

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia**

**“EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO  
UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750  
DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR  
TITIJAHUANI, TARATA – TACNA”**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Jony Alonso Olguin Palomino**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

**TACNA – PERÚ  
2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA – GEOTECNIA

**“EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO  
UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750  
DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR  
TITIJAHUANI, TARATA - TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de noviembre del 2018, integrada por el siguiente jurado:

PRESIDENTE



MSC. CONRADO BEDOYA JAÉN

MIEMBRO – SECRETARIO



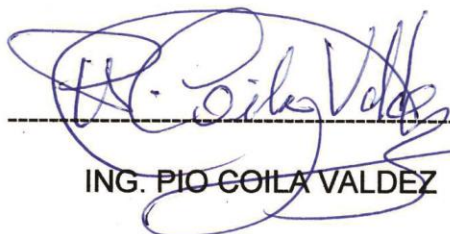
ING. FREDY CABRERA OLIVERA

MIEMBRO



MGR. GINA CHAMBI TAPAHUASCO

ASESOR DE TESIS



ING. PIO COILA VALDEZ

***DEDICATORIA***

*A mis queridos padres Roberto e  
Hilaria y mis hermanos por el apoyo y  
cariño brindado.*

*A mi querido hijo Marcelo Alonso.*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme dado fortaleza y sabiduría para que fuera posible terminar este proyecto.

Hago extensivo mis agradecimientos al Proyecto Especial Tacna, a través de la Gerencia de Estudios y Proyectos, por permitirme ser parte del grupo que desarrolló el Proyecto.

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann a través de los docentes de la Escuela Profesional de Geología y Geotecnia por formarme académicamente en esta gran profesión, a mi asesor de Tesis, Ing. Pio Cohila Valdez, quien, con sus conocimientos, su experiencia y apoyo fueron fundamental para la realización de esta tesis.

.

## INTRODUCCIÓN

Los proyectos de ingeniería antes de iniciar la etapa constructiva, requieren previamente, que se realicen los estudios de Ingeniería denominados “Estudios Básicos de ingeniería” ya que estos estudios vienen a ser la columna vertebral de un proyecto, pues los diseños a realizarse tendrán su punto de inicio los resultados de los “Estudios Básicos” realizados, es por lo cual la importancia y responsabilidad de que estos sean los más objetivos posibles.

El proyecto “Construcción del canal Vilachauillani” realizado por el Proyecto Especial Tacna, es uno de los proyectos hidráulicos más importantes proyectados para la ciudad de Tacna, que pretende solucionar en parte la escasez del recurso hídrico que afecta a la ciudad.

El estudio pretende definir el modelo geológico y geotécnico para la zona donde se evidencia la existencia de deslizamientos antiguos, por donde se ha proyectado cruzará el eje del canal Vilachauillani, por lo cual es imprescindible conocer si las condiciones geológicas y geotécnicas a las que estará sometido la construcción del canal Vilachauillani, que será definido a partir de un análisis cualitativo y cuantitativo de los datos obtenidos y cálculos realizados y si estos resultados favorecen o no a que el proyecto se construya de manera sostenida en el tiempo.

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

<b>1. CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ubicación y acceso del área de estudio.....	1
1.2 Clima y vegetación .....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.4 Hipótesis .....	4
1.5 Objetivos de la investigación .....	4
1.5.1 Objetivo General:.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos: .....	4
1.6 Justificación del Problema .....	5
<b>2. CAPITULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 Antecedentes de la investigación .....	6
2.2 Fundamento sobre deslizamientos .....	7
2.2.1 Movimientos de Ladera .....	7
2.2.2 Tipos de Movimiento.....	8
2.2.3 Causas de los movimientos de ladera .....	10
2.3 Fundamento del método de Tomografía Eléctrica.....	11
2.3.1 Método Geofísico de Resistividad .....	11
2.3.2 Arreglos electródicos básicos .....	12
2.3.3 Tomografía eléctrica .....	12
2.4 Estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite .....	21
2.4.1 Método de Fellenius.....	21
2.4.2 Método de Bishop Simplificado .....	24
2.4.3 Método de Janbu .....	26
2.4.4 Factor de Seguridad .....	27
2.5 Capacidad portante en cimentaciones poco profundas .....	28

2.5.1	Correccion de Factores de capacidad de carga para cimientos superficiales en laderas .....	31
2.5.2	Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga para el nivel freático .....	32
2.5.3	Factor de Seguridad .....	33
2.6	Definición conceptual de términos .....	34
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>35</b>
<b>3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>35</b>
3.1	Nivel de la Investigación .....	35
3.2	Desarrollo de la Investigación .....	35
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>41</b>
<b>4. DESARROLLO DEL ESTUDIO .....</b>		<b>41</b>
4.1	Levantamiento Topográfico .....	41
4.2	Marco Geomorfológico y Geológico Regional .....	42
4.2.1	Geomorfología Regional.....	42
4.2.2	Geología regional.....	44
4.2.3	Geología Estructural .....	49
4.3	Marco Geomorfológico y Geológico Local.....	51
4.3.1	Geomorfologia y Geología .....	51
4.3.2	Geodinámica de la zona de estudio.....	58
4.3	Sismicidad del Area de Estudio .....	67
4.4	Geotecnia.....	70
4.4.1	Tomografía Eléctrica .....	70
4.4.2	Mecánica de Suelos.....	80
<b>5. CAPITULO V .....</b>		<b>84</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>		<b>84</b>
5.1	Sector 1: Progresivas km 41+070 al km 41+170.....	85
5.2	Sector 2: Progresivas km 41+225 al km 41+305.....	95
5.3	Sector 3: Progresivas km 41+380 al km 41+475.....	104
5.4	Carga actuante sobre la cimentación .....	114
5.5	Análisis de Resultados.....	115
5.5.1	Sector 1: Progresivas km 41+070 al 41+170 .....	115

5.5.2	Sector 2: Progresivas km 41+225 al 41+305 .....	116
5.5.3	Sector 3: Progresivas km 41+380 al 41+480 .....	118
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>120</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>122</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>123</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>125</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. En expediente técnico Construcción del canal Vilachauillani, por Proyecto Especial Tacna, 2015. ....	2
Figura 2. Esquema de un deslizamiento rotacional (modificado de Varnes, 1988).....	9
Figura 3. Dispositivo para la medida de la resistividad del suelo.....	12
Figura 4. Diferentes dispositivos usados en Sondeos Eléctricos de Resistividad con sus correspondientes factores geométricos. ....	13
Figura 5. Esquema del montaje para la realización de una tomografía eléctrica.....	14
Figura 6. Sensibilidad para la configuración Wenner.....	15
Figura 7. Sensibilidad para la configuración Dipolo - Dipolo.....	15
Figura 8. Sensibilidad para la configuración Wenner - Schlumberger.....	16
Figura 9. Sensibilidad para la configuración Wenner - Schlumberger.....	17
Figura 10. Sensibilidad para la configuración Wenner - Schlumberger.....	18
Figura 11. Esquema de adquisición de una ERT usando un arreglo Wenner.....	19
Figura 12. Formulación del método de Fellenius.....	22
Figura 13. Formulación del método de Bishop simplificado.....	25
Figura 14. Formulación del método de Janbu.....	27
Figura 15. Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación.....	28
Figura 16. Valores de $N_Y$ para diferentes autores.....	29
Figura 17. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga para el nivel freático.....	32
Figura 18. Sección típica del canal de conducción Vilachauillani.....	38
Figura 19. Lineamientos estructuras emplazados en el sector de Titijahuani.....	50
Figura 20. Perfil geológico entre las prog. Km 41+000 al km 41+070.....	52
Figura 21. Perfil geológico entre las prog. Km 41+070 al km 41+170.....	53
Figura 22. Perfil geológico entre las prog. Km 41+170 al km 41+228.....	53
Figura 23. Perfil geológico entre las prog. Km 41+228 al km 41+305.....	54
Figura 24. Perfil geológico entre las prog. Km 41+305 al km 41+385.....	55

Figura 25. Perfil geológico entre las prog. Km 41+385 al km 41+475 .....	56
Figura 26. Perfil geológico entre las prog. Km 41+475 al km 41+750 .....	57
Figura 27. Unidades estratigráficas presentes en nuestra área de estudio .....	57
Figura 28. Plano geológico de planta, obsérvense los eventos de remoción de masa .....	59
Figura 29. Esquema de subducción para el sur del Perú .....	68
Figura 30. Distribución de ordenadas espectrales para el sur del Perú correspondientes a un periodo estructural de 0.0 seg (aceleración del suelo). (Alva, 1993).....	69
Figura 31. Ubicación de las líneas tomográficas, vista en planta .....	70
Figura 32. Sección Tomográfica LTG-400-CV-2A .....	72
Figura 33. Sección Tomográfica LTG-500-CV-1A .....	73
Figura 34. Sección Tomográfica LTG-600-CV-2B.....	74
Figura 35. Sección Tomográfica LTG-700-CV-3B.....	75
Figura 36. Sección Tomográfica LTG-800-CV-3A .....	76
Figura 37. Sección Tomográfica LTG-100-CV-4A .....	78
Figura 38. Sección Tomográfica LTG-200-CV-4C.....	79
Figura 39. Sección Tomográfica LTG-300-CV-4B.....	80
Figura 40. Perfil A1 con su respectiva estratigrafía, Sector 1. ....	85
Figura 41. Perfil A. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en el Sector 1 .....	87
Figura 42. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil A-A', sector 1.....	88
Figura 43. Análisis Pseudoestático por el método de Fellenius, perfil A-A', sector 1.....	89
Figura 44. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil A-A', sector 1.....	89
Figura 45. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil A-A', sector 1. ....	90
Figura 46. Análisis Estático por el método de Janbu, perfil A-A', sector 1. ....	90
Figura 47. Análisis Pseudoestático por el método de Janbu, perfil A-A', sector 1. ....	91
Figura 48. Perfil representativo del terreno para capacidad portante, Sector 1 .....	92
Figura 49. Perfil B, con su respectiva estratigrafía, Sector 2. Fuente: Elaboración propia .....	95

Figura 50. Perfil B. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en el Sector 2 .....	97
Figura 51. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil B-B', sector 2. ....	98
Figura 52. Análisis Pseudoestático por el método de Fellenius, perfil B-B', sector 2. ....	99
Figura 53. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil B-B', sector 2. ....	99
Figura 54. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil B-B', sector 2. .....	100
Figura 55. Análisis Estático por el método de Janbu, perfil B-B', sector 2.....	100
Figura 56. Análisis Pseudoestático por el método de Janbu, perfil B-B', sector 2.....	101
Figura 57. Perfil representativo para capacidad portante, Sector 2. ....	102
Figura 58. Perfil C, con su respectiva estratigrafía, Sector 3. Fuente: Elaboración propia .....	105
Figura 59. Perfil C. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en el Sector 3 .....	107
Figura 60. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil C-C', sector 3. ....	108
Figura 61. Análisis Pseudoestático por el método de Fellenius, perfil C-C', sector 3. ....	108
Figura 62. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil C-C', sector 3. ....	109
Figura 63. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil C-C', sector 3. .....	109
Figura 64. Análisis Estático por el método de Janbu, perfil C-C', sector 3.....	110
Figura 65. Análisis Pseudoestático por el método de Janbu, perfil C-C', sector 3.....	110
Figura 66. Perfil representativo para capacidad portante. Sector 3 .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Acceso al área de estudio.....	1
Tabla 2 Factores condicionantes y desencadenantes en el movimiento de laderas .....	10
Tabla 3 Grado de estabilidad de taludes .....	28
Tabla 4 Parámetros geotécnicos del Sector ..., progresivas km... al km..., con/sin proyecto ..	37
Tabla 5 Talud de corte de canal, Sector... ..	37
Tabla 6 Factores de Seguridad en el Perfil ..., Sector ..., con proyecto .....	38
Tabla 7 Ubicación de calicatas .....	81
Tabla 8 Resumen de ensayos de suelos por calicata.....	83
Tabla 9 Parámetros geotécnicos del Sector 1, progresivas km 41+070 al km 41+105, Sin Proyecto .....	86
Tabla 10 Parámetros corregidos del Sector 1, progresivas km 41+070 al km 41+105, Sin Proyecto .....	86
Tabla 11 Talud de Corte del canal, Sector 1.....	87
Tabla 12 Factores de seguridad en el Perfil A-A', Sector 1. Con proyecto.....	91
Tabla 13 Parámetros geotécnicos del Sector 2, progresivas km 41+225 al km 41+305. Sin Proyecto .....	96
Tabla 14 Parámetros corregidos del Sector 2, progresivas km 41+225 al km 41+305. Sin Proyecto .....	96
Tabla 15 Talud de Corte del canal, Sector 2.....	97
Tabla 16 Factores de seguridad en el Perfil B – B', Sector 2. Con Proyecto. ....	101
Tabla 17 Parámetros geotécnicos del Sector 3, progresivas km 41+380 al km 41+475 Sin proyecto .....	106
Tabla 18 Parámetros corregidos del Sector 3, progresivas km 41+380 al km 41+475 .....	106
Tabla 19 Talud de Corte, Sector 3 .....	107
Tabla 20 Factores de seguridad en el Perfil C – C', Sector 3 con proyecto .....	111

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Vista de deslizamiento donde se emplazará la línea de conducción .....	4
Foto 2. GPS diferencial. Equipo R5 utilizado para el levantamiento topográfico.....	41
Foto 3. Sector1: Primer deslizamiento, vista en dirección norte .....	61
Foto 4. Sector1: Bofedal por donde atravesará la línea de conducción, grietas de tensión de 10 m de longitud .....	62
Foto 5. Sector1: Grietas de tensión con abertura de 30 cm, y flujo de agua en la abertura .....	63
Foto 6. Sector2: Zona de acumulación de material deslizado, conformando un bofedal saturado. ....	64
Foto 7. Sector2: Grietas de tensión en la zona de bofedal, en forma longitudinal al eje de la línea de conducción y abertura de hasta 50 cm y longitud de 24 m. ....	64
Foto 8. Sector2: Tercer Deslizamiento, grieta de tensión ubicada metros debajo del eje de la línea de conducción .....	65
Foto 9. Sector3: Cuarto Deslizamiento, vista desde la corona hasta la zona de acumulación, constituido por depósitos de bofedal .....	66
Foto 10. Sector3: Cuarto Deslizamiento, vista de la zona de acumulación donde se observa la inestabilidad del material, notándose un escarpe activo y movimiento de la masa de suelo.....	66
Foto 11. Sector3: Se evidencia movimiento de masa de suelo (reptación), con grietas de tensión y terreno saturado. ....	67

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Ubicación y acceso del área de estudio

#### Ubicación

El proyecto Canal de Conducción Vilachauillani se localiza políticamente:

Región : Tacna  
Provincia : Tarata  
Distrito : Tarata  
Centro Poblado : Kallapuma Maure

Geográficamente nuestra zona de estudio se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM WGS-84 429,425-430,032E y 8'085,368-8'085,497N, y entre altitudes de 4260 y 4305 m.s.n.m. (Figura 1)

#### Accesibilidad

La zona de estudio es accesible desde la ciudad de Tacna por vía asfaltada hasta el distrito de Palca, continuando por vía afirmada hasta el campamento de el Ayro perteneciente al Proyecto Especial Tacna para continuar por trocha carrozable al sector de Titijahuani. (Tabla 1)

Tabla 1  
*Acceso al área de estudio*

Vía de Acceso			Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo (h)
Tacna	Palca	Carretera	Asfaltada	40	1
			Afirmada	15	
Palca	El Ayro	Carretera	Afirmada	45	3
			Trocha Carrozable	35	
El Ayro	Titijahuani	Carretera	Trocha Carrozable	35	1

Fuente: Elaboración propia.

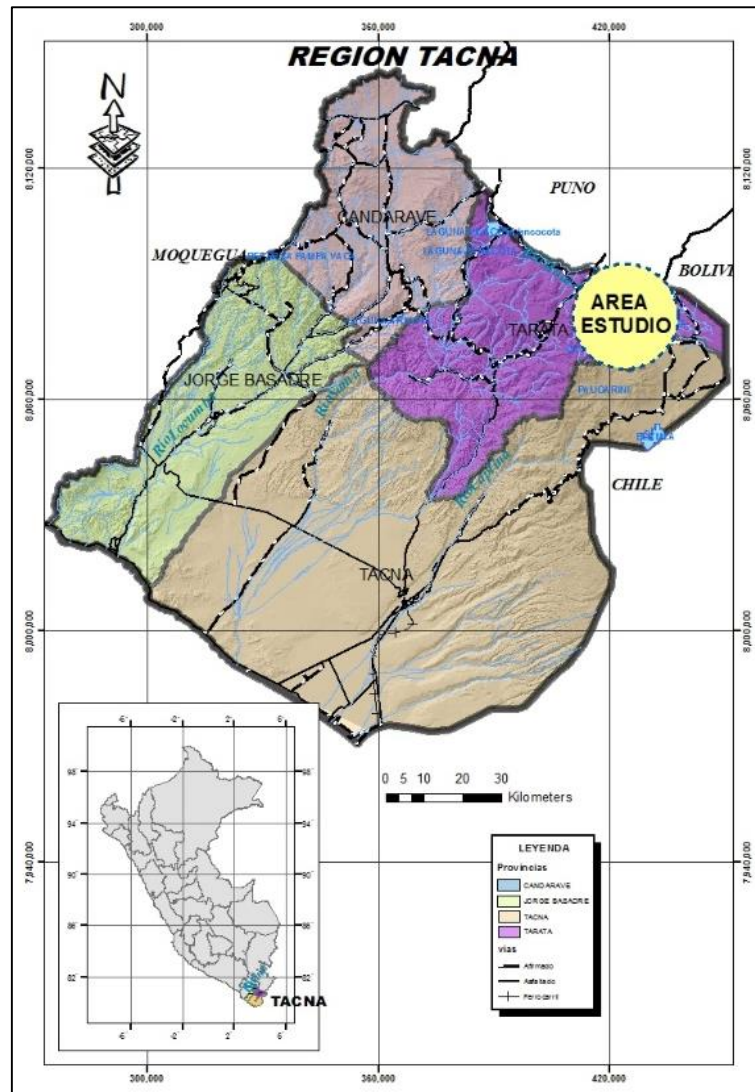


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. En expediente técnico Construcción del canal Vilachauillani. Por Proyecto Especial Tacna (2015)

## 1.2 Clima y vegetación

Debido a la baja presión atmosférica y, por tanto, menos concentración de oxígeno, el clima en nuestra zona de estudio es muy frío y tiene grandes amplitudes térmicas diarias, esto significa que la mayoría de las noches, inclusive en verano puede helar y que al mediodía puede hacer calor. La variación de temperatura puede ser de 20 °C en el mismo día, -10 °C por la noche, características propias de la zona altoandina, con altitudes de 4000 a 5000 m.s.n.m. Durante los meses de verano la precipitación es muy fuerte aproximadamente es 400 mm/año,

acompañadas con granizos, rayos y algunas veces con neblina, despejándose por las mañanas durante los meses de verano.

La flora en nuestra zona de estudio es esteparia y se caracteriza por presentar plantas de hojas de reducida superficie, regionalmente en nuestra zona de estudio existen muchas especies vegetales como la tola, yareta e ichu, los pobladores de la zona lo utilizan como combustible.

### **1.3 Planteamiento del problema**

#### **Identificación del problema:**

Durante la etapa de estudio a nivel de Factibilidad del Proyecto: “Construcción del canal Vilachauillani”, realizado por el Proyecto Especial Tacna, se identificaron 3 sectores de deslizamientos de masa de suelos en el tramo de estudio pero no se profundizó a detalle las características geológicas y geotécnicas del suelo donde se tiene proyectado la construcción de la línea de conducción, es por ello que para la etapa de estudio definitivo es indispensable evaluar las condiciones de estabilidad que presenta deslizamientos de suelo, donde se construirá el canal Vilachauillani con la finalidad de evitar costos adicionales durante la construcción, fallas que perjudiquen el normal funcionamiento de la infraestructura hidráulica y pérdida de vidas humanas por deslizamiento de material durante el proceso constructivo.

Por lo expuesto líneas arriba se plantea la siguiente interrogante ¿Las condiciones geológicas y geotécnicas entre las progresivas km 41+000 al km 41+750 de la línea de conducción Vilachauillani, son las adecuadas para emplazar un canal de conducción?

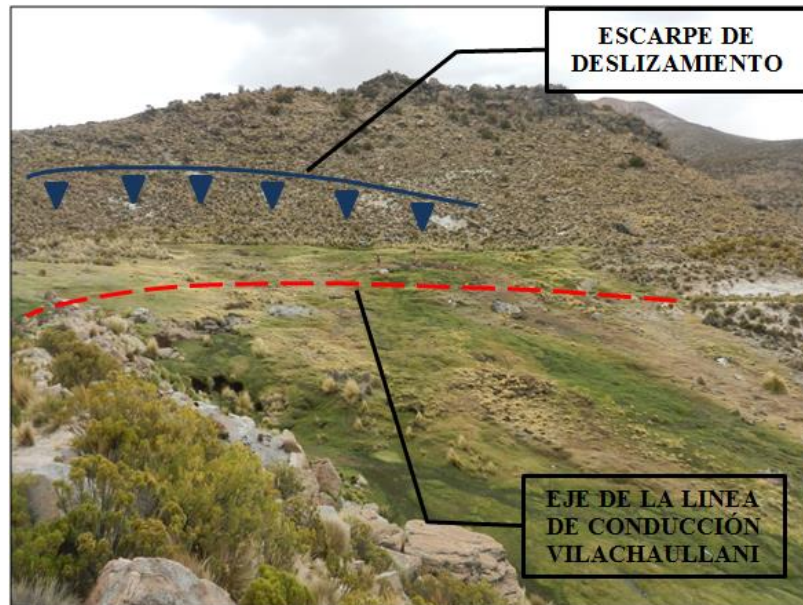


Foto 1. Vista de deslizamiento donde se emplazará la línea de conducción. Elaboración propia.

## 1.4 Hipótesis

Para alcanzar los objetivos propuestos partimos de la siguiente hipótesis:

- Las condiciones geológicas y geotécnicas de las zonas de deslizamiento en nuestra área de estudio, no son las adecuadas para proyectar la construcción del canal Vilachauillani.

## 1.5 Objetivos de la investigación

### 1.5.1 Objetivo General:

- Evaluar las condiciones geológicas y geotécnicas entre las progresivas km 41+000 al km 41+750 de la línea de conducción Vilachauillani, sector Titijahuani, Tarata – Tacna.

### 1.5.2 Objetivos Específicos:

- Identificar y describir la Geomorfología y litoestratigrafía del área a investigar.

- Realizar investigaciones por métodos directos e indirectos como estudios geofísicos y estudios de mecánica de suelos.
- Elaboración del perfil geológico geotécnico del tramo investigado.
- Analizar la estabilidad del talud de corte y capacidad portante del suelo de fundación del suelo.

## **1.6 Justificación del Problema**

La escasez del recurso hídrico es una constante en la ciudad de Tacna, en épocas de estiaje afecta el normal abastecimiento de este recurso a la población. Esto sumado al rápido incremento poblacional y la necesidad de ampliar la frontera agrícola hace que sea necesaria la construcción de infraestructura hidráulica que garantice la demanda actual y futura del recurso hídrico.

La línea de conducción Vilachauillani plantea traer 1 m<sup>3</sup>/s adicional de agua del río Ancoaque a través de un recorrido de 42 km iniciando en la Bocatoma Vilachauillani hasta enpalmar con el canal Chuapalca ya existente.

Entre las progresivas km 41+000 al km 41+750 de la línea de conducción se evidencian antiguos eventos de remoción de masa de suelos tipo deslizamiento, por lo que es necesario realizar la evaluación geológica y geotécnica del suelo donde se emplazará el canal Vilachauillani lo que permitirá realizar una adecuada evaluación de la estabilidad del suelo frente a la infraestructura hidráulica y de acuerdo a ello dar las recomendaciones pertinentes.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

Se realizó la revisión bibliográfica de estudios relacionados con el tema de estudio referido a la estabilidad del suelo en laderas que nos permitan dar un enfoque objetivo en el desarrollo de la presente investigación.

OLIVER M. y MARIN J. (2013) Mallorca – España, realizan la descripción, caracterización geotécnica y Análisis del Deslizamiento del Talud del Instituto de educación secundaria Santa Margalida cuyo objetivo principal fue determinar la naturaleza y características geotécnicas de los diferentes materiales que conforman el subsuelo del talud, así como clasificar, definir y realizar un análisis retrospectivo del deslizamiento.

Como resultado se ha definido un deslizamiento tipo rotacional que se ha producido por la saturación del material constituido por un suelo arcilloso. El análisis se ha realizado por el método de dovelas o rebanadas (Bishop Simplificado) mediante el software SLIDE 5.0, resultando un F.S. de 0.9 para un talud saturado y de 1.5 para un talud no saturado, recomendando restaurar el talud con un ángulo de  $23.5^\circ$  y construir un drenaje superficial para captar las aguas de infiltración.

RODRIGUEZ-PECES M., YEPES J., TZIGE M. y CARRERA B. (2013) Gran Canaria – España, realizaron un estudio de investigación sobre las implicaciones geotécnicas de las sucesivas reactivaciones del deslizamiento de Pajonales-Rosiana (Depresión de Tirajana, Gran Canaria), donde se han

identificado los factores que han contribuido al desarrollo y reactivación del deslizamiento. Se ha establecido un modelo geológico y geotécnico de la ladera a partir de ensayos de laboratorio. Las superficies de rotura del deslizamiento se han desarrollado a través de tobas piroclásticas e ignimbritas que al ser meteorizadas desarrollan niveles limo-arcillosos con ángulos de fricción bajos, alta plasticidad y comportamiento expansivo. El factor agua constituyó un factor desencadenante del deslizamiento, ya que para que se produzca la inestabilidad es necesaria la saturación total de las ignimbritas del Grupo Mogán y la saturación parcial de las lavas y piroclastos del Grupo Roque Nublo.

