GROSERVICIOS**  
**GEOFISICA**  
**GEOTECNICA**



NOMBRE PROYECTO: PARQUE RINCON TOSCANO, CUMBRE DE LA TARAHUMARA  
 UBICACION: EN LA CIUDAD DE TIJUANA, B.C. México  
 CLAVE MUESTRA: SPT1-M2 Y SPT1-M8, (0.60 a 4.80 m.), (20.1% GRAVAS, 55.0% ARENAS, 24.9% FINOS), SC.

FIGURA C7-A  
**GBSERVICIOS**  
 GEOFISICA  
 GEOTECNIA

**Apéndice E. Resultados del ensayo de compresión triaxial en el proyecto ubicado en el Fraccionamiento Lomas Conjunto Residencial.**









**Apéndice F. Informe técnico entregado al Grupo Iteico Euroamericano**

[\(Ver informe Técnico\)](#)



**Apéndice G. Manual de uso del método de equilibrio límite para el análisis de estabilidad del terreno.**

[\(Ver manual\)](#)