El análisis de estabilidad se han considerado 14 casos diferentes donde se han considerado diferentes grados de saturación en agua (parcial o total) de las capas. Los resultados muestran que en el Caso 14: Saturación del 100% de la ignimbrita y saturación del 33% de las lavas y piroclastos el talud se comporta Inestable con un F.S. de 0.99.

## **2.2 Fundamento sobre deslizamientos**

### **2.2.1 Movimientos de Ladera**

Los movimientos en masa son procesos de la Geodinámica Externa, los cuales modifican las diferentes formas del terreno y constituyen un riesgo importante frente a la infraestructura que en él se emplace.

Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño y Oteo (2002, p. 623) afirman: “Las inestabilidades en las laderas se deben al desequilibrio entre las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras”.

### 2.2.2 Tipos de Movimiento

Según Gonzales de Vallejo et al., (2002) las clasificaciones de los movimientos de ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de la rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido en agua del terreno y la velocidad y magnitud del movimiento, distinguiendo los siguientes tipos:

#### **Deslizamientos**

Son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos).

**Los deslizamientos rotacionales** (Figura 2). La rotura, superficial o profunda, tiene lugar a favor de superficies curvas o en forma de cuchara. Una vez iniciada la inestabilidad, la masa empieza a rotar, pudiendo dividirse en varios bloques que deslizan entre sí y dan lugar a «escalones» con la superficie basculada hacia la ladera y a grietas de tracción estriadas. Sus dimensiones más frecuentes varían entre varias decenas y centenares de metros, tanto en longitud como en anchura, y pueden ser superficiales o profundos (el límite puede establecerse en torno a los 10 m). La parte inferior de la masa deslizada se acumula al pie de la

ladera formando un depósito tipo lóbulo con grietas de tracción transversales. Dependiendo del tipo de suelos y del contenido en agua, se pueden generar flujos.

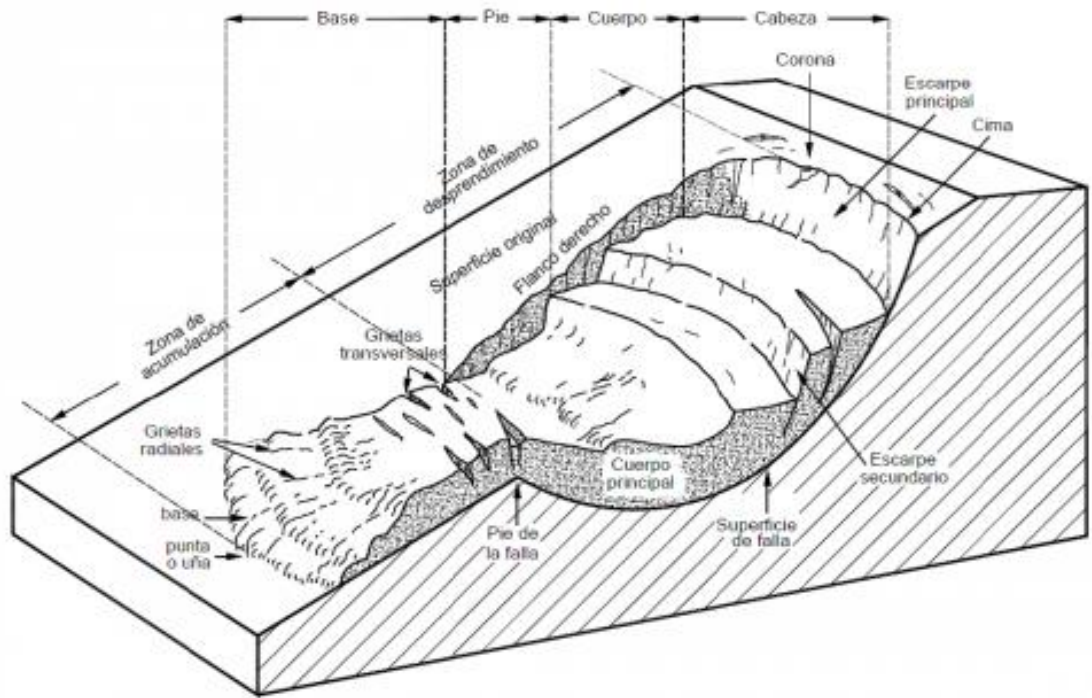


Figura 2. Esquema de un deslizamiento rotacional. Modificado de Varnes (1988)

## Flujos

Son movimientos de masas de suelo (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios o debris flow) o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, donde el material está disgregado y se comporta como un «fluido».

En algunas clasificaciones, dentro de los flujos se incluyen varios tipos de procesos con características propias, como la **reptación**, este proceso consiste en el desplazamiento del suelo superficial y sub-superficial, pendiente abajo en forma muy lenta (cm o mm/año), sin una superficie de falla definida. Se genera por los cambios entre ciclos

húmedos y secos (congelamiento y descongelamiento) de la cubierta coluvial. Se considera un movimiento de pequeña magnitud, pero puede preceder a otros procesos que involucran un mayor volumen de material.

### 2.2.3 Causas de los movimientos de ladera

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno.

Tabla 2  
*Factores condicionantes y desencadenantes en el movimiento de laderas*

	Factores	Influencias y Efectos
<b>Condicionantes</b>	Relieve (pendientes, geometría) Litología (composición, textura) Estructura geológica y estado tensional Propiedades geomecánicas de los materiales Deforestación Meteorización	Distribución del peso del terreno Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo y anisótropo. Zonas de debilidad Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones intersticiales Modificaciones en el balance hídrico. Erosión Cambios físicos y químicos, erosión interna y externa, generación de zonas de debilidad
<b>Desencadenantes</b>	Precipitaciones y aportes de agua Cambio en las condiciones hidrológicas Aplicación de cargas estáticas o dinámicas Cambios morfológicos y de geometría en las laderas Erosión o socavación del pie Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)	Variación en las presiones intersticiales y del peso del terreno. Saturación en suelos. Erosión Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado tensional Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes

Fuente: Gonzales y Vallejo (2002). Ingeniería Geológica (p. 230).

## 2.3 Fundamento del método de Tomografía Eléctrica

Los métodos geofísicos de exploración, entre los que podemos mencionar el eléctrico de resistividad, miden una serie de propiedades físicas de objetos o estructuras en el subsuelo desde la superficie del terreno que las diferencian, del medio que las rodea.

### 2.3.1 Método Geofísico de Resistividad

La Figura 3 muestra el principio fundamental de la medida de resistividad del suelo. Este consiste en inyectar una corriente continua entre el par de electrodos AB midiendo la tensión entre el par de electrodos MN. Para un medio homogéneo de resistividad, la diferencia de potencial es (Orellana, 1982):

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right) \quad (1)$$

Donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Donde:

$$k = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (3)$$

Es un factor geométrico que depende únicamente del arreglo de los electrodos.

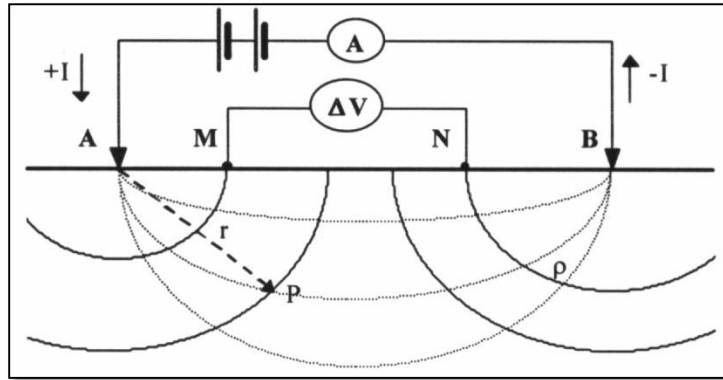


Figura 3. Dispositivo para la medida de la resistividad del suelo

### 2.3.2 Arreglos electródicos básicos

En cualquier arreglo electródico, si se conoce el factor geométrico, la corriente eléctrica inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, es posible determinar la resistividad aparente mediante la fórmula:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Donde k es el factor geométrico definido en la ecuación 3. En este trabajo se ha aplicado el arreglo o dispositivo Slumberger

### 2.3.3 Tomografía eléctrica

La Tomografía Eléctrica o ERT (Electrical Resistivity Tomography) es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de la resistividad dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno. Las profundidades de penetración de los métodos eléctricos están directamente relacionadas con

la configuración geométrica de la adquisición, número y separación de los electrodos y dependen de la resistividad del medio.

Cuando se requiere conocer la variación lateral de una formación geológica, la distribución de una pluma de contaminación, oquedades, contactos verticales, etc., se recurre a la técnica de la tomografía eléctrica; los arreglos utilizables para esto método (por escoger en función de la aplicación) son Dipolo-Dipolo, Polo Dipolo, Polo Polo, Wenner Shlumberger, etc. (Sumner, 1972)

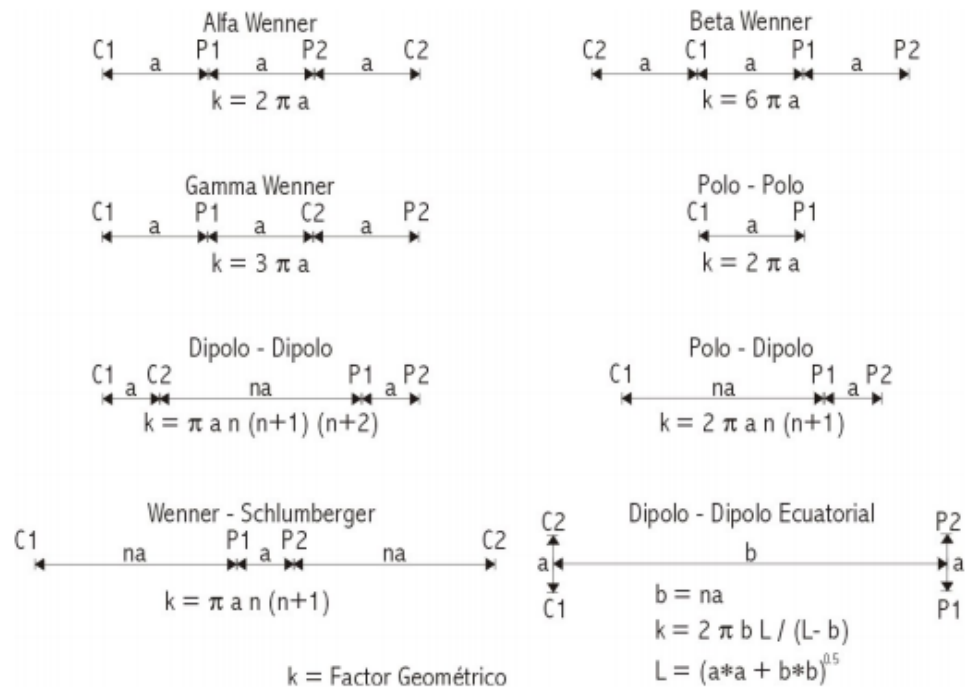


Figura 4. Diferentes dispositivos usados en Sondeos Eléctricos de Resistividad con sus correspondientes factores geométricos.

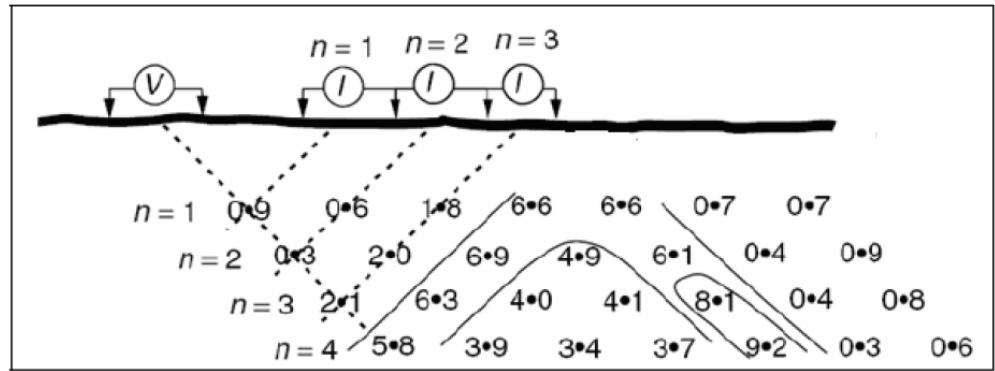


Figura 5. Esquema del montaje para la realización de una tomografía eléctrica

### ➤ Configuraciones y/o Dispositivos

Los dispositivos más empleados en Tomografía Eléctrica R2D los cuales son: a) Dipolo-Dipolo, b) Wenner-Schlumberger, c) Wenner, d) Polo-Polo y e) Polo-Dipolo.

#### Configuración Werner

El dispositivo Wenner es bueno resolviendo cambios verticales de resistividad (estructuras horizontales), pero relativamente pobre en detectar los cambios horizontales (estructuras verticales estrechas).

En la Figura 6, se muestra para la configuración Wenner, que los contornos graficados para la Sensibilidad son casi horizontales abajo del centro del conjunto, lo que nos indica que este dispositivo es sensible a cambios de resistividad vertical del subsuelo, no así para aquellos cambios de resistividad horizontales

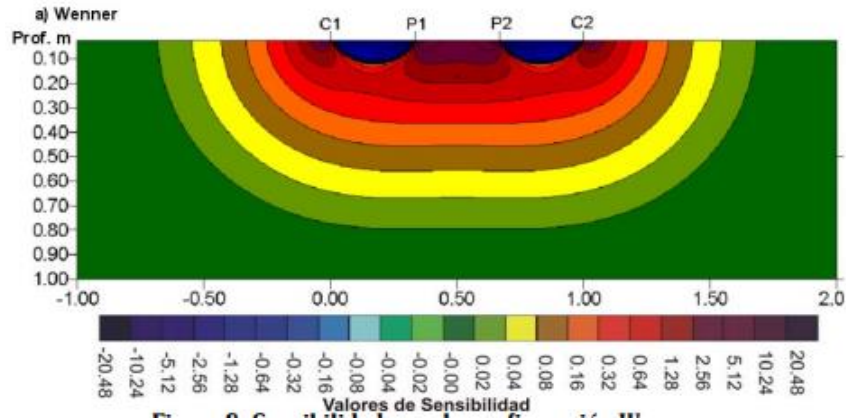


Figura 6. Sensibilidad para la configuración Wenner. Por López y Heng (2014)

### Configuración Dipolo Dipolo

El dispositivo Dipolo-Dipolo es muy sensible a cambios de resistividad horizontal, pero relativamente insensible a cambios verticales, de modo que es útil en estructuras verticales tales como muros enterrados, cavidades y plumas contaminantes, pero relativamente pobre en estructuras horizontales tales como capas sedimentarias.

En la Figura 7 se muestra que los valores más importantes de sensibilidad se ubican entre los electrodos C2-C1, así como también entre el par P1-P2. Esto significa que este conjunto es muy sensible a cambios de resistividad entre los electrodos en cada par de dipolos.

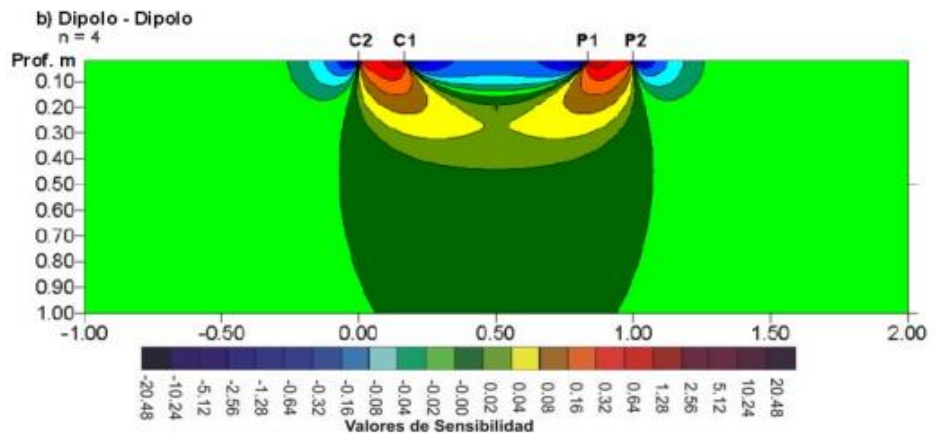


Figura 7. Sensibilidad para la configuración Dipolo – Dipolo. Por López y Heng (2014)

### Configuración Wenner – Schlumberger

La sensibilidad para el Wenner-Schlumberger (Figura 8) es ligeramente diferente al Wenner con una curvatura vertical delgada más adelante del centro del conjunto y la sensibilidad ligeramente más inferior en las regiones entre el C1 y P1 (y también C2 y P2). Hay una concentración ligeramente mayor de alta sensibilidad en la zona de los electrodos P1-P2.

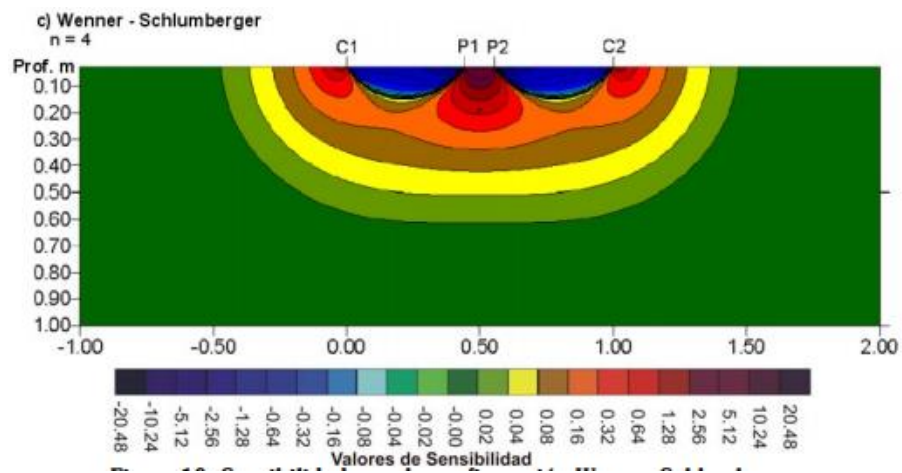


Figura 8. Sensibilidad para la configuración Wenner – Schlumberger. Por López y Heng (2014)

### Configuración Polo - Polo

Se usa principalmente en relevamientos donde el espaciamiento entre electrodos es relativamente pequeño (menos de 10 metros), en la práctica, el dispositivo Polo Polo posee un único electrodo de corriente y un electrodo de potencial (Figura 2). El segundo electrodo de corriente y el electrodo de potencial (C2 y P2) deben ponerse a una distancia mayor de 20 veces la separación máxima entre C1 y P1 que se utilizaron en el sondeo.

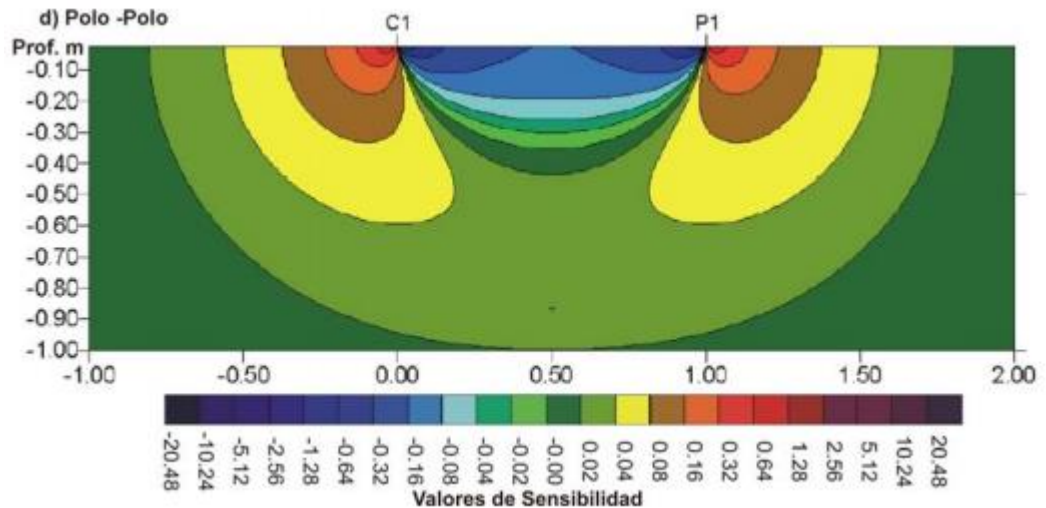


Figura 9. Sensibilidad para la configuración Wenner – Schlumberger. Por López y Heng (2014)

### Configuración Polo - Dipolo

Tiene una fortaleza de señal significativamente más alta comparada con el dispositivo Dipolo-Dipolo y no es tan sensible al ruido telúrico como la configuración Polo-Polo.

El conjunto Polo-Dipolo requiere también un electrodo remoto (el electrodo C2) que debe ponerse suficientemente lejos de la línea del sondeo. Debido a su buena cobertura 24 horizontal, este es un conjunto atractivo para medir resistividades con un sistema multielectrodo que posea un número relativamente pequeño de electrodos. La fortaleza de señal es comparativamente menor a los dispositivos Wenner y Wenner-Schlumberger, pero más alto que el dispositivo Dipolo-Dipolo.

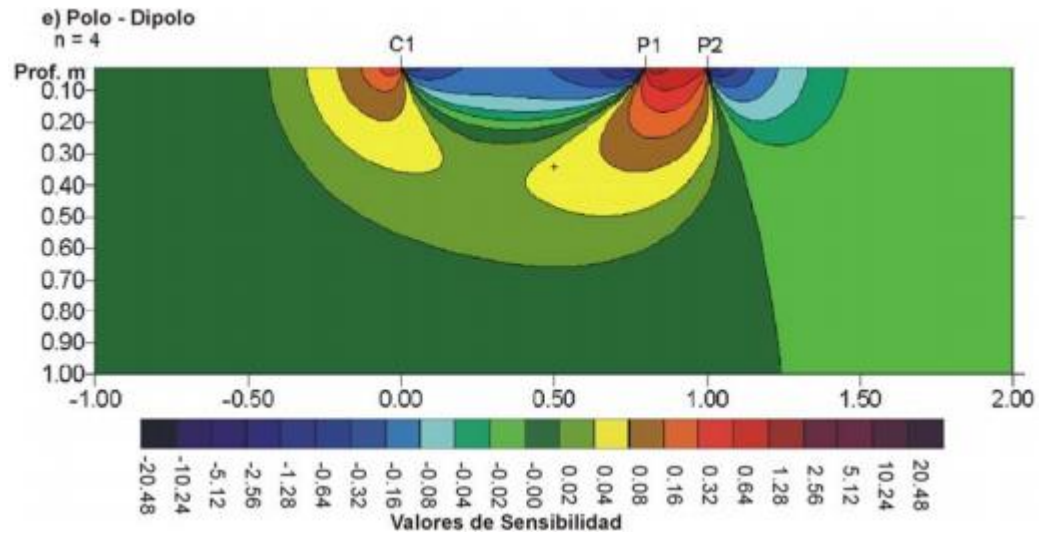


Figura 10. Sensibilidad para la configuración Wenner – Schlumberger. Por López y Heng (2014)

### ➤ Pseudo sección de resistividad aparente

Cuando se desea registrar la resistividad aparente del subsuelo, a partir de datos procedentes de un dispositivo geoelectrico, de manera que queden registradas las variaciones laterales y verticales de dicho parámetro (modelo 2-D), se suele construir gráficamente lo que se denomina una “Pseudo-sección”.

Tradicionalmente, las pseudo-secciones se construyen tal como se ilustran en el gráfico que se muestra en la figura.

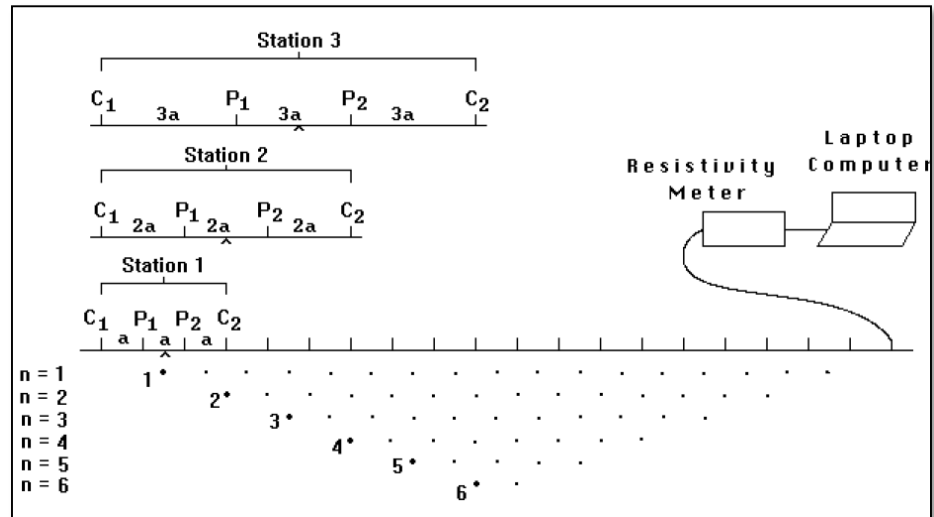


Figura 11. Esquema de adquisición de una ERT usando un arreglo Wenner.

Las pseudosecciones dan una imagen muy aproximada de la distribución de resistividades en el subsuelo. Sin embargo, la imagen que proporcionan está distorsionada.

➤ **Inversión de la pseudo sección de resistividad aparente**

El objetivo es obtener un modelo 2-D de resistividades reales a partir de la pseudosección de resistividades aparentes obtenida del terreno. Para ello se precisará un programa de inversión.

Estas técnicas de inversión se basan en realizar todo un proceso iterativo con el que obtener un modelo de resistividades reales, tal que el modelo de resistividades aparentes que generaría, sea lo más similar posible a la pseudosección de resistividades aparentes medida en el campo.

Las técnicas de inversión que existen hoy en día se pueden clasificar en dos grandes grupos (Olayinka):

## 1. Block inversion método

## 2. Smoothness-constrained inversion method

El **“Block inversion method”** ofrece buenos resultados para aquellas situaciones en las que el terreno presente grandes contrastes de resistividades, es decir que tengamos regiones en donde la resistividad sea homogénea en su interior, y a su vez muy diferenciada con respecto a las regiones adyacentes.

Esto lo convierte en un método ideal para la delimitar con bastante precisión la geometría de cuerpos con resistividades muy diferenciadas entre sí (ejemplo: situar una tubería en un terreno bastante homogéneo).

El principal inconveniente reside en la necesidad de introducir un modelo previo, a partir del cual el ordenador procederá a iterar hasta ajustar el modelo calculado al de campo.

No obstante, y dado que, en problemas de filtración de agua en el subsuelo, las variaciones de resistividad del terreno serán graduales (en especial en los suelos), esta técnica no es eficiente.

El **“Smoothness-constrained inversion method”** (deGroot-Hedin), es en realidad el método de inversión óptimo para el análisis de problemas en donde tengamos variaciones graduales de resistividad en el terreno, como por ejemplo en filtraciones de agua o vertidos de contaminantes. Además, este método (basado en el “Gauss-Newton least-squares method”), presenta la gran ventaja de que no requiere de un modelo inicial, a partir del cual empezará el proceso iterativo.

El software de inversión utilizado fue el RES2DINV v.3.40, programa de la casa Geotomo Software.

## **2.4 Estabilidad de taludes por métodos de equilibrio límite**

Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, y arroja como resultado un factor de seguridad al comparar las fuerzas o momentos resistentes en la masa del suelo con respecto a las fuerzas o momentos actuantes.

En un análisis de esfuerzo-deformación se debe de tener en consideración:

1. Debe mantenerse el equilibrio de esfuerzos en cada punto, lo cual se logra empleando la teoría elástica para describir la relación entre los esfuerzos y las deformaciones. Para predecir el nivel de esfuerzos y deformaciones en la masa de suelo se requiere conocer las propiedades elásticas de los materiales.
2. Las condiciones de esfuerzos de frontera deben satisfacerse.

Braja (2001) en su libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica describe el fundamento teórico de los métodos de equilibrio límite para el análisis de estabilidad de taludes que se desarrollaran en el presente estudio.

### **2.4.1 Método de Fellenius**

Consiste en dividir la masa de suelo potencialmente deslizante, en rebanadas verticales.

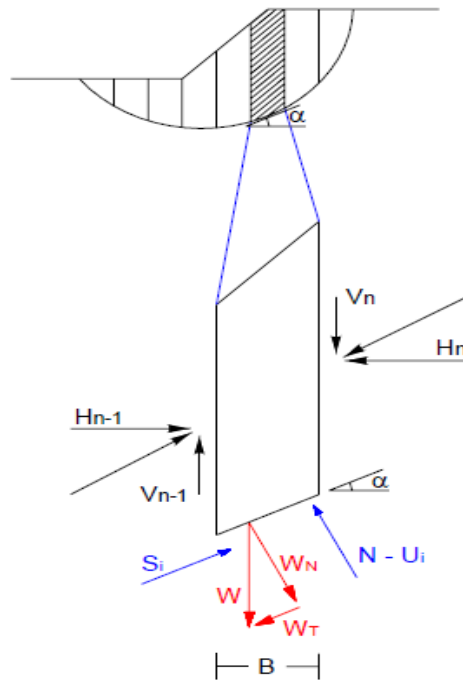


Figura 12. Formulación del método de Fellenius. Fellenius (1936)

Una vez hecho esto, se calcula el equilibrio de cada una de las dovelas, para finalmente analizar el equilibrio global, obteniéndose así un Factor de Seguridad (FS), al que se le puede definir como la relación entre fuerzas o momentos resistentes y fuerzas o momentos actuantes según sea el método, sobre la masa a deslizarse.

Observándose la Figura 5, se puede apreciar que el peso de la rebanada ( $W$ ) se descompone en una componente tangencial ( $W_T$ ) y otra componente normal ( $W_N$ ), paralela y perpendicularmente a la base de la rebanada, respectivamente.

La componente tangencial  $W_T$  origina una fuerza cortante, inducida a lo largo de la base de la rebanada, a la que se le opone la propia resistencia al corte ( $S_i$ ) del terreno. Mientras que la componente normal  $W_N$ , actúa perpendicularmente al plano de la base de la rebanada, a la cual

disminuida en la fuerza producida por la presión de poros ( $U_i$ ), se opone a la reacción normal del suelo que se encuentra en la base de la rebanada ( $N$ ).

Las fuerzas  $V$  y  $H$ , con sus respectivos subíndices, definen la interacción entre las rebanadas, y es la evaluación de estas reacciones internas lo que establece la diferencia fundamental entre los métodos; en el caso de Fellenius no se considera estas fuerzas en el cálculo del Factor de Seguridad. Por lo tanto:

$$FS = \frac{\sum(c \times B + (W \times \cos\alpha - u \times B) \times \tan\phi)}{\sum W \times \operatorname{sen}\alpha}$$

Dónde:

$$W_N = W \times \cos\alpha$$

$$W_T = W \times \operatorname{sen}\alpha$$

$$U_i = u \times B$$

$W$	: Peso de la dovela
$W_N$	: Componente Normal del peso de la dovela
$W_T$	: Componente Tangencial del peso de la dovela
$N$	: Reacción Normal del suelo sobre la dovela
$u$	: Presión de poros
$U_i$	: Fuerza producida por la presión de poros
$B$	: Base de la dovela
$c$	: Cohesión del suelo
$\phi$	: Angulo de fricción del suelo
$\alpha$	: Angulo de la superficie de falla en la dovela
$S_i$	: Resistencia al corte del terreno = $c \cdot B + (W \cdot \cos\alpha - \mu \cdot B) \cdot \tan\phi$
$H_{n,n-1}$	: Fuerzas horizontales de interacción entre dovelas
$V_{n,n-1}$	: Fuerzas verticales de interacción entre dovelas

FS

Factor de seguridad

Si las circunstancias así lo requieren puede ser necesario considerar la incidencia de sobrecargas, fijas o temporales, las fuerzas de filtración a través de la masa de suelo, así como las acciones sísmicas.

#### **2.4.2 Método de Bishop Simplificado**

Debido a que el método de las rebanadas o dovelas no es muy preciso para suelos friccionantes, Bishop (1955) propuso otro método, originalmente desarrollado para superficies de fallas circulares, el cual considera la condición de equilibrio entre las fuerzas de interacción verticales actuantes entre las rebanadas o dovelas.

Ya que en los suelos friccionantes ( $\phi > 0$ ), la resistencia cortante depende de los esfuerzos confinantes, al considerar la condición de equilibrio de fuerzas verticales (solamente se considera empuje horizontal), la determinación de las fuerzas normales se hace más precisa. La Figura 13 ilustra la formulación de éste método.

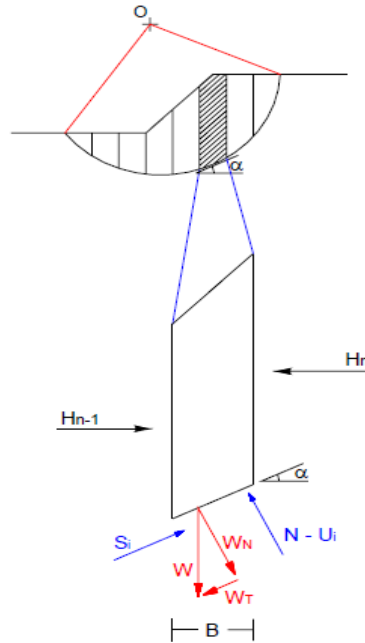


Figura 13. Formulación del método de Bishop simplificado. Bishop (1954)

El cálculo de la metodología original se basa en buscar el equilibrio de momentos respecto al centro del arco circular que coincide con la superficie de falla; en la posterior versión modificada, se puede aplicar a superficies no curvas, teniendo que definir centros ficticios. Este es un método iterativo en el cual se parte de un Factor de Seguridad calculado de una superficie falla dada.

$$FS = \frac{\sum (c \times B + (W - u \times B) \times \tan \phi / ma)}{\sum W \times \text{sena}}$$

Dónde:

$$ma = \cos \alpha \times \left( 1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi}{FS} \right)$$

- W : Peso de la dovela
- $W_N$  : Componente Normal del peso de la dovela
- $W_T$  : Componente Tangencial del peso de la dovela
- N : Reacción Normal en la base de la dovela

$H_{n,n+1}$	: Fuerzas horizontales aplicadas sobre la dovela
$u$	: Presión de poros
$U_i$	: Fuerza ejercida por la presión de poros
$B$	: Base de la dovela
$c$	: Cohesión del suelo
$\phi$	: Angulo de fricción del suelo
$\alpha$	: Angulo de la superficie de falla en la dovela
FS	: Factor de seguridad

### 2.4.3 Método de Janbu

Diseñado para superficies no necesariamente circulares, también supone que la interacción entre rebanadas es nula, pero a diferencia de Bishop, este método busca el equilibrio de fuerzas y no de momentos. Experiencias posteriores hicieron ver que la interacción nula en el caso de equilibrio de fuerzas era demasiado restrictiva, lo que obligó a introducir un factor de corrección empírico aplicable al FS.

En la versión posterior modificada, se define una línea de empuje entre las rebanadas, y se buscan los equilibrios en fuerzas y momentos respecto al centro de la base de cada una, como se muestra en la Figura 14.

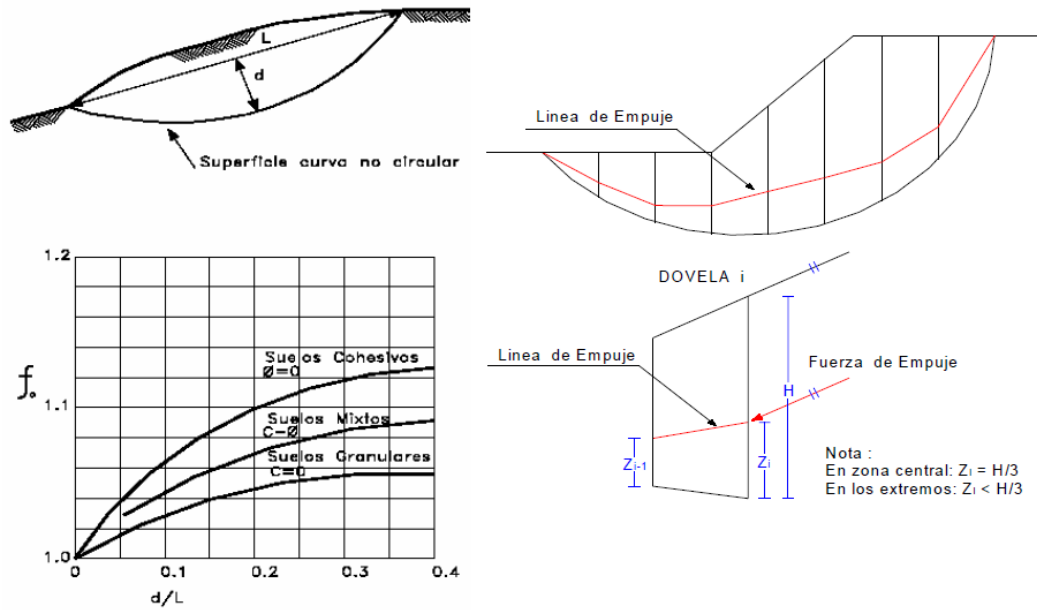


Figura 14. Formulación del método de Janbu. Janbu (1956)

$$FS = \frac{f_0 \times \sum (c \times B + (W - u \times B) \times \tan \phi) / \cos \alpha \times ma}{\sum W \times \tan \alpha}$$

Dónde:

$$ma = \cos \alpha \times \left( 1 + \frac{\tan \alpha \times \tan \phi}{FS} \right)$$

W	: Peso de la dovela
u	: Presión de poros
B	: Base de la dovela
c	: Cohesión del suelo
$\phi$	: Angulo de fricción del suelo
$\alpha$	: Angulo de la superficie de falla en la dovela
$f_0$	: Factor de corrección
FS	: Factor de seguridad

#### 2.4.4 Factor de Seguridad

La Tabla 2 ilustra los grados de estabilidad aceptables de los taludes según el tipo de análisis. Estos factores de seguridad pueden variar

de acuerdo con la normatividad existente para distintos tipos de talud y para la importancia que su falla tenga sobre los bienes y las personas.

Tabla 3  
Grado de estabilidad de taludes

Factor de Seguridad		Nivel o Grado de Estabilidad
Estático	Pseudoestático	
1.0 a 1.2	Menor a 1.0	<i>Inestable</i>
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	<i>Estable</i>
Mayor a 2.0	Mayor a 1.2	<i>Muy estable</i>

Fuente: Alva, J.; “Análisis de Estabilidad de Taludes”; Curso de Actualización Profesional, UNI-FIC, pág. 175–196; Lima; 2000.

## 2.5 Capacidad portante en cimentaciones poco profundas

La capacidad portante de cimientos superficiales sobre un suelo ha sido estudiada por varios autores (Prandtl, 1923; Terzaghi, 1943; Brinch-Hansen, 1950; Meyerhoff, 1953; Vesic, 1975) suponiendo siempre el terreno de apoyo del cimiento horizontal y de extensión lateral infinita. (Figura 15)

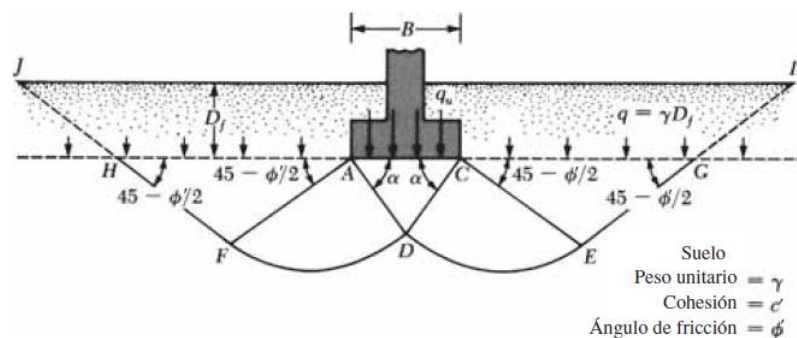


Figura 15. Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación. Terzaghi (1943)

Utilizando el análisis de equilibrio, la capacidad de carga última está dada:

$$q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \text{-----} (1)$$

Dónde:

- $c'$  = Cohesión del suelo
- $\gamma$  = Peso unitario del suelo
- $q$  =  $\gamma D_f$
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = Factores de capacidad de carga adimensionales y sólo son funciones del ángulo de fricción del suelo,  $\phi'$

Las relaciones para  $N_q$  y  $N_c$  usadas por la mayoría de autores son:

$$N_q = (Kp \exp(\pi \tan \phi')) \text{-----} (2)$$

$$Kp = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) = \frac{(1 + \text{sen } \phi')}{(1 - \text{sen } \phi')}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi' \text{-----} (3)$$

La teoría de Plasticidad no incluye el peso propio de la masa de suelo que falla y al involucrarlo con el factor  $N_\gamma$ , se tienen valores semiempíricos y/o experimentales habiendo gran variedad de soluciones, a continuación se presentan algunos valores desarrollados por diferentes autores sobre este factor:

AUTOR	EXPRESION	RUGOSIDAD	OBSERVACIONES
Terzaghi (1943)	$1/2 \tan \phi' (Kp \sec^2 \phi' - 1)$	Rugoso	Kp g especial
Taylor (1948)	$(N_q - 1) \tan (\pi/4 + \phi'/2)$	Rugoso	Nq Prandtl
Meyerhof (1953)	$(N_{qm} - 1) \tan (1.4 \phi')$	Rugoso	Nqm Meyerhof
Jiménez-Salas (1954)	$(N_q - 1) \tan (\pi/4 + \phi'/2)$	Rugoso	Nq Prandtl
Feda (1960)	$0.01 \exp (\phi'/4)$		Empírica
Brinch-Hansen (1961)	$1.8 (N_q - 1) \tan \phi'$	Liso	Aprox. Numérica
Caquot-Kérisel (1966)	$1/2 \cot (\pi/4 - \phi'/2) \times [Kp \csc(\pi/4 - \phi'/2) - 1]$	Liso	Kp Boussinesq
De Mello (1969)	$2.06 (N_q - 1) \tan \phi'$	Liso	Aprox. Estadística
Vésic (1975)	$2 (N_q + 1) \tan \phi'$	Liso	Aprox. Numérica
González (1987)	$2 (N_q - 1) \tan \phi'$	Liso	Analogía con qcrit

Figura 16. Valores de  $N_\gamma$  para diferentes autores

Fuente: Gonzales A., III Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras (2003).

En el presente estudio usaremos la adoptada por Gonzales (1987)

$$N_{\gamma} = 2 (N_q - 1) \tan \phi' \text{ ----- (4)}$$

Teniendo estos factores, la capacidad de carga ultima de un cimiento está dada por:

$$q_{ult} = c'(N_q - 1) \cot \phi' + q N_q + \gamma B(N_q - 1) \tan \phi' \text{ ----- (5)}$$

Se debe de tener en cuenta de que todas estas expresiones son válidas para:

- a. Cimiento corrido (Condición de deformación plana  $L \rightarrow \infty$ )
- b. Carga centrada en B
- c. Carga Vertical
- d. Base de cimiento horizontal
- e. Terreno horizontal ilimitado
- f. Sobrecarga vertical externa ( $q = \gamma D_f$ )
- g. Suelo incompresible
- h. Suelo seco ( $\gamma$ ) o saturado ( $\gamma'$ )
- i. Suelo homogéneo
- j. Resistencia lineal de Mohr-Coulomb
- k. Esfuerzos efectivos

Cuando no se cumple alguna de las condiciones de la (a) a la (i) se usan factores adicionales de corrección o ajuste (por ejemplo: Vesic, 1975; Gonzales, 2013).

Debido a la morfología y condiciones geológicas observadas en nuestra zona de estudio, se debe de tener en cuenta para los cálculos correcciones para el ítem (e) terreno horizontal ilimitado y para el ítem (h) suelo seco o saturado.

### 2.5.1 Corrección de Factores de capacidad de carga para cimientos superficiales en laderas

Para los factores de corrección se ha tomado el modelo de análisis de cuña infinita de Kezdi (1975), de donde se deducen los parámetros para los factores de carga siguientes:

$$NqL = Kp \exp[(\pi - 2\beta) \tan \phi'] \text{----- (6)}$$

$$NcL = (NqL - 1) \cot \phi' \text{----- (7)}$$

$$N\gamma L = 2 (NqL - 1) \tan \phi' \text{----- (8)}$$

Entonces la capacidad portante para un cimiento superficial en ladera queda como:

$$q_{ultL} = c'(NqL - 1) \cot \phi' + qL NqL + \gamma B(NqL - 1) \tan \phi' - \text{--- (9)}$$

Como anexos se muestran cuatro gráficos con valores de  $NqL$ ,  $NcL$  y  $N\gamma L$  para valores de ángulo de fricción  $0 < \phi' < 50^\circ$  y del ángulo del talud  $0 < \beta < 90^\circ$ .

Además, en todos los casos de cimientos de ladera, el efecto del talud cesa teóricamente para distancias  $Xb$  del borde del cimiento a la cresta del talud

$$Xb = B Nq^{0.5}$$

El efecto es prácticamente insignificante para  $Xb > 4B$

## 2.5.2 Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga para el nivel freático

Las ecuaciones anteriormente planteadas se han desarrollado para determinar la capacidad última de carga y se basan en el supuesto de que el nivel freático se encuentra muy por debajo de la cimentación. Sin embargo, si la capa freática está cerca de ella, son necesarias algunas modificaciones de la ecuación de capacidad de carga, dependiendo de la ubicación del nivel freático. (Figura 17)

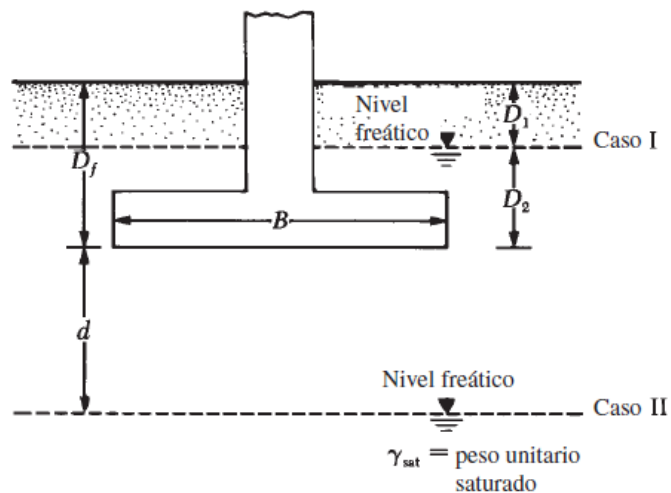


Figura 17. Modificación de las ecuaciones de capacidad de carga para el nivel freático. Vesic (1973)

**Caso I:** Si el nivel freático se encuentra de manera que  $0 \leq D_1 \leq D_f$ , el factor  $q$  en las ecuaciones de capacidad de carga toma la forma

$$q = \text{sobrecarga efectiva} = D_1 \gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

Dónde:

$\gamma_{sat}$  = Peso unitario del suelo saturado

$\gamma_w$  = Peso unitario del agua

Además, el valor de  $\gamma'$  en el último término de las ecuaciones tiene que ser sustituido por:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

**Caso II:** Para un nivel freático localizado tal que  $0 \leq d \leq B$ ,

$$q = \gamma \times D_f$$

El factor  $\gamma$  en el último término de las ecuaciones de capacidad de carga debe sustituirse por el factor:

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

**Caso III:** Cuando el nivel freático está localizado en  $d \geq B$ , el agua no tiene efecto sobre la capacidad última de carga.

### 2.5.3 Factor de Seguridad

El cálculo de la capacidad de carga permisible bruta de cimentaciones poco profundas requiere la aplicación de un factor de seguridad (FS) a la capacidad última de carga bruta,

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

La capacidad de carga última neta se define como la presión última por área unitaria de la cimentación que puede soportar el suelo en exceso de la presión causada por el suelo circundante al nivel de la cimentación.

$$q_{NETA(u)} = \frac{q_u - q}{FS}$$

El factor de seguridad debe ser al menos de 3 en todos los casos.

## 2.6 Definición conceptual de términos

**Suelo:** Material no consolidado formado por partículas sólidas discretas con líquidos y gases que ocupan los espacios entre ellas.

**Deslizamiento:** Movimientos de masa de suelo o roca, detritos o tierra que se deslizan pendiente abajo, bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede al esfuerzo de resistencia del material.

**Talud:** Es cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal adoptando esa posición de forma temporal o permanente y con estructura de suelo o roca.

**Estabilidad:** Se refiere a la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento.

**Cimentación:** Constituye el elemento intermedio que permite transmitir las cargas que soporta una estructura al suelo subyacente, de modo que no rebase la capacidad portante del suelo, y que las deformaciones producidas en este sean admisibles para la estructura.

**Capacidad Portante:** Capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

**Factor de Seguridad:** Es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor requerido esperado real a que se verá sometido. El factor de seguridad debe ser mayor que 1.0 para evitar falla.

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Nivel de la Investigación

De acuerdo al problema planteado y tomando en cuenta la clasificación de los niveles de investigación (Hurtado de Barrera, 2010), el nivel del trabajo se define como una investigación descriptiva y explicativa, ya que consiste en la caracterización de un hecho o fenómeno, con el fin de establecer su estructura o comportamiento, buscando el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

#### 3.2 Desarrollo de la Investigación

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se dispuso de las siguientes fases: recopilación de información, reconocimiento del área de estudio, levantamiento topográfico del área de estudio, levantamiento geológico, levantamiento geotécnico, procesamiento de la información, análisis de resultados, organización y preparación del informe final del proyecto.

A continuación, se describen las fases planteadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación:

- **Recopilación de Información**

Se recopiló toda información existente de estudios anteriores realizados principalmente por el Proyecto Especial Tacna en las diferentes etapas por las que ha atravesado el proyecto, como son: etapa de perfil, etapa de factibilidad y etapa de expediente técnico.

- **Reconocimiento del área de estudio**

Se realizó una visita a la zona de estudio con la finalidad de estimar la logística y recursos necesarios que se han de requerir para las investigaciones de campo, así como la accesibilidad a la zona de estudio.

- **Levantamiento Topográfico**

Se realizó el levantamiento topográfico a partir de Bench Marks (BM) ubicados estratégicamente, a fin de obtener el mayor detalle posible.

- **Levantamiento Geológico**

Se realizaron el mapeo geológico, geomorfológico y geodinámico y estructural de la zona del deslizamiento y alrededores con planos topográficos a escala local y regional.

- **Levantamiento Geotécnico**

Se realizaron 8 líneas de prospección geofísica a través del método de Tomografía Eléctrica en sectores estratégicos de los deslizamientos y obtener perfiles geoelectrónicos en dichos sectores para definir el perfil geológico y presencia de nivel freático para luego evaluar geotécnicamente las zonas de deslizamiento, también se realizaron excavaciones de calicatas y se obtuvieron parámetros de los suelo como: densidad de campo, humedad, ángulo de fricción, límite líquido y límite plástico y clasificación SUCS.

- **Procesamiento de la Información**

Se establecieron 3 sectores críticos, se realizaron 3 perfiles geológicos representativos a partir del mapeo de campo, tomografía eléctrica y excavación de calicatas.

Se asignó los parámetros físicos obtenidos del estudio de mecánica de suelos a cada uno de los estratos identificados en los perfiles.

Se realizaron los cálculos y análisis de la estabilidad de taludes y la capacidad portante del suelo de fundación, según se detalla a continuación:

### Estabilidad de Taludes

Para detallar los parámetros geotécnicos de los estratos identificados en los perfiles, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 4  
*Parámetros geotécnicos del Sector ..., progresivas km .... al km ..., con/sin proyecto*

MATERIAL	PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m3)	PESO UNITARIO SECO (kN/m3)	COHESIÓN (kPa)	Angulo de Fricción (°)	F.S. Condicion Pseudo estática
Estrato 1					
Estrato 2					
Estrato 3					

*Fuente:* Elaboración propia

Para el análisis de la estabilidad de los taludes en un escenario con proyecto, se asumieron taludes conservadores de bajo ángulo para el corte del canal, se trabajó con la siguiente tabla:

Tabla 5  
*Talud de corte del canal, Sector ...*

MATERIAL	Talud de Corte	Grados
Estrato 1		
Estrato 2		

*Fuente:* Elaboración propia

Para los resultados obtenidos luego del análisis de la estabilidad de los taludes a través del software SLIDE 6.0 en condiciones estáticas y pseudoestáticas por los diferentes métodos analizados, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 6  
Factores de seguridad en el Perfil ....., Sector ....., con proyecto

Método	Perfil ..., Prog... - Prog. ...			
	F.S. Condición Estática		F.S. Condición Pseudoestática	
	Margen derecha	Margen Izquierda	Margen Derecha	Margen Izquierda
Fellenius				
Bishop				
Simplificado				
Janbu				
Simplificado				

Fuente: Elaboración propia

### Capacidad Portante

Se tiene la sección típica de la línea de conducción Vilachauhani la cual atravesará por nuestra zona de estudio.

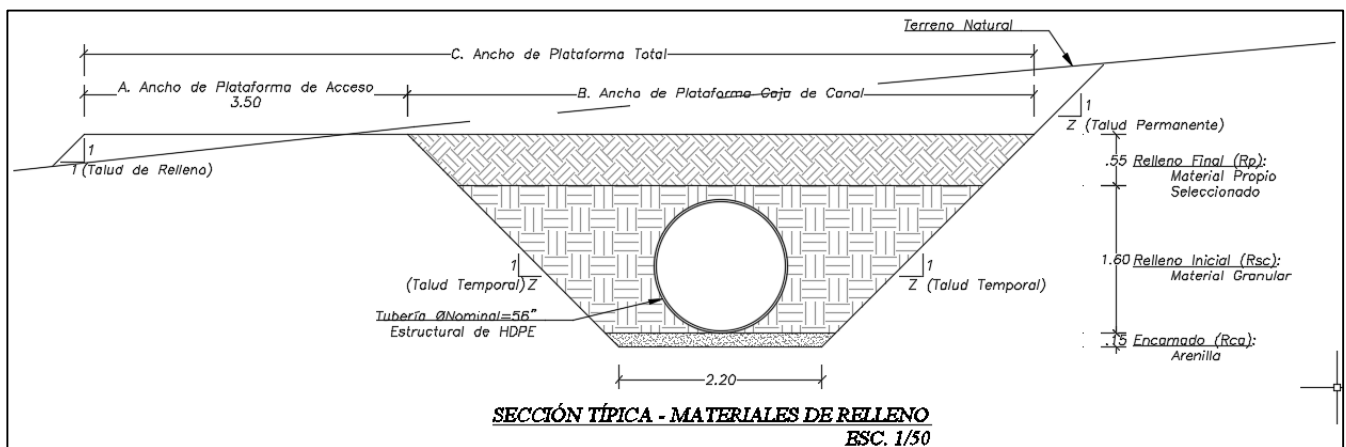


Figura 18. Sección típica del canal de conducción Vilachauhani. De Proyecto Especial Tacna.

Se realizó el análisis de capacidad de carga ultima por el método de Terzaghi, así como las correcciones de los factores de capacidad de carga para cimientos superficiales en laderas y la corrección por nivel freático, para la carga admisible se utilizó un factor de seguridad de 3. Los parámetros a partir de los que se calculó la capacidad portante son:

- Profundidad de desplante  $D_f = 2,30$  m para todos los casos
- Base de la cimentación  $B = 2.20$  m para todos los casos
- Angulo de fricción ( $^{\circ}$ )
- Cohesión
- Peso específico del suelo ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- Pendiente de Ladera ( $^{\circ}$ )
- Altura de talud
- Nivel Freático
- Factor de seguridad = 3 para todos los casos

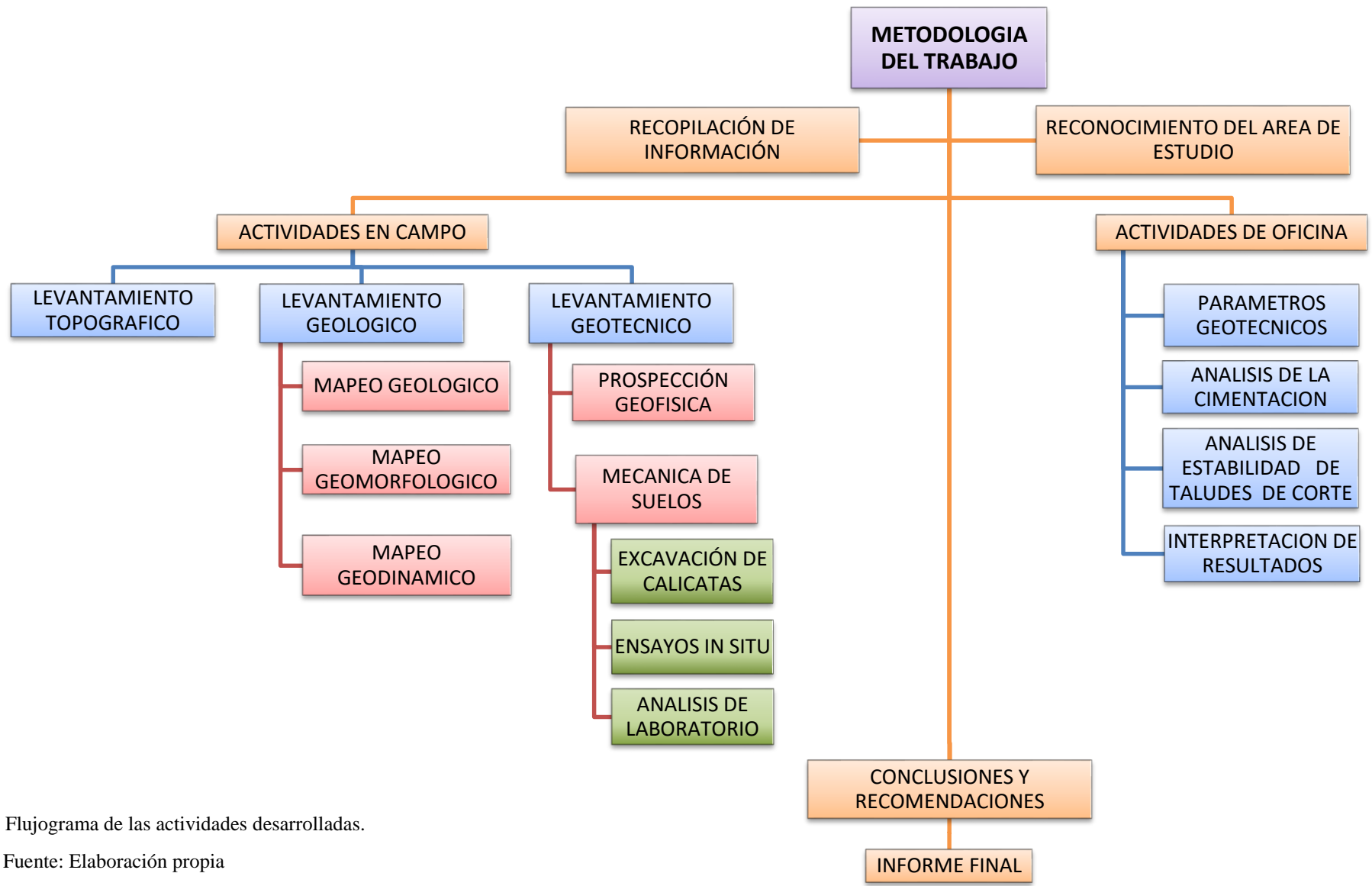
- **Análisis de los datos obtenidos**

Se tomaron las condiciones más críticas para realizar el análisis en cada sector evaluado.

- **Conclusiones y recomendaciones**

De acuerdo a los resultados y análisis realizados se propusieron las pautas tentativas para garantizar el adecuado funcionamiento del proyecto.

A continuación, se muestra un esquema de la metodología:



Flujograma de las actividades desarrolladas.

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO IV

### DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### 4.1 Levantamiento Topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico con personal del Proyecto Especial Tacna, usando para ello equipos debidamente calibrados, a continuación, se hace mención de ello:

- GPS diferencia Trimble R5 y R7
- Estación Total Trimble 3605
- Accesorios (Prismas, Miras, Radios, etc.)



*Foto 2.* GPS diferencial. Equipo R5 utilizado para el levantamiento topográfico. Por Proyecto Especial Tacna

A partir del levantamiento topográfico se obtuvieron los puntos necesarios para realizar la triangulación en el software CIVIL CAD 2017, y obtener curvas de

nivel a 1m, posteriormente se elaboraron planos a escala local para realizar el levantamiento geológico y elaborar los perfiles y secciones del terreno.

## **4.2 Marco Geomorfológico y Geológico Regional**

### **4.2.1 Geomorfología Regional**

El área de influencia del proyecto se encuentra ubicada en la unidad geomorfológica de la Cordillera, Zona de Conos Volcánicos y el Altiplano.

La Cordillera forma inmensos conos volcánicos alineados en dirección NO y SE con alturas promedio de 6000 m.s.n.m.

- **Cordillera Occidental**

Esta cadena montañosa de origen tectónico está conformada por estratovolcanes que tienen su base entre los 3500 a 4000 m de altitud y se elevan sobre los 4700 a 6000 metros sobre el nivel del mar. La franja volcánica está conformada por lavas andesíticas, traquíticas y dacíticas, como es el caso de los cerros Isccampu, Pizarane, Purupurune y Antajave. Las pendientes de estos cerros en las cumbres superan los 30° y en la parte media y baja 10 a 15°. Las aguas de precipitación que caen sobre las cumbres circulan rápidamente por escorrentía superficial produciéndose pocas pérdidas por infiltración; en la parte media y baja el agua se infiltra con mayor rapidez a través de las fracturas de la roca producto de la actividad tectónica del pasado.

La zona de estudio se encuentra en esta unidad geomorfológica, en la parte baja del cerro Jucure.

- **El Altiplano**

La Unidad Geomorfológica del Altiplano, está constituida por las geoformas:

**A. Planicies**

Zonas de relieve suave, ondulado de regular extensión, con espacios interfluviales moderadamente convexos, son de regular extensión, estas superficies son conocidas como “Pampas” y se encuentran delimitadas por formas topográficas positivas como los conos volcánicos y pequeños domos pertenecientes al Grupo Purupurune, las pampas se encuentran entre los 4 200 a 4 400 m.s.n.m. y presentan una suave inclinación NW al SE, tales como: Pampas de Purupurune, Morocollo, Samuta, Chancamocco, LLaitire, Titire, Chijticape, Mocco Mocco, Murmuntani, etc.

**B. Lomadas**

Esta geoforma está representada por una sucesión de pequeñas colinas bajas y alargadas, cuyas partes superiores son en unos casos aplanados y en otras ligeramente convexas o hasta levemente onduladas, superficialmente estas lomadas están constituidas por depósitos fluvioglaciares de compactación moderada, en el área de estas lomadas existen numerosos valles y quebradas de distribución radial, cuyos perfiles transversales son simétricos y algunos de ellos tienen fondo plano con abundancia de depósitos bofedales. En nuestra zona de estudio, estas

geoformas se emplazan en los alrededores de los sectores de Titicahuani, Azancallani y en mayor extensión al SE del cerro Jucure, Chiluyo, Chico y Chiluyo Grande.

### **C. Zona de Conos Volcánicos**

Los Conos Volcánicos, interrumpen, bordean las planicies y a veces levantándose aisladamente, en ellas se encuentran una serie de conos volcánicos que alcanzan 5400 m.s.n.m y 600 a 800 m sobre las planicies, todos los conos volcánicos se hallan disectados por numerosas quebradas, que generalmente es de forma radial bien definido. Generalmente estos conos están cubiertos por depósitos de morrenas y fluvioglaciares, quedando los afloramientos de roca in situ solo en las partes más altas, donde se aprecia escarpas bien pronunciadas y alto grado de fracturamiento, el aparato volcánico en muchos casos se encuentra destruido por la última glaciación del Pleistoceno.

La distribución de los conos se dispone siguiendo una determinada dirección, en algunos casos guardan entre si un marcado paralelismo, así tenemos la cadena integrada por los cerros Jucure, Chila, Soravico y Tres Puntas y de forma aislada el cerro Titire. En el pie de monte del cerro Jucure, se emplazará parte de la línea de conducción y el túnel proyectado denominado Azancallani.

#### **4.2.2 Geología regional**

La secuencia estratigráfica del área de estudio consiste de rocas volcano sedimentarias con edades del Neógeno al Cuaternario reciente. Las rocas más antiguas del proyecto están representadas por la Formación

Maure, secuencia volcano-sedimentaria, de distribución superficial que aflora al Sureste del sector de Titijahuani, se expone parte de la secuencia sedimentaria en los flancos del río Maure; le sobreyace en discordancia angular las tobas de la formación Sencca descrito por Mendivil en 1965; en nuestra zona de estudio gran parte de esta formación ha sufrido una intensa erosión durante la última glaciación, desapareciendo casi por completo.

Los sedimentos de la formación Capillune, sobreyacen en discordancia erosional a la formación Sencca, de afloramientos irregulares y remanentes de erosión diferencial, los cuales están cubiertos por depósitos cuaternarios, que están ampliamente distribuidos en la zona del proyecto, los más antiguos son producto de la última glaciación y consta de depósitos morrénicos y fluvio-glaciares, emplazados en los flancos de los conos volcánicos del Grupo Barroso de edad Pleistoceno. Los depósitos más recientes corresponden a acumulaciones eluviales y deluviales y se distribuyen ampliamente en las pampas y fluvioaluviales en las quebradas y ríos. A continuación, se describe la estratigrafía regional en orden geocronológico desde el más antiguo al más reciente.

- **Formación Maure (Nm –ma)**

Ahlfeld y Branisa 1960 agruparon con el nombre de Formación Maure una unidad sedimentaria inferior y un manto ignimbrítico superior separadas por una discordancia angular. En los cuadrángulos de Maure y Antajave, Mendivil (1965) considera los dos miembros separadamente, denominando formación Maure a la serie de sedimentos lacustres y

piroclásticos inferiores y volcánicos Sencca al manto superior de Toba. Su descripción como grupo considera volcánicos Interestratificados (mayormente tobas aéreas e ignimbritas) y sedimentos lacustres donde predomina tobas re TRABAJADAS, limolitas, fangolitas, areniscas con algunos conglomerados, lutitas negras y calizas. En nuestra zona de estudio se observan en el sector de Titijahuani muy por debajo de los deslizamientos presentes, cubierta principalmente por material fluvioglacial

- **Grupo Barroso**

- A. Volcánico Barroso (NQpl – vba)**

Volcánicos de naturaleza andesítica y traquítica reposan en discordancia angular sobre las superficies de erosión Sencca y Capillune, tienen una amplia distribución en el área de estudio se los encuentra constituyendo los cerros, conos volcánicos y coladas de lavas de varias facies de emplazamiento. En la zona de estudio están conformado por la cadena de cerros aislada, ubicada en medio del Altiplano constituidos por los cerros denominados Sorojo, Tres Puntas, Chocata, Capaca, Chila y Jucure, estos dos últimos sufrieron los efectos de la glaciación del Pleistoceno y están sesgados de circos y litológicamente se componen de una alternancia de bancos y derrames traquiandesíticos color gris de textura porfido-afanítica. En su conjunto el Grupo Barroso, superficialmente está cubierto por depósitos morrénicos y fluvioglaciares poco consolidados.

## **B. Depósitos Piroclásticos (NQpl – tb)**

Forma parte de la actividad volcánica del Grupo Barroso, estos depósitos corresponden a los eventos explosivos donde el magma enfriado se fragmenta y se expulsa y reparte en forma de material suelto, este material expulsado, fragmentado y distribuido por el viento, no compactado se denomina tefra, independientemente de la composición o del tamaño de los granos, los diferentes fragmentos, sueltos o compactados, son llamados piroclastos.

En nuestra zona de estudio tenemos afloramientos de estas tobas redepositadas al Sureste en el sector de Azancallani, el túnel del mismo nombre y parte del canal de conducción estará emplazado en estos depósitos piroclásticos.

- **Depósitos Morrénicos (Qpl – mo)**

Los depósitos morrénicos en el área de estudio se encuentran distribuidas en varios sectores cubriendo rocas más antiguas y en los flancos de los conos volcánicos en sus sectores altos e intermedios extendiéndose en algunos casos hacia la pampa, estos depósitos están formados por material mayormente volcánico sin estratificación constituido de una mezcla de bloques y fragmentos angulosos con facies estriadas, en una matriz de grano de arena limosa, el grosor de las acumulaciones morrénicas es muy variable estimados en promedio 20 a 40 metros.

Estos depósitos se encuentran afectados por los agentes de remoción, muchos de los cuales conserva actualmente su morfología, en

otros casos han sido parcialmente destruidos. Debido a este proceso de remoción quedan remanentes aislados, y su distribución se restringe a los flancos de los grandes cerros.

Depósito de morrenas se observan en los flancos de los cerros Tomaromani, Chocata, Chila, Jucure, etc.

- **Depósitos Fluvioglaciares (Qh – fg)**

Estos depósitos se muestran como acumulaciones clásticas soportadas por matriz fina, de estratificación débil y espesores variables, estos depósitos fluvioglaciares se caracterizan en las partes más elevadas por ser más gruesos, consistente de gravillas, gravas y menor proporción bloques y fragmentos grandes en matriz de arenas limosas. Estos depósitos están ampliamente distribuidos al pie de los cerros Huayllaco, Chacca, Antajave Pisanane e Isccacullo, Sorojo, Tres Puntas, Chocata, Capaca, Chila y Jucure, etc.

- **Depósito Coluvial (Qh-col)**

Constituido por bloques y cantos angulosos de roca andesítica y arenas limosas provenientes de los depósitos piroclásticos, desplazados pendiente abajo por la gravedad. Se observa en las laderas de los cerros Huayllaco, Chuñape, Vilaucarane, Incapacheta, Chacca, Antajave Pisanane e Isccacullo, Sorojo, Tres Puntas, Chocata, Capaca, Chila y Jucure.

En estos depósitos se encuentra ubicado gran parte de nuestra zona de estudio.

- **Depósito de Bofedales (Qh-bo)**

Está constituido por sedimentos saturados, con abundante materia orgánica, su estructura estratigráfica está constituida por sedimentos finos arenas limos y arcillas, saturadas, de consistencia muy blanda, y de color gris oscuro.

Estos depósitos tenemos en ambas márgenes de los principales ríos y quebradas como son: El río Maure, Chiliculco, Kallapuma y Titijahuani, donde se encuentra nuestra zona de estudio.

#### **4.2.3 Geología Estructural**

Luego de sepultada la superficie de aplanamiento “Puna” por el volcánico Huaylillas emitidas a través de fisuras debidas a una gran fase de distensión, los Andes fueron levantados por la gran flexura del Mioceno-Plioceno formando la red hidrográfica actual hacia el Pacífico, posteriormente se produce la última fase del plegamiento andino ocasionando pliegues suaves en la formación Moquegua y el volcánico Huaylillas sin direcciones preferenciales de ejes, pliegues y fallas con inclinaciones al Pacífico, a continuación se sucede una fase de erosión la que fue sellada por una fase volcánica diferente, la erosión ha dado al pie de la cadena montañosa a acumulaciones detríticas tal como la secuencia Maure-Sencca.

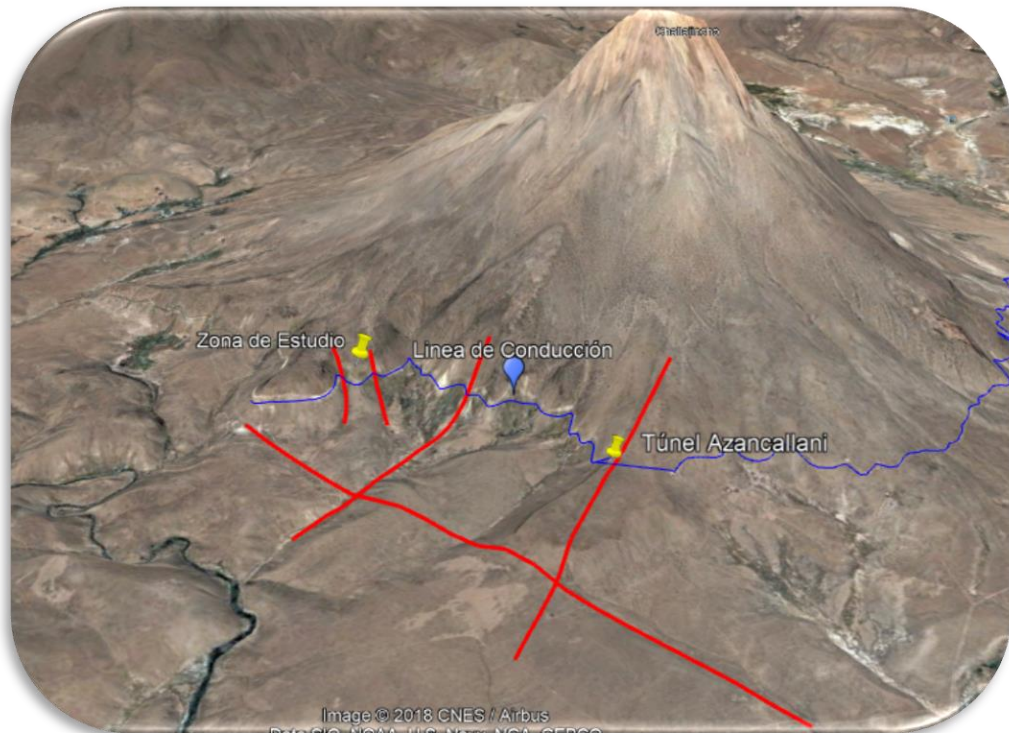


Figura 19. Lineamientos estructuras emplazados en el sector de Titijahuani. Elaboración propia.

Un cambio climático (primera crisis climática) límite del Plioceno-Pleistoceno coincidió con la emisión de los materiales del volcánico Sencca, durante este cambio climático se formó el Altiplano constituido por llanuras a diferentes niveles debido a la formación de la barrera de los Andes Occidentales donde se depositaron niveles lacustrinos de la formación Capillune. Durante el Pleistoceno se produce el levantamiento epirogénico de la totalidad del territorio sur peruano, gracias al juego de la flexura, el levantamiento alcanzó algunas centenas de metros en la Costa y en los Andes Occidentales mil metros que sumados a los otros levantamientos hacen un total de cuatro mil metros, ello permitió la emisión de material piroclástico y luego lavas de naturaleza andesítica y traquiandesítica pertenecientes al Grupo Barroso. Posteriormente se sucedieron una serie de movimientos que generaron deslizamientos y

alineamientos a manera de fallas. En el área comprometida en la presente tesis se han determinado una serie de fallas de carácter local que ha generado la desestabilización de la zona.

### **4.3 Marco Geomorfológico y Geológico Local**

#### **4.3.1 Geomorfología y Geología**

Se realizó el mapeo geológico local y descripción fisiográfica del terreno, haciendo una descripción cualitativa de las formaciones geológicas, la geodinámica y morfología presente en el tramo progresivas km 41+700 al km 41+750 de la línea de conducción Vilachullani, para lo cual se hizo el uso de materiales como brújula Brunton, cinta métrica, cámara fotográfica, plano topográfico, libreta de campo, GPS y martillo de geólogo.

A continuación, se describe la morfología y geología local por donde atraviesa el eje de la Línea de conducción entre las progresivas km 41+000 al km 41+750.

- Entre las progresivas km 41+000 al 41+070, la conducción bordea la ladera del cerro Jucure con dirección al Este con pendiente media-alta de 32°, constituido por tobas de lapilli redepositadas que contienen líticos angulosos de naturaleza andesítica de color blanquecino con tonos rosáceos, en estado seco.

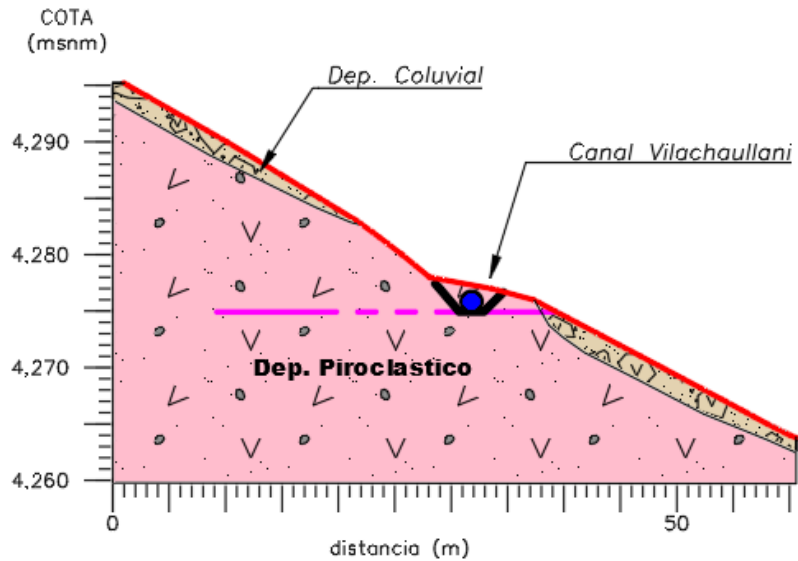


Figura 20. Perfil geológico entre las prog. Km 41+000 al km 41+070.  
Elaboración propia

- Entre las progresivas km 41+070 al 41+170, la conducción atraviesa un área de pendiente media de  $18^\circ$  a  $20^\circ$  y corresponde a un depósito de bofedal constituido por material orgánico saturado donde se han formado grietas de tensión, ladera arriba la pendiente cambia a  $39^\circ$  calificada como alta y corresponde a tobas de lapilli redepositadas cubiertos por material coluvial de cantos y bolones de andesitas en una matriz areno limosa en estado suelto, la conducción se emplazará sobre materiales de arenas y limos con moderada presencia de cantos y bloques de naturaleza andesítica los cuales han sido desplazados desde las partes altas de la ladera donde afloran andesitas del volcánico Barroso. Esta zona corresponde a una zona crítica donde se ha ocurrido un deslizamiento antiguo modificando la morfología y materiales preexistentes.

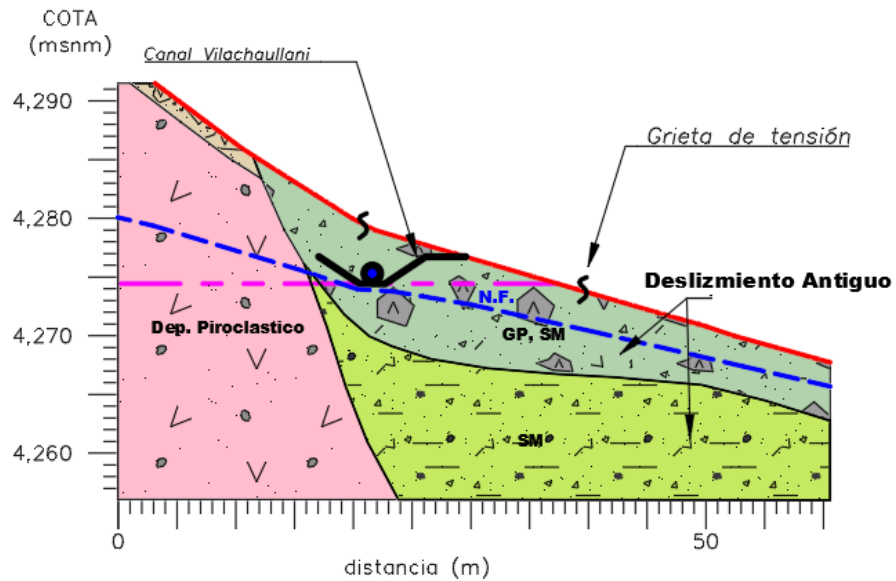


Figura 21. Perfil geológico entre las prog. Km 41+070 al km 41+170. Elaboración propia.

- Entre las progresivas km 41+170 al 41+228, la conducción vuelve a atravesar tobas de lapilli redepositadas en estado seco, bordea la ladera del cerro Jucure con dirección al Este y pendiente alta entre  $35^\circ$  y  $40^\circ$  sobre las tobas de lapilli de color blanquecino, el deposito coluvial continúa ladera arriba cubriendo las tobas con bloques de roca volcánica en una matriz de arena y limos en estado suelto.

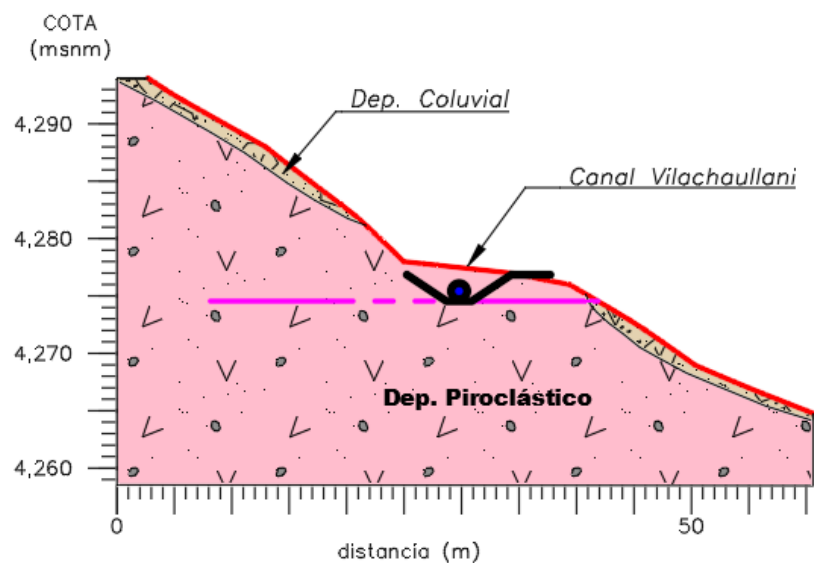


Figura 22. Perfil geológico entre las prog. Km 41+170 al km 41+228. Elaboración propia.

- Entre las progresivas km 41+228 al 41+305, la conducción vuelve a atravesar una zona crítica donde se han formado una serie de bofedales saturados en una zona de deslizamiento antiguo que ha modificado la morfología en este sector, la ladera presenta una pendiente media-baja de  $20^\circ$  en la zona de bofedal y cambia a  $34^\circ$  en el contacto con el material coluvial presente ladera arriba, la conducción se emplazará sobre materiales conformados de arenas limosas saturadas con menor cantidad de cantos líticos, presenta un espesor considerable. En la superficie los bofedales presentan grietas de tensión de manera transversal a la dirección del deslizamiento.

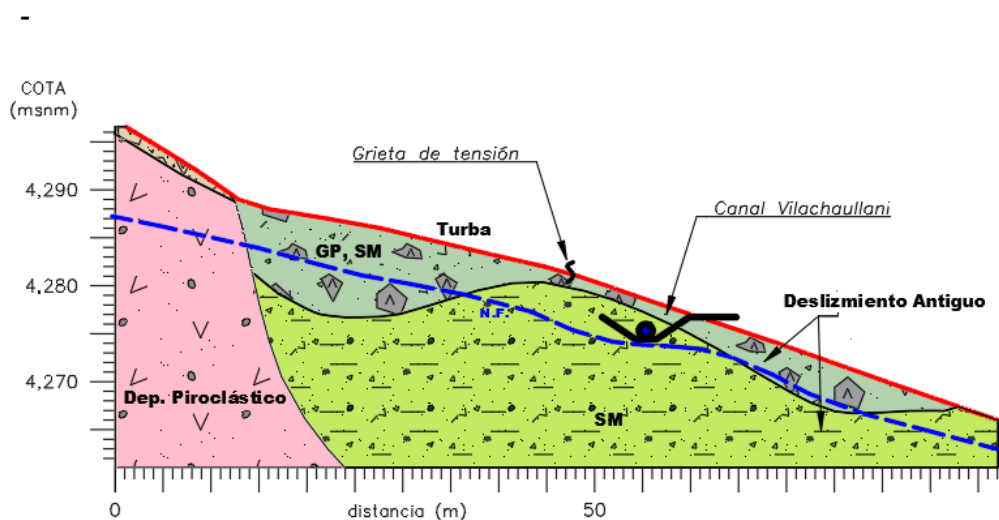


Figura 23. Perfil geológico entre las prog. Km 41+228 al km 41+305. Elaboración propia.

- Entre las progresivas km 41+305 al 41+385, la conducción atraviesa un depósito deluvial de arenas limosas de naturaleza piroclástica con fragmentos de clastos angulosos en estado seco y de compacidad media, la pendiente en la ladera es de  $20^\circ$  a  $22^\circ$  calificada como baja a media.

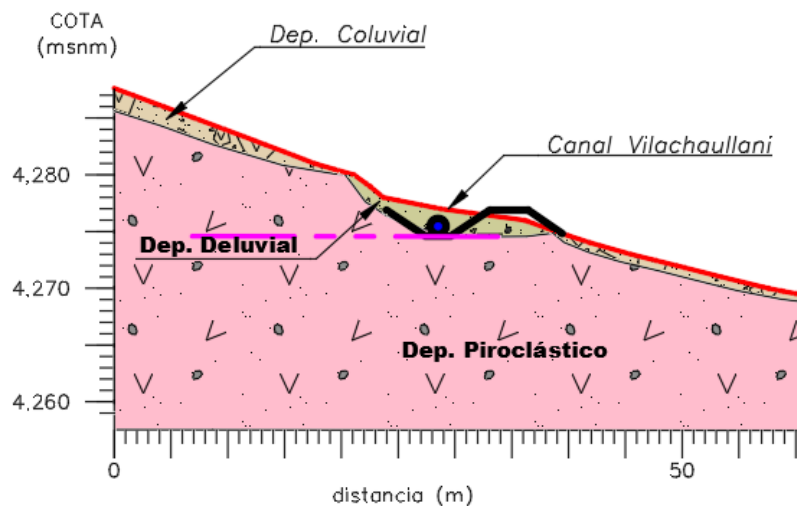


Figura 24. Perfil geológico entre las prog. Km 41+305 al km 41+385.  
Elaboración propia

- Entre el km 41+385 al 41+475 la conducción atraviesa otra zona crítica donde se han formado bofedales saturados en una zona de deslizamiento antiguo modificando la morfología del sector, la ladera presenta una pendiente de  $12^\circ$  a  $16^\circ$  considerada como baja en la zona de bofedal y aumenta ladera arriba a  $20^\circ$  en el contacto con el material coluvial, la conducción estará emplazada primero sobre una capa de bolones y cantos en matriz areno limosa de compacidad media seguido de una capa de arenas y limos de baja compresibilidad de origen piroclástico que se encuentran saturados. En superficie se evidencia un tramo donde el material estaría en un proceso de reptación que evidencia un ligero movimiento de masa del suelo.

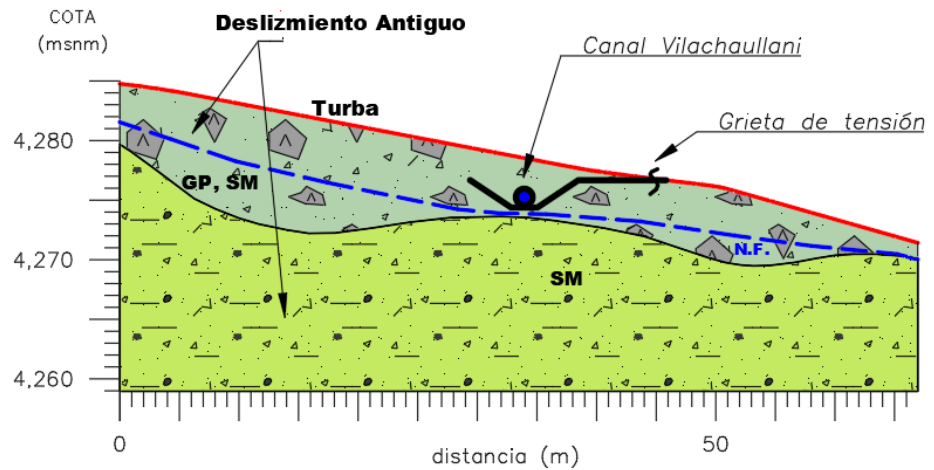


Figura 25. Perfil geológico entre las prog. Km 41+385 al km 41+475. Elaboración propia.

- Entre el km 41+475 al 41+750 la conducción ingresa a un corte de ladera existente, presenta una pendiente de  $35^\circ$  a  $40^\circ$  calificada como alta, la conducción atraviesa tobas de lapilli redepositadas de naturaleza piroclástica color rosáceo en estado seco, en la parte alta de ladera se encuentra un depósito coluvial de bloques de roca volcánica de composición andesítica y traquiandesítica color gris en una matriz areno limosa de compacidad media a suelta. Entre las prog. 41+600 a 41+750 se aprecia arenisca tobacea fina con laminación horizontal y entrecruzada.

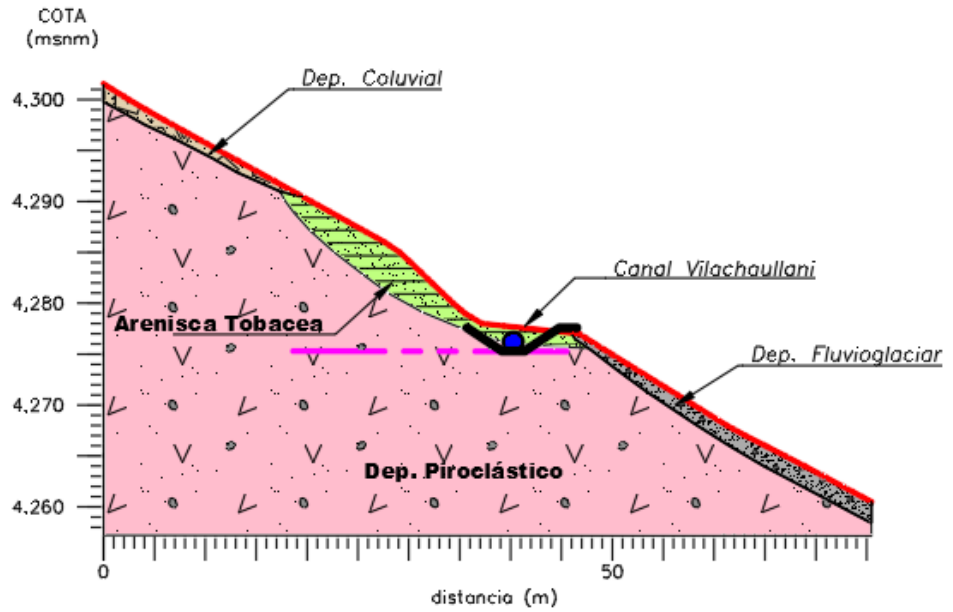


Figura 26. Perfil geológico entre las prog. Km 41+475 al km 41+750. Elaboración propia.

LEYENDA GEOLÓGICA							
ERA	SISTEMA	UND. LITOSTRATIGRAFICAS	DESCRIPCIÓN				
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEP. TECNOGENO	Qh-te	Suelos finos y gruesos que conforman los depósitos de relleno antrópico.		
			DEP. BOFEDALES	Qh-bo	Suelos limosos organicos turbosos completamente saturados		
			DEP. ALUVIALES 2	Qh-al2	Bolones, cantos rodados y gravas en matriz de arena y arena limosa.		
			DEP. ALUVIALES 1	Qh-al1	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena gris.		
			DEP. COLUVIAL	Qh-col	Bloques de rocas angulosas de tamaño variable.		
			DEP. COLUVIODELUVIALES	Qh-col-del	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.		
			DEP. DELUVIAL	Qh-del	Arenas gruesas a finas de color gris con tonos verdosos y grava angulosa.		
			DEP. FLUVIOGLACIARES	Qh-fg	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.		
			DEP. FLUJO DE LODO	Qh-fl	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena limosa de color beige.		
			DEP. DE DESLIZAMIENTO_2	Qh-ds2	Bloques y bolones de roca angulosa, principalmente de andesitas.		
			DEP. DE DESLIZAMIENTO_1	Qh-ds1	Bloques, cantos y bolones en matriz de arena tobacea.		
			NEÓGENO	MIOCENO	GRUPO BARROSO	NQpl-atb	Arenisca tobacea fina con laminación horizontal y entrecruzada.
						NQpl-vba_an	Derrames lavicos de andesitas y traquiandesitas color gris con fenocristales de plagioclasa.
	NQpl-tb	Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.					
NQpl-vba_fh	Flujo de detritos subangulosos de rocas volcanicas en matriz tobacea.						

Figura 27. Unidades estratigráficas presentes en nuestra área de estudio. Elaboración propia.

### **4.3.2 Geodinámica Externa**

En nuestra zona de estudio los fenómenos de geodinámica externa han participado y participan en el modelado de la superficie terrestre como resultado de la interacción de agentes geodinámicos como el agua, el sol, la gravedad, el viento y los organismos vivos y que ocurren bajo diferentes modalidades o mecanismos dependiendo además de los factores geodinámicos como son factor litológico, estratigráfico, tectónico, topográfico, climatológico, hidrológico.

#### **Fenómenos de remoción en masa**

Nuestra zona de estudio se caracteriza por presentar una serie de deslizamientos que son activos y que se produjeron durante la evolución del relieve.

En las laderas del cerro Jucure, en el tramo comprendido Km. 41+000 al 41+750 del trazo que va por la plataforma desde la salida del túnel Azancallani hasta el empalme con el canal Calachaca, se observan hasta 03 eventos de remoción en masa tipo deslizamiento, estos fenómenos envuelven un movimiento rotacional en forma semicircular.

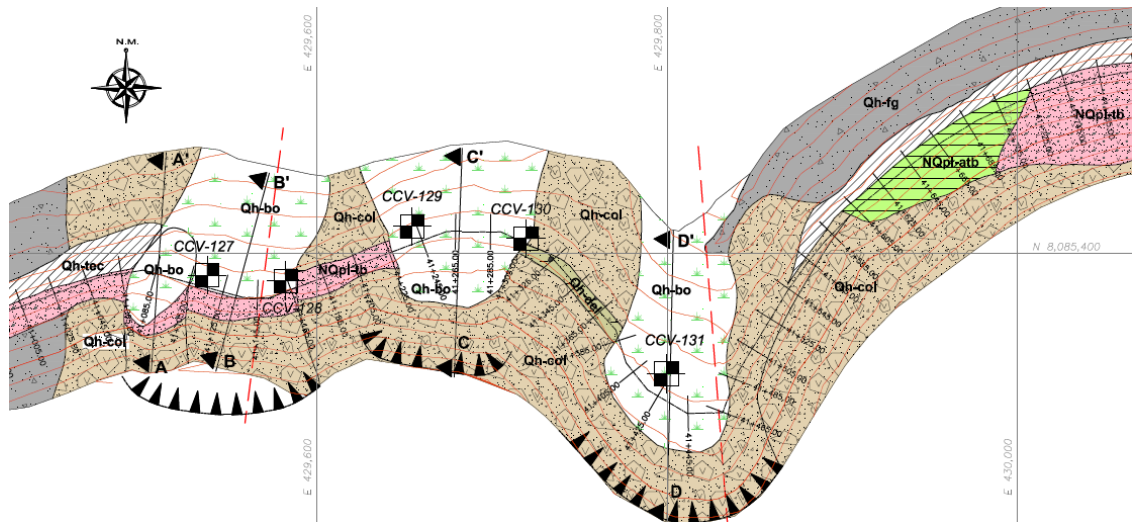


Figura 28. Plano geológico de planta, obsérvense los eventos de remoción de masa. Elaboración propia.

- **Factores Condicionantes y Desencadenantes**

Los factores **CONDICIONANTES** de la estabilidad de un talud son: la estructura geológica, la litología, las condiciones hidrogeológicas y la morfología. La variación de uno o varios de estos condicionantes **DESENCADENA** la inestabilidad de una masa de terreno.

Los factores **DESENCADENANTES** que produjeron los deslizamientos en el área de estudio son dos: el sistema de fallamiento local (varió la morfología) y el agua caída en una época de intensas lluvias (varió las condiciones hidrogeológicas), tal como se observa en la Figura 28.

Originalmente existía un talud natural (o ladera), el cual era estable con una pendiente media similar a la que se presenta en el sector del túnel Azancallani ubicado en la parte baja del cerro Jucure. El fallamiento se produjo en la zona debido a la actividad volcánica y sirvió como vías de infiltración por donde las aguas de lluvia descendieron en el subsuelo

modificando las condiciones hidrogeológicas y alterando las tobas depositadas, lo que originó una variación de las presiones intersticiales del terreno, saturación del suelo, haciendo que se modifiquen las propiedades del terreno, causando una variación del estado de equilibrio del terreno que se tradujo en los deslizamientos.

El factor condicionante que se varió fue la morfología del talud natural producto del fallamiento, y el principal factor desencadenante fue el agua de infiltración modificando las condiciones de estabilidad aumentando la presión hidrostática del terreno.

- **Geodinámica de los deslizamientos**

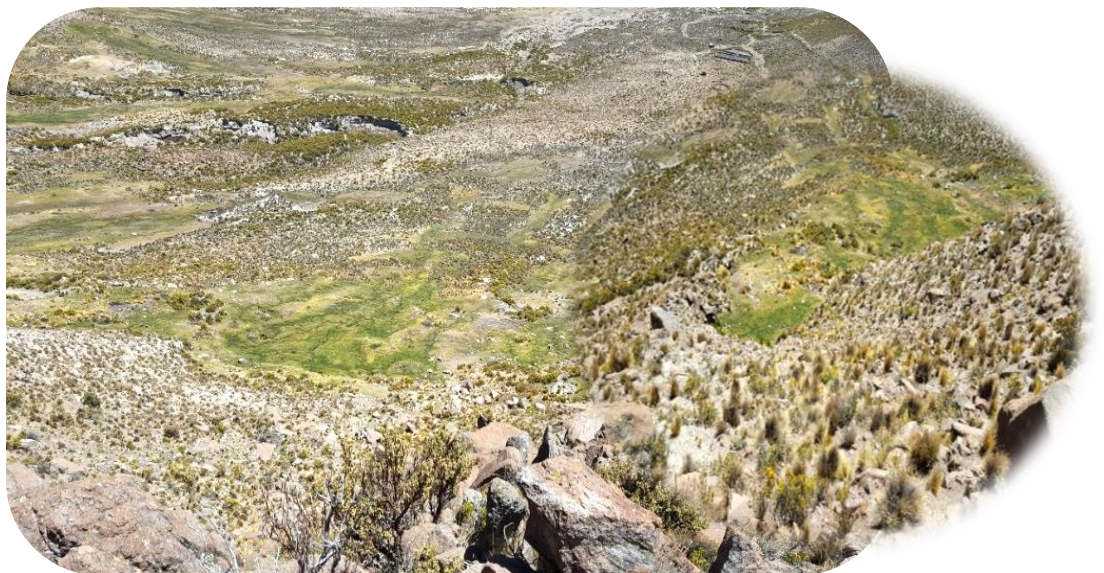
En nuestro tramo de estudio se han identificado 03 sectores de zonas de deslizamientos antiguos por donde se tiene proyectado el eje del canal Vilachauhani, estos deslizamientos se deben a procesos geodinámicos producidos por factores condicionantes como el relieve que presenta una pendiente media, la estructura geológica presente y la meteorización; y factores desencadenantes como la precipitación y flujo de agua de escorrentía y subterránea, cambio en las condiciones hidrológicas y cambios morfológicos en la pendiente y ladera de terreno.

Superficialmente sobre los deslizamientos se han formado bofedales con material orgánico (turba), arenas limosas y bloques de roca suelta, estos materiales se encuentran saturados, además en nuestra área de estudio se evidencia un sistema local de fallas con dirección N-S, el agua de infiltración que proviene desde la parte alta del cerro Jucure y

atraviesa por las fracturas de roca volcánica andesítica y depósitos piroclásticos de toba hasta llegar a los bofedales, en la superficie de los bofedales se observan grietas de tensión que evidencian un lento movimiento del terreno y la baja consistencia del suelo. A continuación, se describen estos deslizamientos que se han dividido en 3 sectores:

#### **A. Sector 1**

- El **primer deslizamiento** está ubicado en el tramo Km. 41+070 al 41+170 muestra un gran arco y se ubica en la parte alta de la ladera donde la corona es de gran amplitud; en el Km. 41+070 al 41+105 se observa un **segundo deslizamiento** a expensas del anterior, pero de menor magnitud. El pie del deslizamiento corresponde a la zona de acumulación y superficialmente está cubierto por depósitos de bofedal completamente saturados.



*Foto 3. Sector 1: Primer deslizamiento, vista en dirección norte. Elaboración propia.*

En este sector el terreno, visto desde el eje proyectado de la línea de conducción, presenta una pendiente de 39° ladera arriba, y 20° hacia

la parte baja, en el área circundante del eje, se observan dos grietas de tensión de forma longitudinal al eje del canal, una primera a la altura del eje proyectado, con una longitud de 20 metros y abertura de hasta 30 cm con agua en su interior; y la segunda en la parte baja del eje, con una longitud de 10 metros y abertura de 5 a 10 cm, estas grietas de tensión son recientes y evidencian un lento movimiento de la masa del terreno.

También se observa presencia de ojos de agua en el contacto de la ladera con el bofedal haciendo que el material se sature.



*Foto 4.* Sector1: Bofedal por donde atravesará la línea de conducción, grietas de tensión de 10 m de longitud. Elaboración propia.



*Foto 5.* Sector1: Grietas de tensión con abertura de 30 cm, y flujo de agua en la abertura.  
Elaboración propia

## **B. Sector 2**

- El **segundo deslizamiento**, ubicado en el tramo Km. 41+225 al 41+305, el escarpe de la corona está constituida por rocas volcánicas andesíticas y rocas piroclásticas cubiertas por depósitos Coluviales, la zona de desprendimiento por tobas redepositadas y areniscas tobaceas con una pendiente de  $39^\circ$  y la zona de acumulación, conformado por bloques de roca en matriz de arena tobacea y arenas limosas completamente saturada donde superficialmente se han formado depósitos de bofedal con una pendiente de  $20^\circ$ . De acuerdo a la tomografía realizada, esta zona de acumulación tiene un espesor de 20 m, superficialmente se observan grietas de tensión de forma transversal a la dirección de deslizamiento de hasta 50 cm de abertura con agua en su interior y 24 metros de longitud en superficie. Cabe mencionar que la conducción se emplazará en esta masa de suelo inestable y saturado en una longitud aproximada de 80m.



*Foto 6.* Sector2: Zona de acumulación de material deslizado, conformando un bofedal saturado. Elaboración propia.



*Foto 7.* Sector2: Grietas de tensión en la zona de bofedal, en forma longitudinal al eje de la línea de conducción y abertura de hasta 50 cm y longitud de 24 m. Elaboración propia.

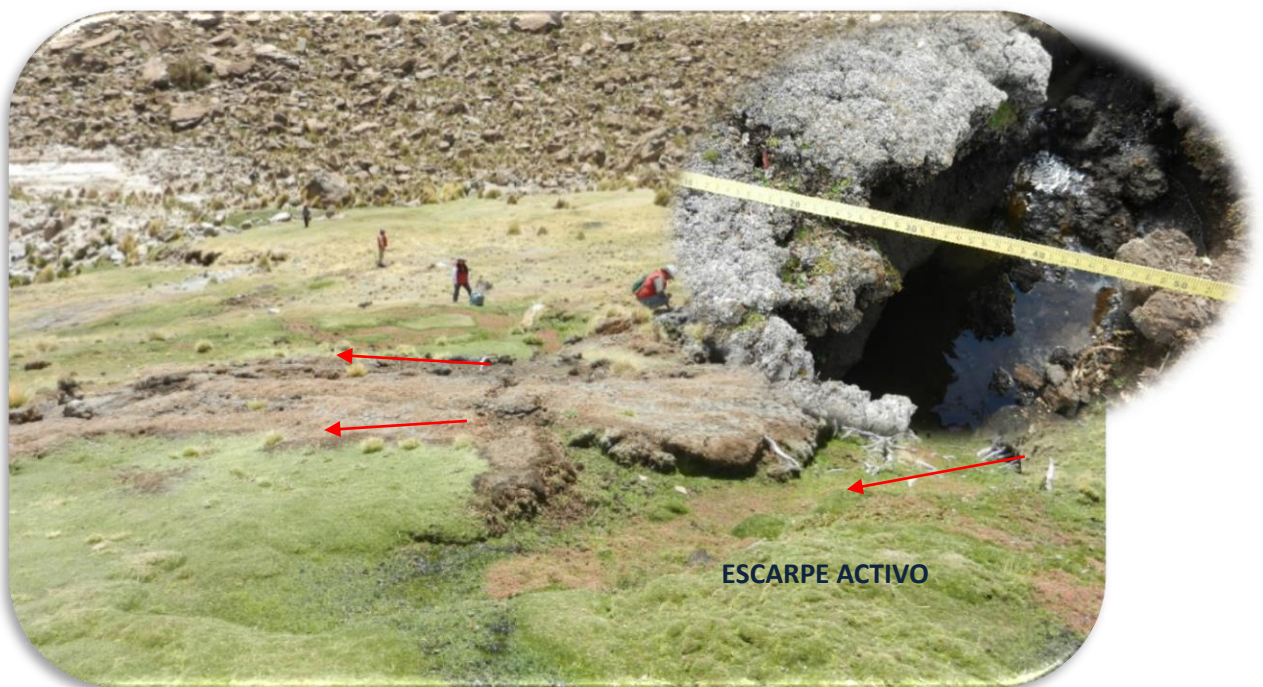


*Foto 8.* Sector2: Tercer Deslizamiento, grieta de tensión ubicada metros debajo del eje de la línea de conducción. Elaboración propia.

- El **tercer deslizamiento** está ubicado en el tramo Km. 41+380 al 41+475, el escarpe de la corona está constituida por depósitos coluviales de bloques de andesitas en matriz areno limosa tobacea, la zona de desprendimiento conformadas por tobas de lapilli redepositadas, en esta zona se puede apreciar escarpes secundarios que indican que ocurrieron movimientos diferenciales dentro de la masa desplazada, gran parte de esta masa ha sido erosionada. La zona de acumulación, conformado por bloques de roca en matriz de arena tobacea y limos completamente saturada. Según la tomografía eléctrica realizada en el sector, la zona de acumulación tiene un espesor de aproximadamente 20 m, sobre esta masa cubierta superficialmente por depósitos de bofedal se observan grietas de tensión de forma transversal y circular de hasta 100 cm.



*Foto 9.* Sector3: Cuarto Deslizamiento, vista desde la corona hasta la zona de acumulación, constituido por depósitos de bofedal. Elaboración propia.



*Foto 10.* Sector3: Cuarto Deslizamiento, vista de la zona de acumulación donde se observa la inestabilidad del material, notándose un escarpe activo y movimiento de la masa de suelo. Elaboración propia.



*Foto 11.* Sector3: Se evidencia movimiento de masa de suelo (reptación), con grietas de tensión y terreno saturado. Elaboración propia.

### **4.3 Geodinámica Interna**

La actividad sísmica en el Perú es debida principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, presente de Norte a Sur en su borde Oeste, con una velocidad relativa de 8 a 10 cm/año (DeMets, 1990). El margen Oeste de Sudamérica, es uno de los más activos por su alta velocidad de convergencia, que permite un fuerte acoplamiento entre las placas mencionadas. Este proceso produce sismos de diferentes magnitudes a diferentes niveles de profundidad y como resultado se ha formado la fosa Peruano-Chilena y la Cordillera Andina en diferentes periodos orogénicos.

Entre la fosa y la línea de costa se concentran los sismos con foco superficial ( $h < 60$  Km), que al presentar magnitudes elevadas producen diferentes grados de destrucción en superficie y deben su origen a los procesos compresivos generados por la colisión de la placa de Nazca y Sudamericana. Los sismos se distribuyen en función de la profundidad de sus focos siguiendo una alineación desde la fosa, con un ángulo aproximado de  $30^\circ$  hasta alcanzar una profundidad del orden de 250 a 300 Km.

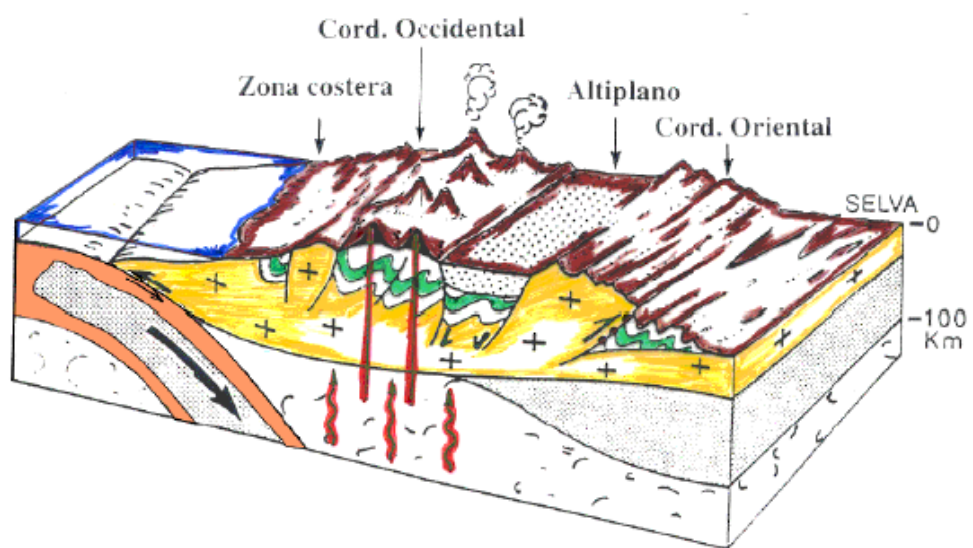


Figura 29. Esquema de subducción para el sur del Perú (Portal web IGP)

Nuestra zona de estudio se ubica en una región donde los sismos son de foco profundo ( $h > 350$  Km.) pero existen algunos focos superficiales, la ausencia de sismicidad entre los 300-500 Km. de profundidad pone en evidencia la no continuidad de la placa oceánica en el proceso de subducción a mayores niveles de profundidad.

Según el estudio de mapa de ordenadas espectrales (M. Monroy & A. Bolaños de la Universidad Católica del Perú, 2004), que actualiza la distribución de isoaceleraciones de Jorge Alva, Jorge Castillo (CISMID 1993), siendo el valor

de la aceleración máxima para la zona de interés es de 0,37 g que corresponde a un periodo estructural de 0.0 segundos, con 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición.

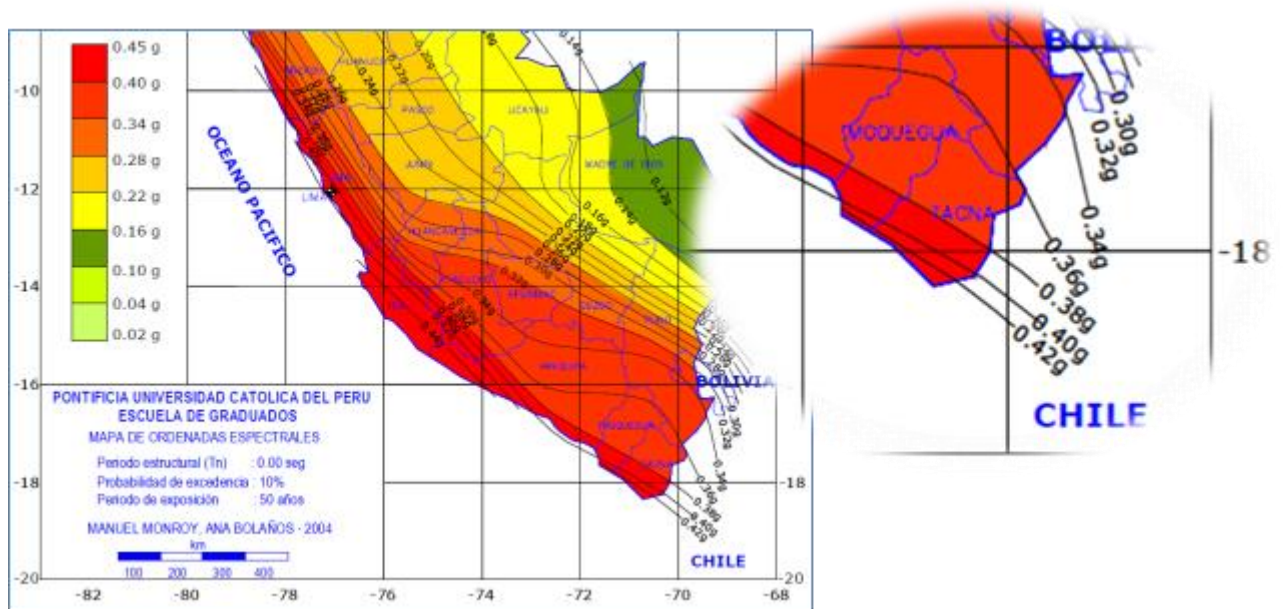


Figura 30. Distribución de ordenadas espectrales para el sur del Perú correspondientes a un periodo estructural de 0.0 seg (aceleración del suelo). (Alva, 1993)

Para el caso de análisis de la estructura de tierra proyectada en el esquema hidráulico del presente proyecto, tales como: tubería de conducción y demás estructuras flexibles, se recomienda un coeficiente sísmico horizontal entre  $2/3$  a  $1/2$  de la aceleración máxima espectral, de acuerdo al criterio de Marcuson (1981) para una masa no rígida. De acuerdo a las Normas Sismo-Resistentes E-030 del Reglamento Nacional de la Construcción a la zona se esperan intensidades medias entre VII a IX. En esta zona se esperan aceleraciones máximas de 0,37g, para los diseños hidráulicos utilizar  $1/2$  de la máxima aceleración, el cual es 0,185 g.

El Proyecto Especial Tacna realizó el estudio de peligro sísmico para las estructuras mayores del proyecto, entre ellas la construcción del túnel Azancallani que atravesará desde la progresiva km 38+000 al km 38+500 y que es cercana a

nuestra zona de estudio, el estudio de peligro sísmico concluyó que para una vida útil de 50 años para un periodo  $t=0,0$  y  $t=0,1$  aceleraciones máximas de 0,37g y 0,54g recomendando para los análisis pseudoestáticos tomar valores de 1/2 de la aceleración máxima del periodo de retorno escogido, por lo cual para los análisis pseudoestáticos se trabajará con un valor de **0,27 g**.

#### 4.4 Geotecnia

Se realizaron investigaciones geofísicas y estudios de mecánica de suelos con la finalidad de identificar los niveles estratigráficos, presencia de nivel freático y obtener las propiedades índices de los suelos identificados.

##### 4.4.1 Tomografía Eléctrica

Se realizaron líneas geoelectricas, ubicadas en las zonas de deslizamientos y se han realizado de manera longitudinal y transversal al eje de la línea de conducción Vilachullani como se muestra en la Figura, alcanzándose una longitud de investigación entre 20 y 45 m de profundidad.

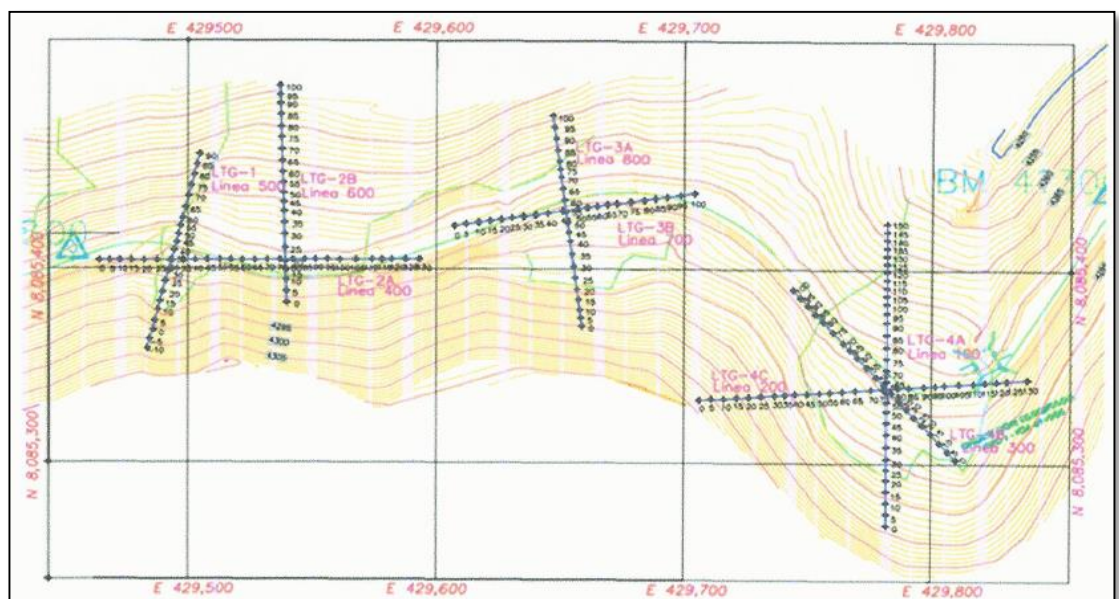


Figura 31. Ubicación de las líneas tomográficas, vista en planta. Por Proyecto Especial Tacna.

A continuación, se hace la descripción geoelectrica de los estratos encontrados en cada uno de los sectores de deslizamiento

- **Deslizamiento ubicado entre las Prog. Km 41+070 al km 41+170**

En este sector se ubican las líneas tomográficas LTG-400-CV-2A, LTG-500-CV-1A y LTG-600-CV-2B, las que se describen a continuación:

#### **Sección Tomográfica LTG-400-CV-2A**

Tiene una dirección W-E, longitud de 130 ml, se ubica de forma longitudinal al eje de la línea de conducción, entre las progresivas 41+040 al 41+175, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 40 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 32. Se aprecia un primer estrato con bloques de roca dura (resistividades entre 283,5 a 990,4 Ohm\*m) con espesores que varían entre 5 y 15 metros. Debajo continúa un estrato con resistividades entre 151,9 a 283,5 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea y que correspondería a la zona deslizada más antigua. Entre las progresivas 20 a 70 metros se presenta una zona de bajas resistividades que indicaría que el material conformado por arenas limosas se encuentra saturado.

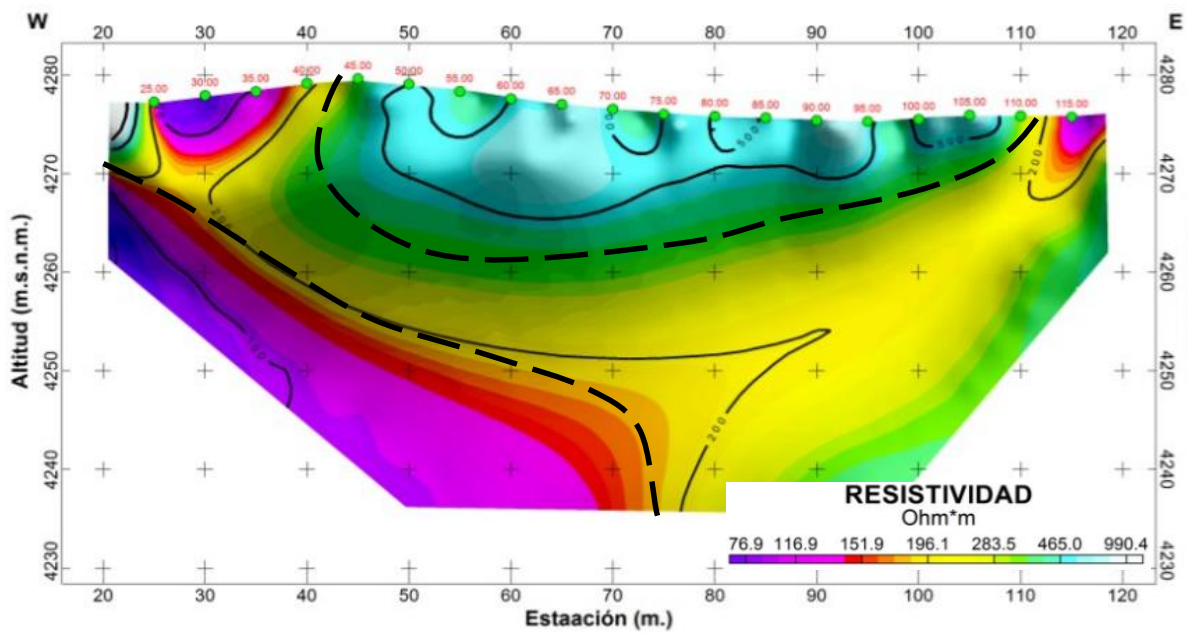


Figura 32. Sección Tomográfica LTG-400-CV-2A. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

### Sección Tomográfica LTG-500-CV-1A

Tiene una dirección SW-NE, longitud de 90 ml, presenta una pendiente hacia el norte, se ubica de forma transversal al eje de la línea de conducción, aproximadamente en la Prog. 30 metros, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 40 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 33. Se aprecia un primer estrato entre las progresivas 20 y 40 metros, con bajas resistividades (76,9 a 151,9 Ohm\*m) que corresponde a arenas limosas y turba que se encuentran saturadas y espesores entre 2 y 7 metros. Por debajo del primer estrato entre las progresivas 00 a 60 metros corresponde material compuesto por bloques de roca dura en matriz tobacea. Desde la progresiva 20 metros hasta el final se presenta una zona de bajas resistividades que indicaría que el

material conformado por arenas limosas se encuentra saturado, este material corresponde a la zona deslizada más antigua. A este material subyace un depósito piroclástico que en el contacto con la zona de deslizamiento antiguo se encontraría parcialmente húmeda.

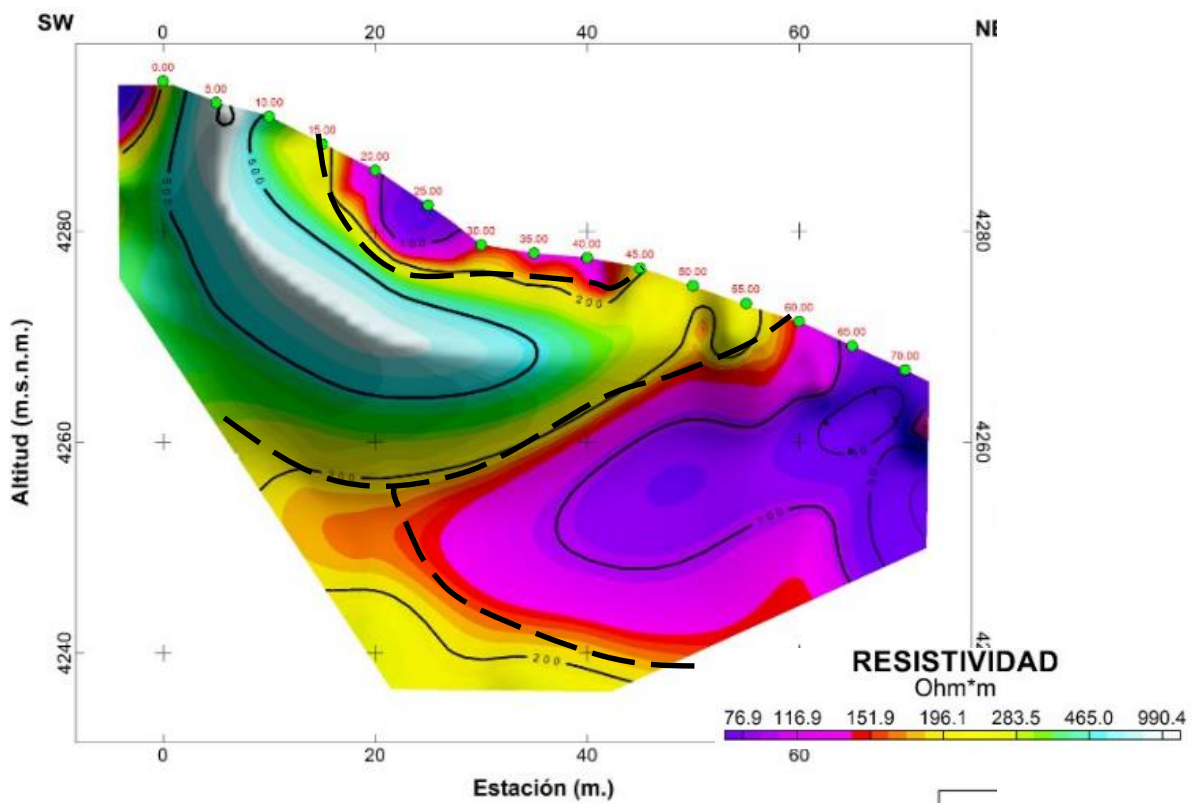


Figura 33. Sección Tomográfica LTG-500-CV-1A. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

### Sección Tomográfica LTG-600-CV-2B

Tiene una dirección S-N, longitud de 100 ml, se ubica de forma transversal al eje de la línea de conducción, aproximadamente en la Prog. 20 metros, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 40 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 34. Se aprecia un primer estrato con bloques de roca dura y matriz arena limosa (resistividades entre 283,5 a 990,4 Ohm\*m) con espesores que varían entre 5 y 10 metros. Debajo, desde la progresiva

20 metros hacia el final continúa un estrato con resistividades entre 76,9 a 151,9 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea y que correspondería a la zona deslizada más antigua que se encuentra saturada. Por debajo la estratigrafía continúa con material piroclástico parcialmente húmedo con resistividades mayores a 196,1 Ohm\*m

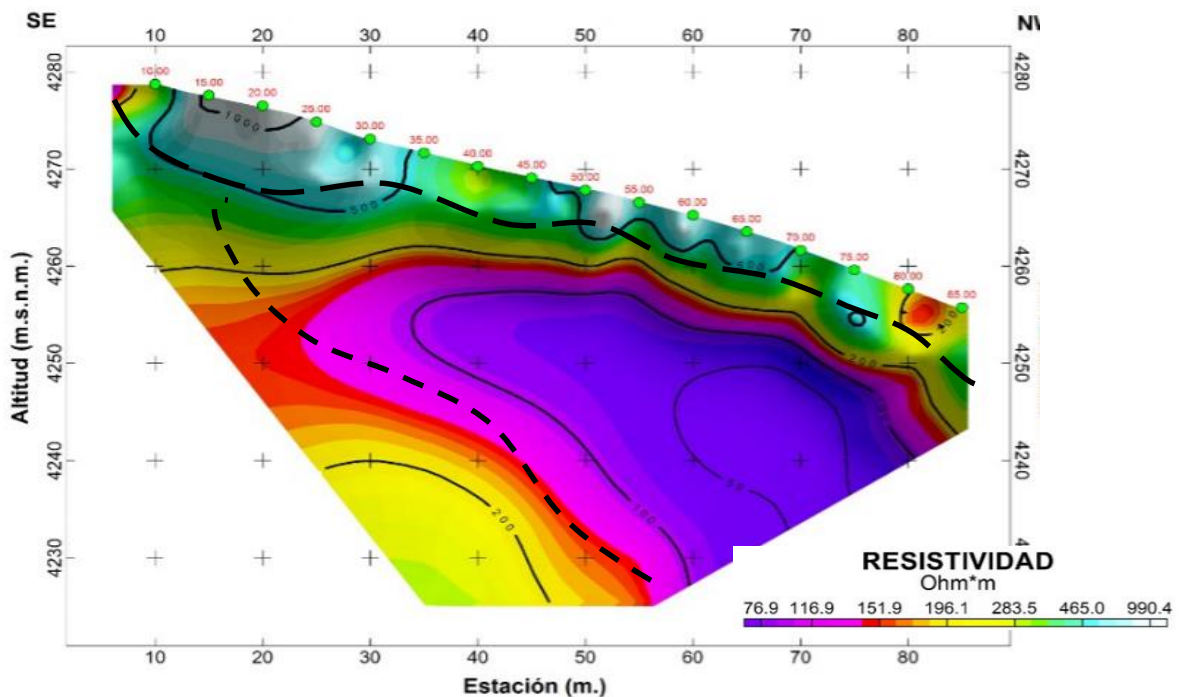


Figura 34. Sección Tomográfica LTG-600-CV-2B. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

- **Deslizamiento ubicado entre las Prog. Km 41+225 al km 41+305**

En este sector se ubican las líneas tomográficas LTG-700-CV-3B y LTG-800-CV-3A, las que se describen a continuación:

### Sección Tomográfica LTG-700-CV-3B

Tiene una dirección ligeramente al SW-NE, longitud de 100 m, se ubica de forma longitudinal al eje de la línea de conducción, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 40 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 35. Se aprecia un primer estrato con matriz arena limosa y cantos y turba en superficie, se encuentra saturado (resistividades entre 76,9 a 151,9 Ohm\*m) con espesores que varían entre 7 y 25 metros. Por debajo la estratigrafía continúa con material piroclástico que va tornándose seco mientras aumenta la profundidad hasta llegar a resistividades de 990,4 Ohm\*m.

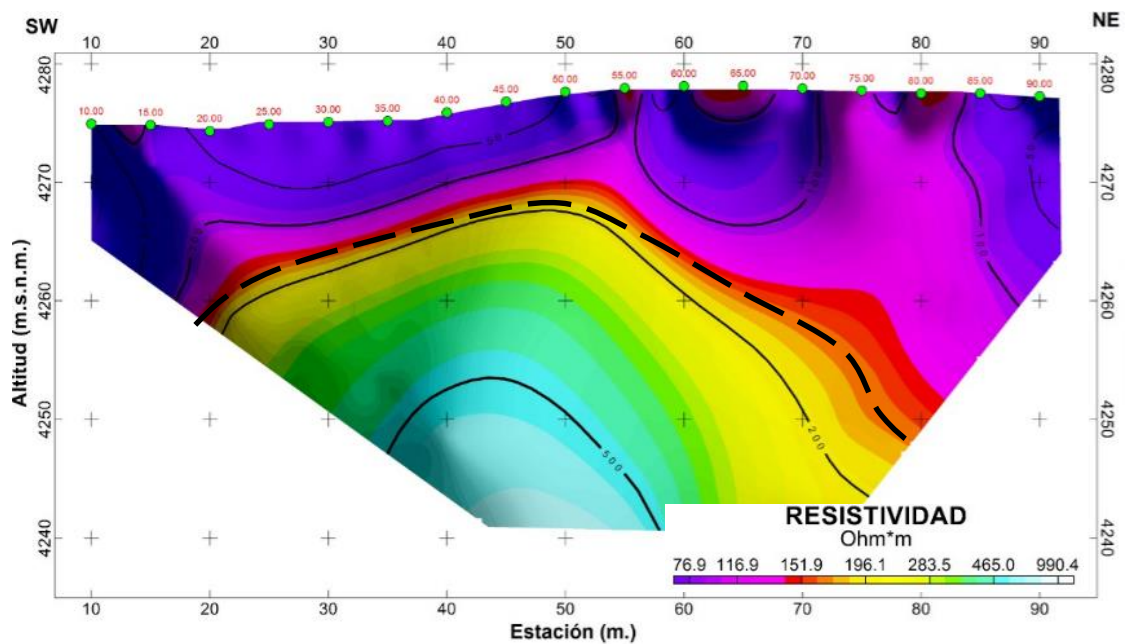


Figura 35. Sección Tomográfica LTG-700-CV-3B. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

### Sección Tomográfica LTG-800-CV-3A

Tiene una dirección ligeramente al SW-NE, longitud de 100 m, se ubica de forma transversal al eje de la línea de conducción,

aproximadamente en la Pro. 65 metros, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 35 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 36. Se aprecia un primer estrato con bloques de roca dura y matriz arena limosa (resistividades entre 196,1 a 990,4 Ohm\*m) con espesores que varían entre 5 y 15 metros. Por debajo, desde la progresiva 30 metros hacia el final continúa un estrato con resistividades entre 76,9 a 151,9 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea con líticos y que correspondería a la zona deslizada más antigua que se encuentra saturada. Por debajo la estratigrafía continúa con material piroclástico parcialmente húmedo con resistividades mayores a 196,1 Ohm\*m

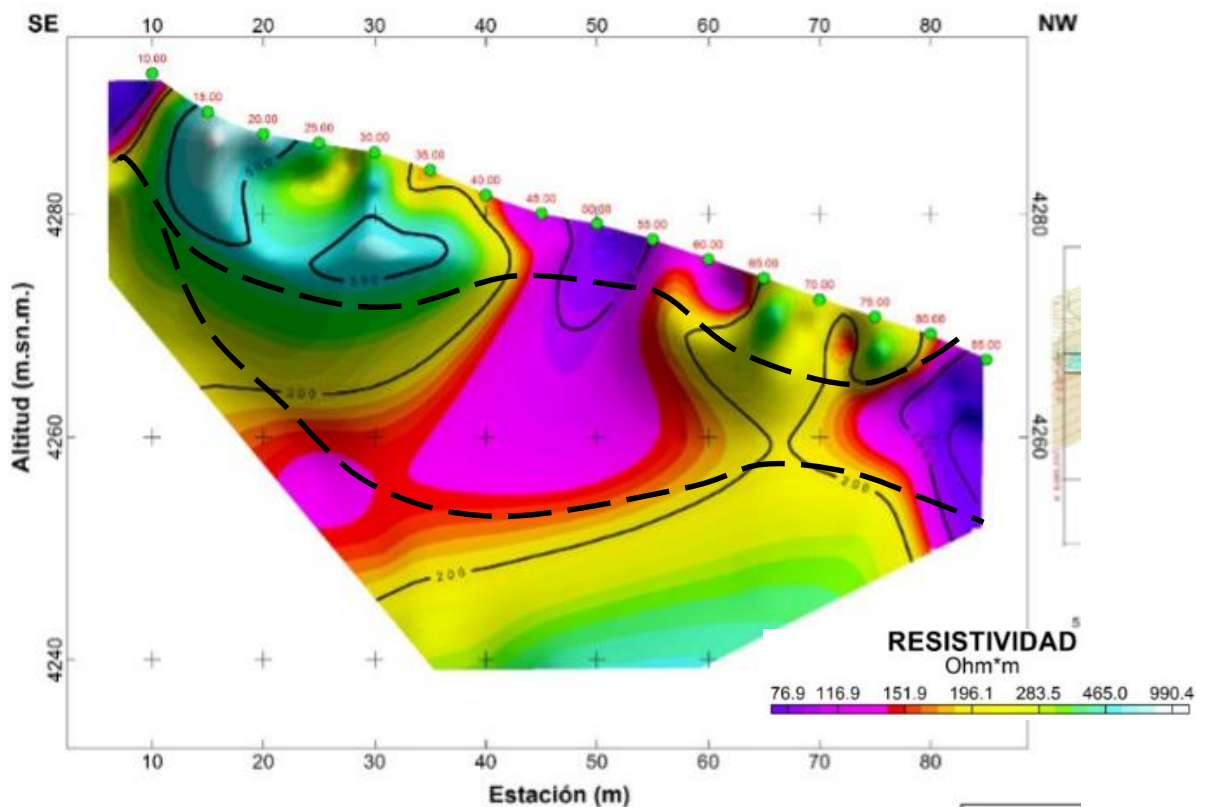


Figura 36. Sección Tomográfica LTG-800-CV-3A. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

- **Deslizamiento ubicado entre las Prog. Km 41+380 al km 41+475**

En este sector se ubican las líneas tomográficas LTG-100-CV-4A, LTG-200-CV-4C y LTG-300-CV-4B, las cuales se describen a continuación:

#### **Sección Tomográfica LTG-100-CV-4A**

Tiene una dirección al S-N, longitud de 150 m, esta sección presenta una pendiente hacia el norte se ubica de forma perpendicular al eje de la línea de conducción, aproximadamente en la Prog. 60 metros, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 50 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 37. Se aprecia un primer estrato con bloques de roca dura y matriz arena limosa (resistividades entre 196,1 a 990,4 Ohm\*m) con espesores que varían entre 5 y 20 metros. Por debajo, continúa un estrato con resistividades entre 76,9 a 151,9 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea y que correspondería a la zona deslizada más antigua que se encuentra saturada. Por debajo la estratigrafía continúa con material piroclástico que presenta humedad en el contacto y se torna seco a mayor profundidad, presenta resistividades mayores a 196,1 Ohm\*m

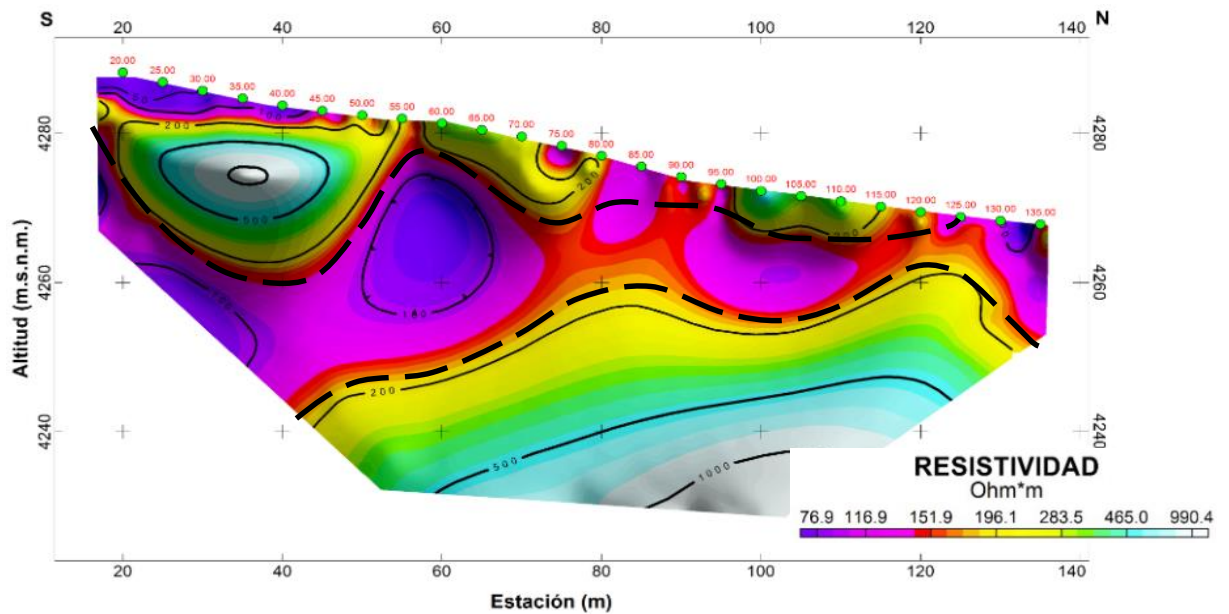


Figura 37. Sección Tomográfica LTG-100-CV-4A. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L..

### Sección Tomográfica LTG-200-CV-4C

Tiene una dirección al W-E, longitud de 130 ml, esta sección presenta una pendiente hacia el este, corta de forma diagonal al eje de la línea de conducción aproximadamente en la progresiva metros, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 40 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 38. Se aprecia un primer estrato que corresponde turba y arenas limosas saturadas con lútics (resistividades entre 76,9 a 151,9 Ohm\*m) con espesores que varían entre 3 y 8 metros. Por debajo, continúa un estrato con resistividades entre 196,1 a 465,0 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea y que correspondería a la zona deslizada más antigua que se encuentra parcialmente húmeda, entre las progresivas 20 a 40 metros se concentra mayor cantidad de bloques de roca. La estratigrafía continúa con material

piroclástico que presenta humedad en el contacto y se torna seco a mayor profundidad, presenta resistividades de 465,1 a 990,4 Ohm\*m.

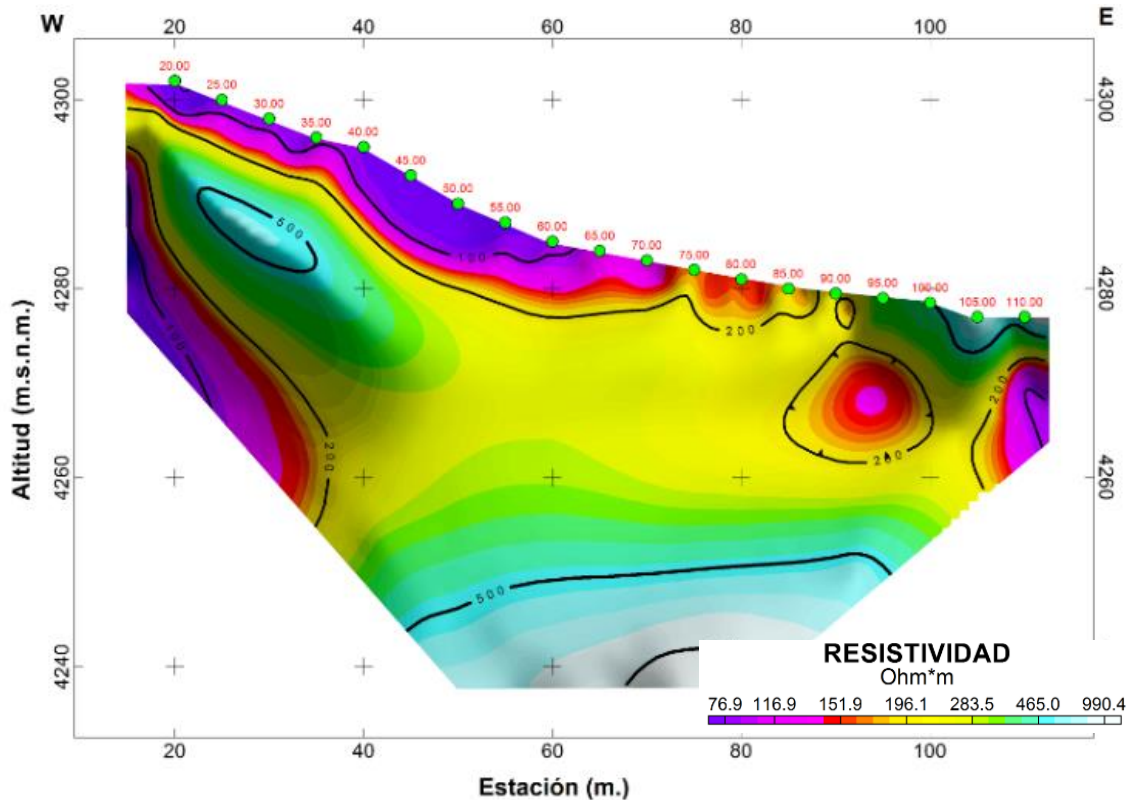


Figura 38. Sección Tomográfica LTG-200-CV-4C. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

### Sección Tomográfica LTG-300-CV-4B

Tiene una dirección SE-NWE, longitud de 100 ml, se ubica de forma longitudinal al eje de la línea de conducción, entre las progresivas 41+350 al 41+450, logrando alcanzar una profundidad de investigación de 30 m.

La imagen tomográfica resultante de la interpretación numérica se muestra en la Figura 39. Entre las progresivas 20 a 60 metros el primer estrato corresponde a ligeros bloques de roca en matriz areno limosa con resistividades entre 196,1 a 283,5 Ohm\*m, con espesores que varían entre 3 y 5 metros. Debajo continúa un estrato con resistividades entre 76,9 a

191,9 Ohm\*m conformado por arenas limosas de naturaleza tobácea y que correspondería a la zona deslizada más antigua y que se encuentra saturada. La estratigrafía continúa con material piroclástico que presenta humedad en el contacto y se torna seco a mayor profundidad, entre las progresivas 10 a los 27 metros presenta resistividades de 465 a 990,4 Ohm\*m y desde la progresiva 30 a los 90 metros presenta resistividades de 196.1 a 283.5 Ohm\*m.

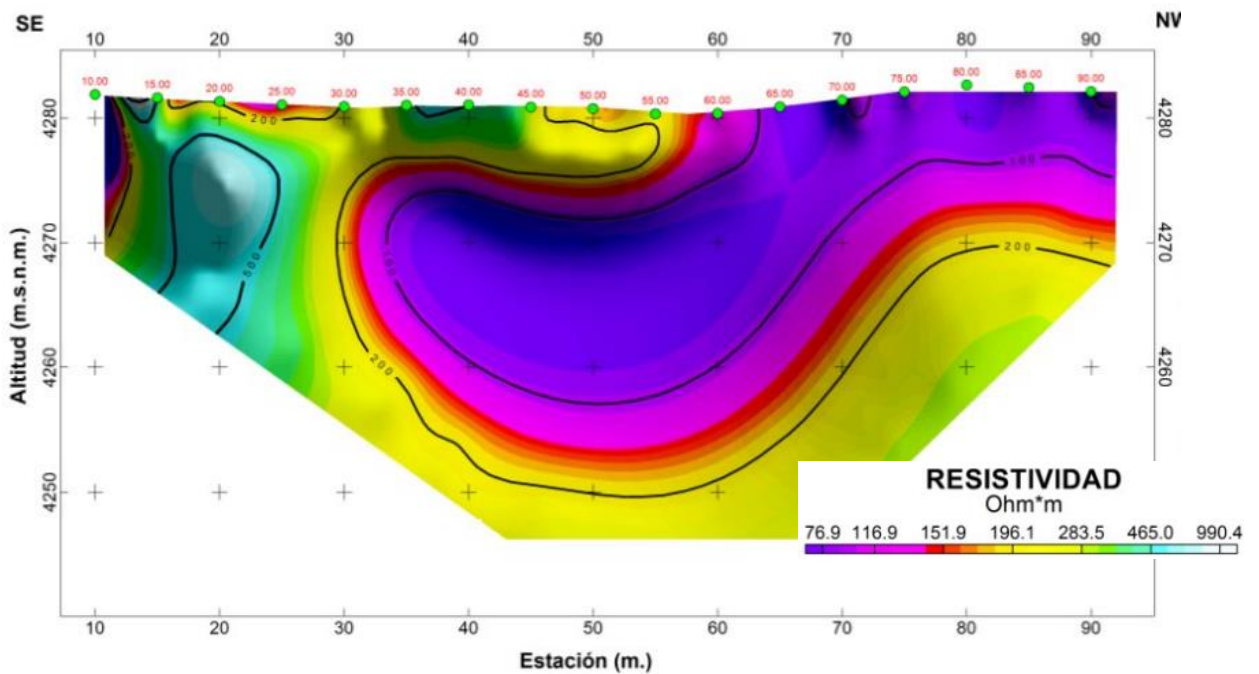


Figura 39. Sección Tomográfica LTG-300-CV-4B. Tomografía Eléctrica Interpretada, GEOMAD E.I.R.L.

#### 4.4.2 Mecánica de Suelos

##### Excavación de Calicatas

Se realizó la excavación de calicatas en lugares estratégicos que permitan obtener muestras representativas del terreno a lo largo del eje de la línea de conducción Vilachaullani entre las progresivas km 41+000 al km 41+750.

Se realizaron un total de 8 calicatas para el análisis del suelo donde se emplazará la estructura hidráulica, la ubicación de las calicatas se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7  
*Ubicación de calicatas*

<b>CALICATA</b>	<b>COORDENADA ESTE</b>	<b>COORDENADA NORTE</b>
CV-1	429430	8085377
CV-2	429540	8085385
CV-3	429686	8085415
CV-4	429524	8085393
CV-5	429569	8085390
CV-6	429641	8085421
CV-7	429706	8085414
CV-8	429786	8085337

*Fuente:* Elaboración propia

Se tomaron muestras alteradas de cada uno de los estratos de suelo encontrados, en cantidad suficiente y debidamente protegidas, las mismas que fueron rotuladas y posteriormente derivadas al laboratorio

En forma paralela al muestreo, se realizó el registro de excavaciones, anotándose las principales características de los estratos encontrados, como son clasificación visual, grado de compacidad, color, humedad, plasticidad, espesor, nivel freático, etc. Los registros y perfiles de las calicatas se muestran en el Anexo correspondiente.

## **Ensayos de mecánica de suelos**

Se realizaron ensayos in situ y ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas de los materiales extraídos, estos resultados nos permitirán clasificar el material y realizar el cálculo numérico de estabilidad. Los resultados de los ensayos se muestran en la sección de anexos.

Los ensayos se realizaron de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), tenemos:

- Análisis Granulométrico (ASTM D422)
- Límites de Atterberg (ASTM D4318)
- Clasificación de suelos SUCS (ASTM D2487)
- Contenido de Humedad (ASTM D2216)
- Peso Especifico
- Densidad in situ (ASTM D1556)
- Penetración Dinámica Ligera DPL
- Proctor Estandar (ASTM D698)

A continuación, se muestra el cuadro resumen de los resultados de laboratorio

Tabla 8  
Resumen de ensayos de suelos por calicata

CALICATA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD HÚMEDA gr/cm <sup>3</sup>	CONTENIDO HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA gr/cm <sup>3</sup>
CV-1	SP-SM	1,630	10,87	1,470
CV-2	SM	1,642	14,53	1,433
CV-3	SP-SM	1,762	19,73	1,471

CALICATA	CLASIF. SUCS	LIMITES DE ATTERBERG (%)			% HUMEDAD	PESO ESPECIFICO gr/cm <sup>3</sup>		PROCTOR ESTANDAR		DENSIDAD IN SITU gr/cm <sup>3</sup>
		LL	LP	IP		FINO	GRUESO	Y <sub>máx</sub> gr/cm <sup>3</sup>	W <sub>ópt</sub> %	
CV-4	SW-SM	N.P.	N.P.	N.P.	18,19	2,462	1,923	1,473	17,81	--
CV-5	SC	26	23	3	16,51	2,685	2,239	1,854	12,51	1,346
CV-6	SM	N.P.	N.P.	N.P.	6,88	2,651	2,143	1,745	14,99	--
CV-7	SC	44	38	6	21,42	2,475	1,978	1,432	23,36	1,243
CV-8	ML	N.P.	N.P.	N.P.	--	1,571	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se definieron 3 sectores críticos donde se evidencian deslizamientos antiguos de suelo y por los cuales atravesará la línea de conducción Vilachauillani, estos son:

**Sector 1:** Primera zona de deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+070 al km 41+170

**Sector 2:** Segunda zona de deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+225 al km 41+305

**Sector 3:** Tercera zona de deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+380 al km 41+475

- **Geología**

Se realizaron perfiles transversales representativos A-A', B-B' y C-C', donde se define la estratigrafía del subsuelo, presencia del nivel freático.

- **Geotecnia**

Se realizó de la siguiente manera:

- Se ha realizado un retroanálisis para ajustar los parámetros obtenidos del suelo como son ángulo de fricción y cohesión, de acuerdo a las condiciones observadas en el terreno, los cuales se utilizarán para el análisis geotécnico.
- Cálculo del factor de seguridad del talud de corte y capacidad portante del suelo de fundación en cada sector.
- Cálculo de la carga actuante sobre la cimentación.
- Análisis de resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada uno de los sectores críticos identificados:

### 5.1 Sector 1: Progresivas km 41+070 al km 41+170

- **Geología**

**Perfil A:** Este perfil representa al deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+070 al km 41+170

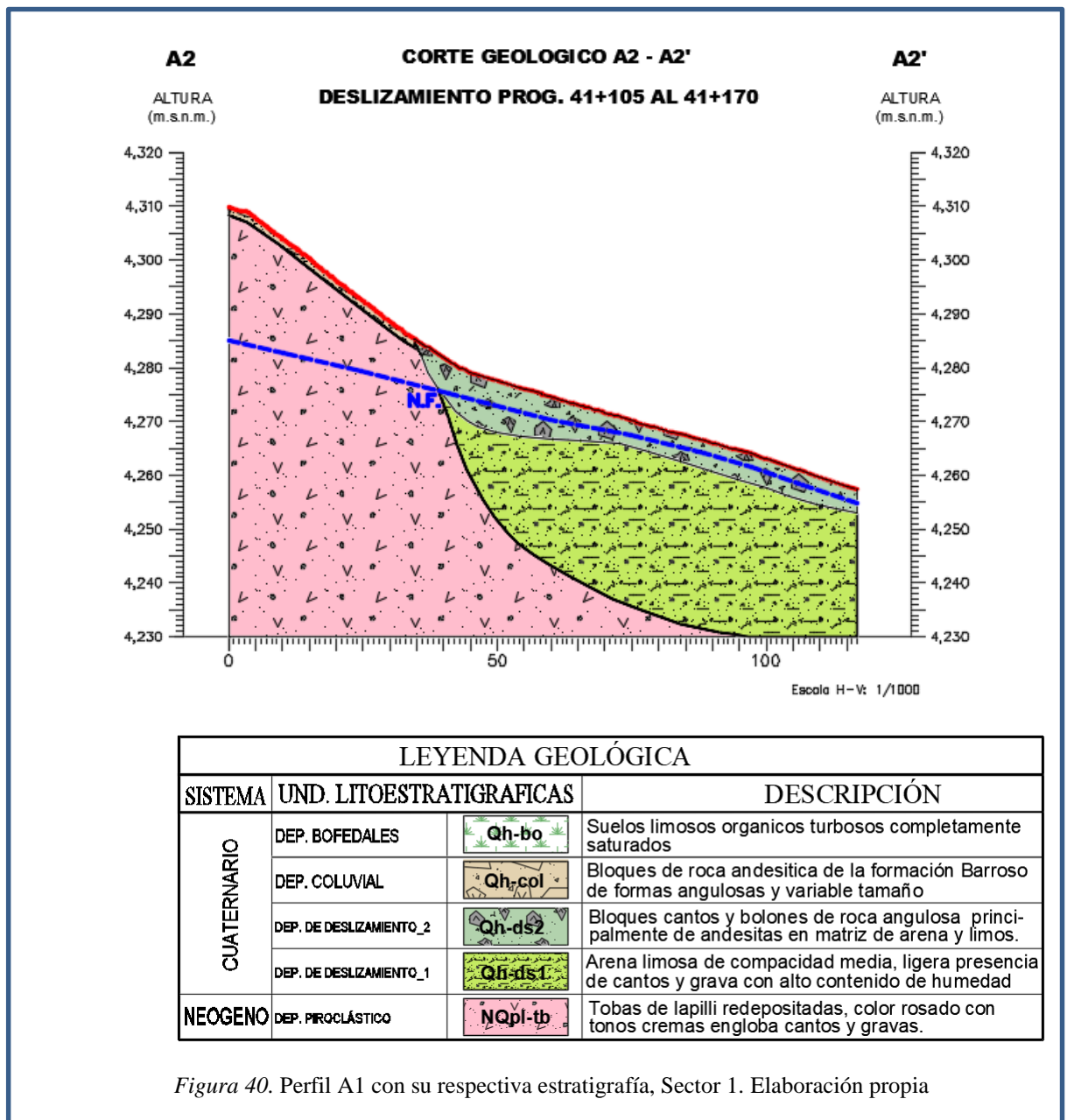


Figura 40. Perfil A1 con su respectiva estratigrafía, Sector 1. Elaboración propia

- **Geotecnia**

### **Retroanálisis**

Los parámetros iniciales obtenidos de los análisis de laboratorio para el cálculo del F.S. global del talud se muestran en la Tabla 9, se realizó el análisis de estabilidad del talud global del deslizamiento antiguo (Sector 1) en un escenario SIN PROYECTO obteniéndose un F.S. <1, calificado como inestable.

Tabla 9

*Parámetros geotécnicos del Sector 1, progresivas km 41+070 al km 41+105, Sin Proyecto*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m3)</b>	<b>PESO UNITARIO SECO (kN/m3)</b>	<b>COHESIÓN (kPa)</b>	<b>Angulo de Fricción (°)</b>	<b>F.S. Condicion Pseudo estática</b>
Dep. Deslizamiento 2	15,98	14,41	0	34,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	0	28,2	0,92
Dep. Piroclástico	17,75	14,2	21	16,84	

*Fuente:* Elaboración propia

Por lo cual se ajustaron los parámetros de resistencia para obtener un talud global estable segun las condiciones observadas en campo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10

*Parámetros corregidos del Sector 1, progresivas km 41+070 al km 41+105, Sin Proyecto*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m3)</b>	<b>PESO UNITARIO SECO (kN/m3)</b>	<b>COHESIÓN (kPa)</b>	<b>Angulo de Fricción (°)</b>	<b>F.S. Condicion Pseudo estática</b>
Dep. Deslizamiento 2	15,98	14,41	5	34,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	10	28,2	1,1
Dep. Piroclástico	-	15,00	21	25°	

*Fuente:* Elaboración propia

## Estabilidad de Taludes

Para el canal se tomaron taludes conservadores de acuerdo al tipo de material como se ve en la tabla 11, posteriormente se realizó el análisis de estabilidad de los taludes en un escenario CON PROYECTO para la ejecución del canal Vilachaulani.

Tabla 11  
*Talud de Corte del canal, Sector 1*

MATERIAL	Talu d de Corte	G rados
	H : V	
Dep. Deslizamiento 2	1.5 : 1	3 4°
Dep. Piroclástico	1/2 : 1	6 3°

Fuente: Elaboración propia

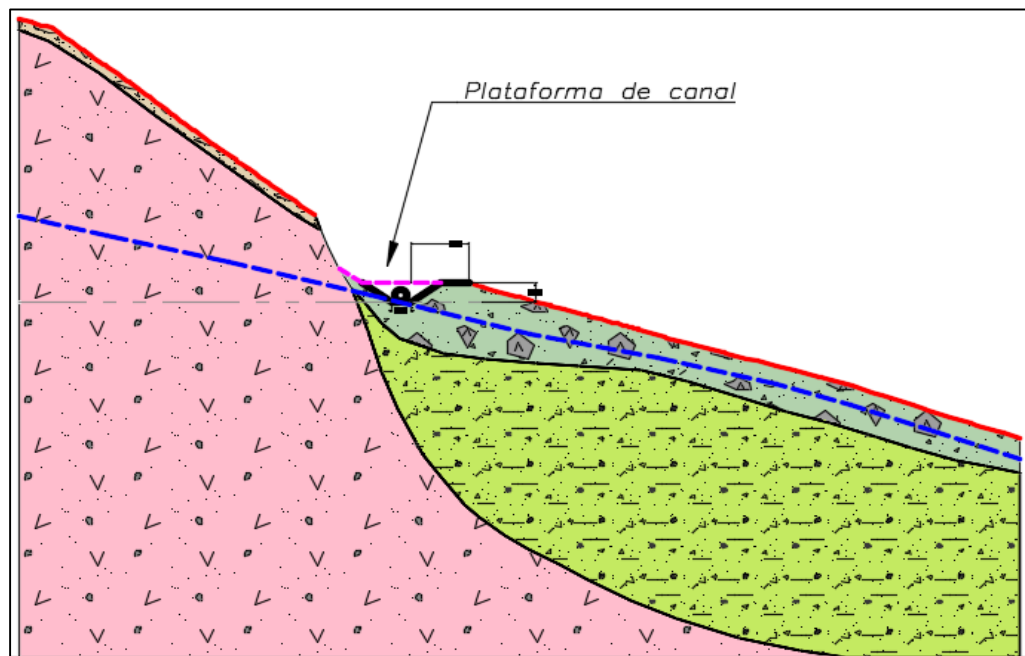


Figura 41. Perfil A. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en Sector 1. Elaboración propia.

Se calcularon los Factores de Seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas para un escenario CON PROYECTO, utilizando los métodos de Ordinario o Fellenius, Bishop Simplificado y Janbu Simplificado (ver Anexos C y D), a continuación se muestran los análisis de equilibrio limite mediante el software Slide 6.0:

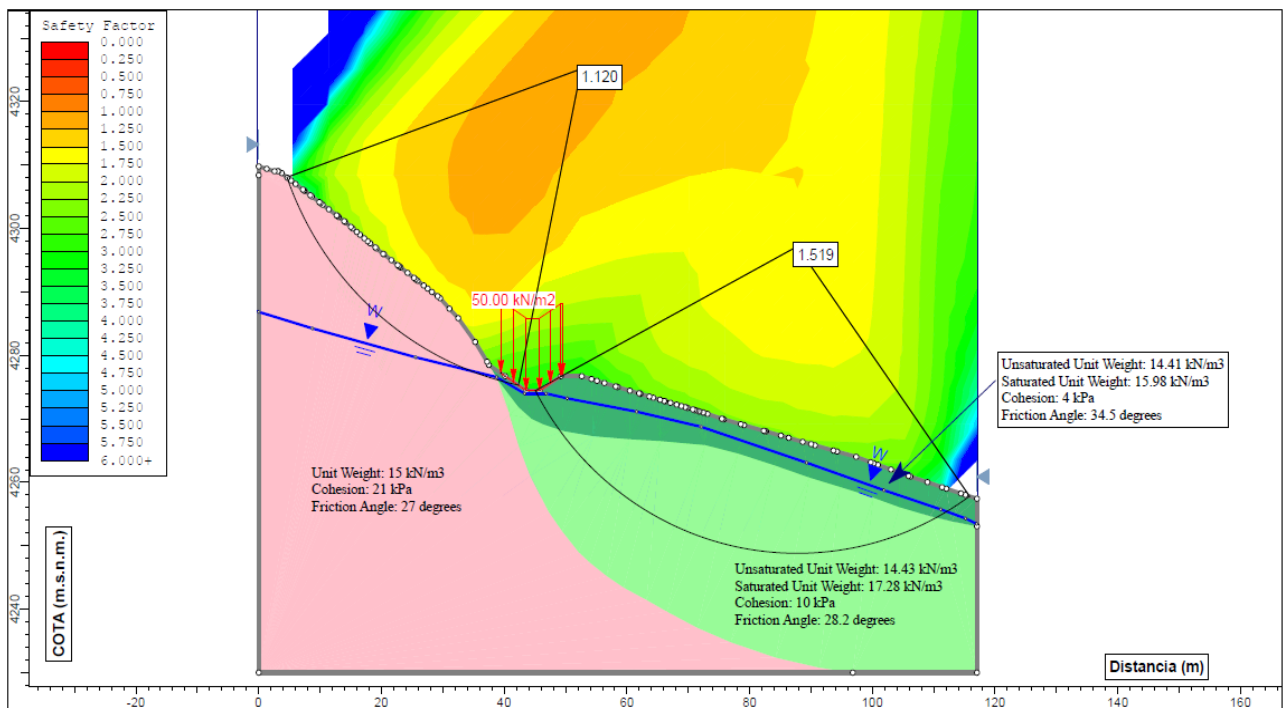


Figura 42. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo C)

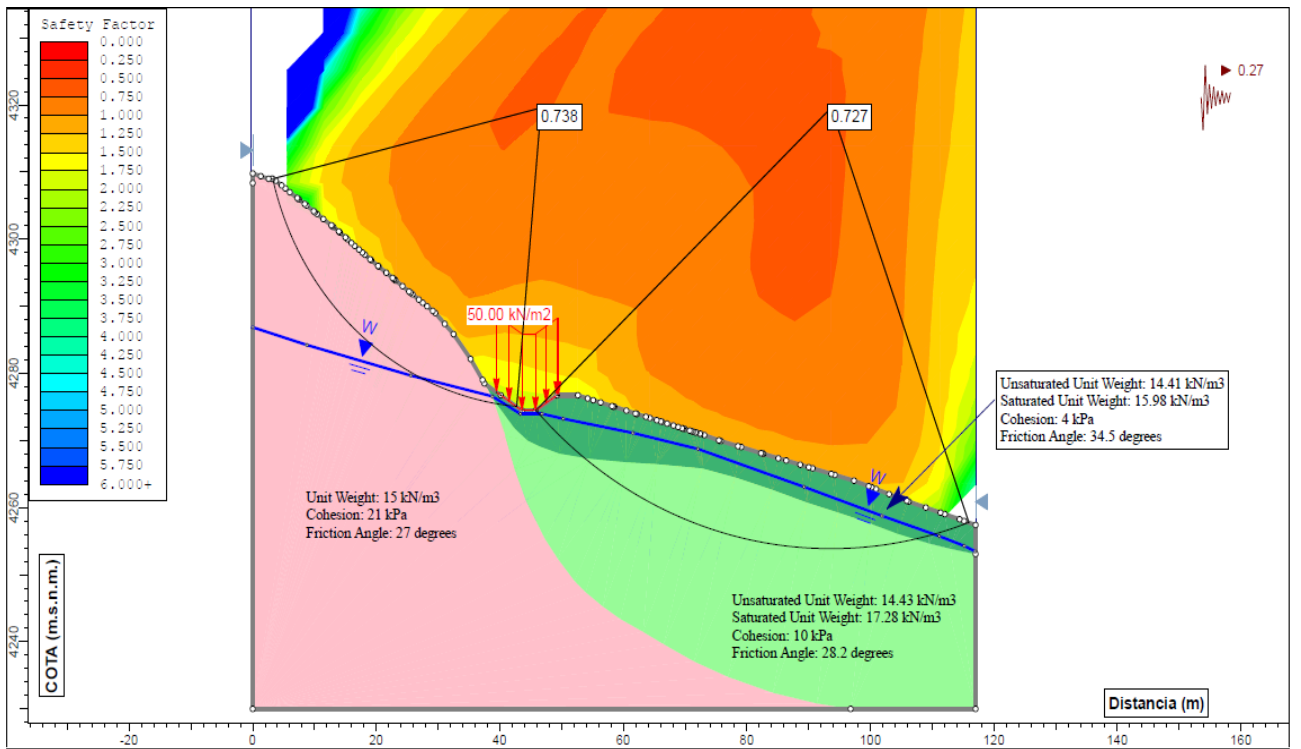


Figura 43. Análisis pseudoestático por el método de Fellenius, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo D)

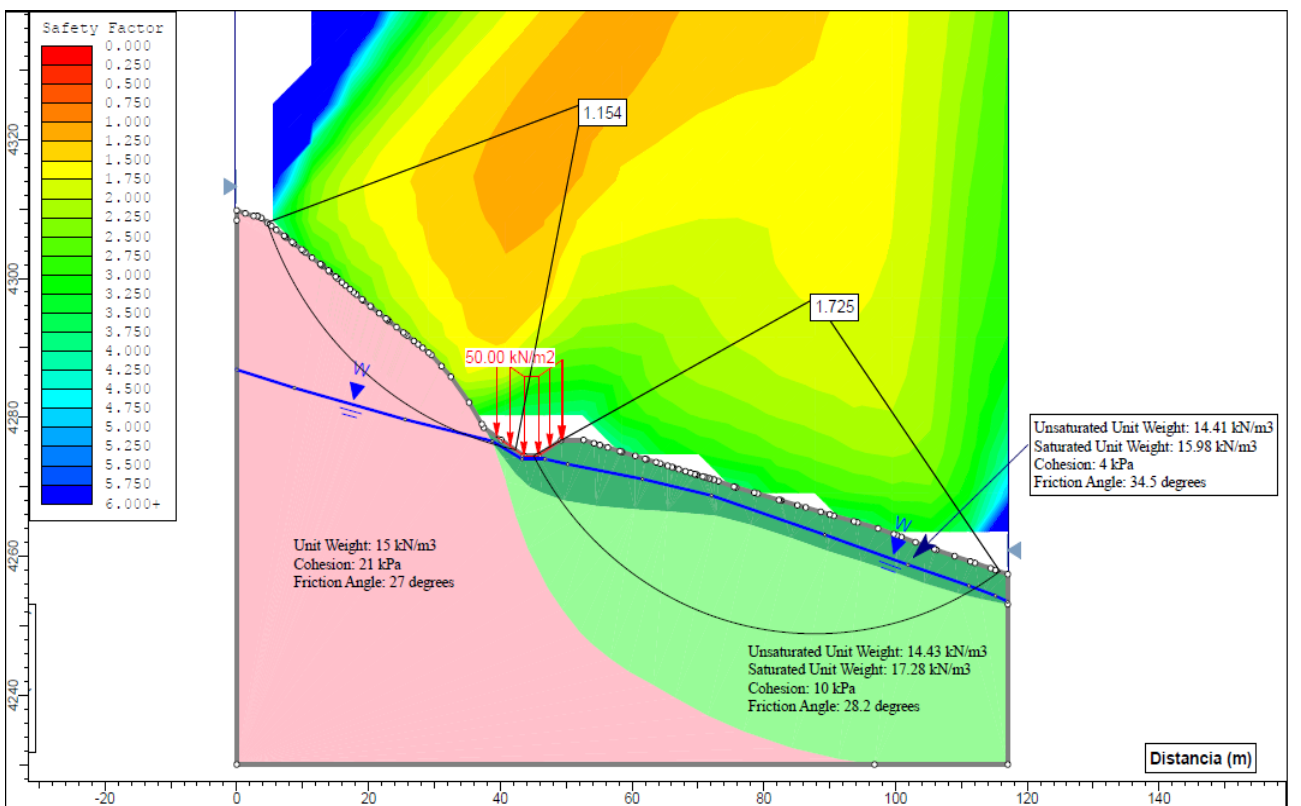


Figura 44. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo C)

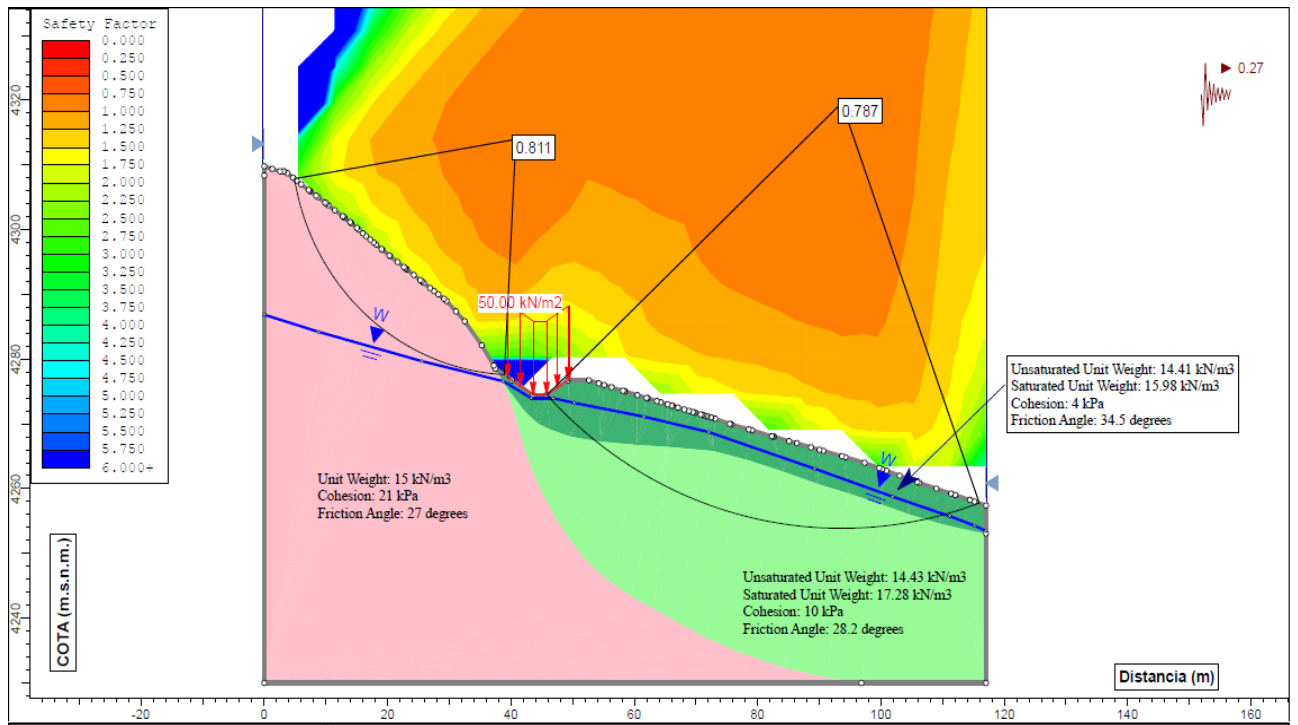


Figura 45. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo D)

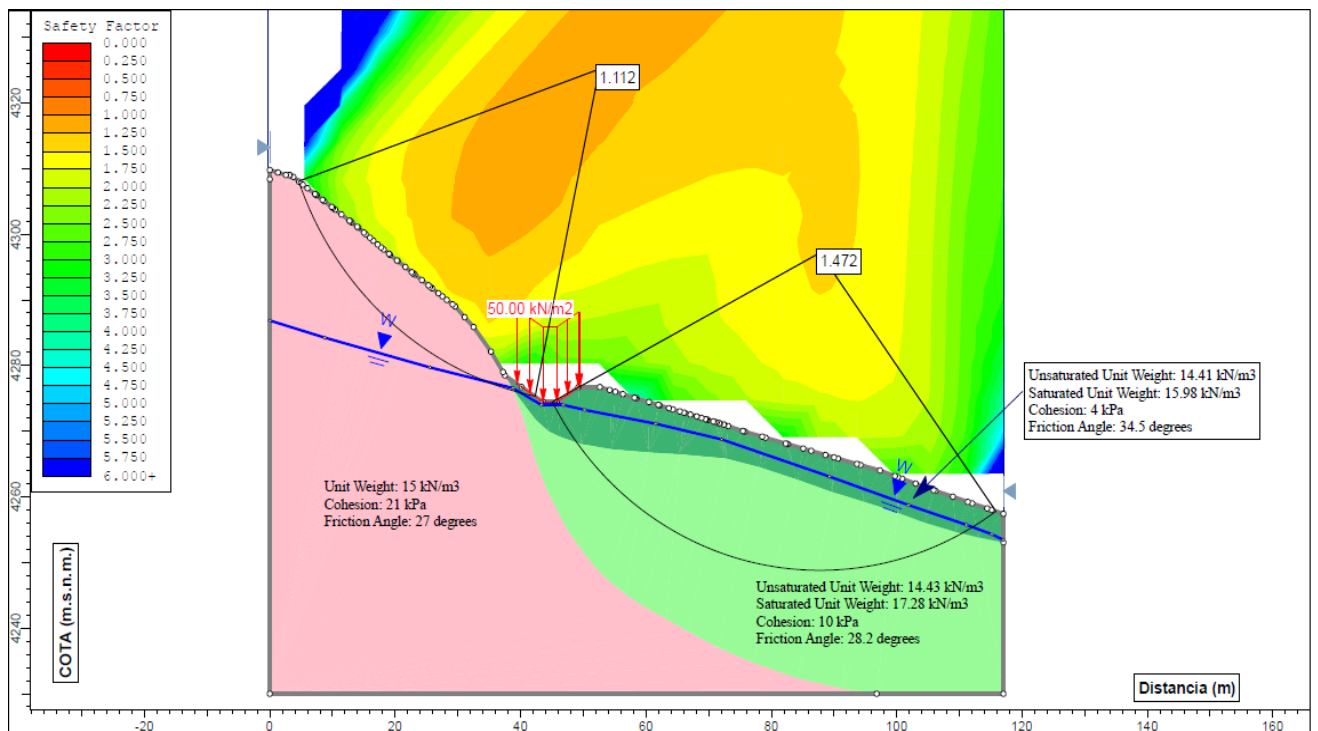


Figura 46. Análisis estático por el método de Janbu, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo C)

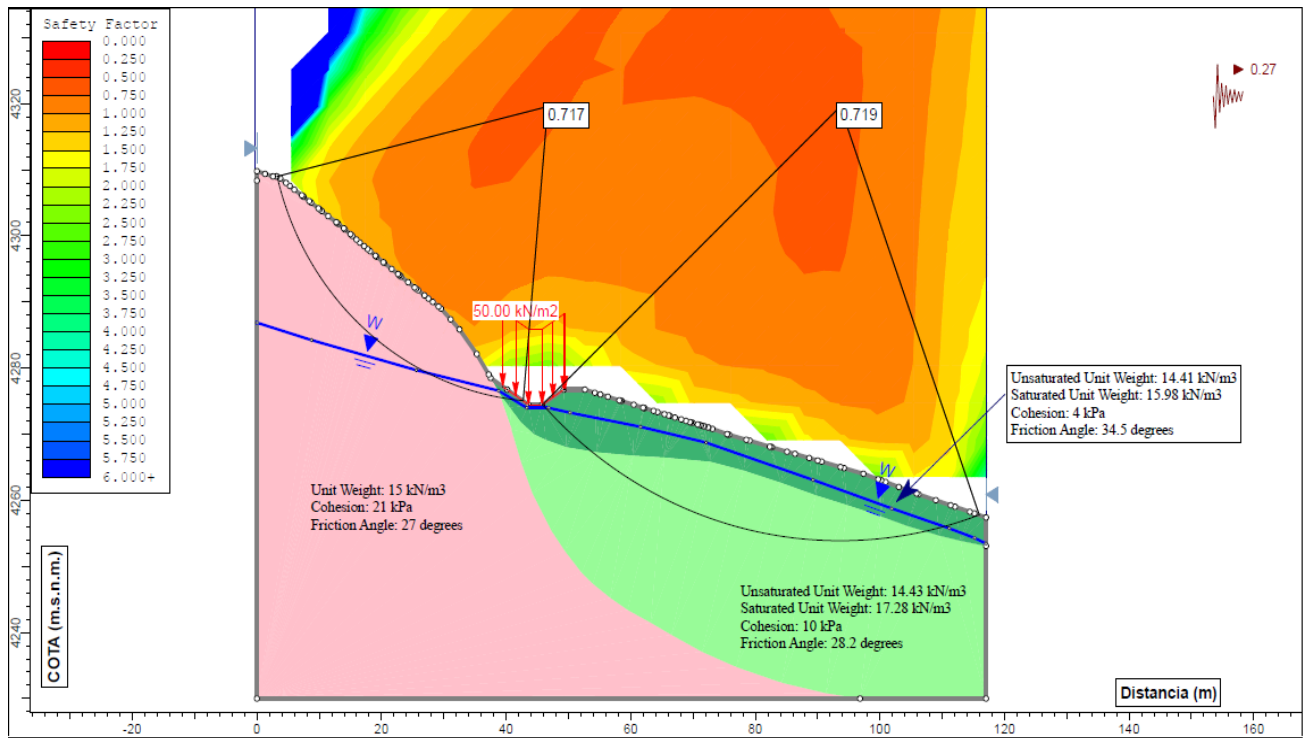


Figura 47. Análisis pseudoestático por el método de Janbu, perfil A-A', sector 1. Elaboración propia (Anexo D)

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12

*Factores de seguridad en el Perfil A-A', Sector 1 con proyecto*

Perfil A-A', Prog. Km 41+070 - Prog. Km 41+170				
Método	F.S. Condición Estática		F.S. Condición Pseudoestática	
	Margen derecha	Margen Izquierda	Margen Derecha	Margen Izquierda
Fellenius	1,120	1,519	0,738	0,727
Bishop Simplificado	1,154	1,725	0,811	0,787
Janbu Simplificado	1,112	1,472	0,717	0,719

*Fuente:* Estabilidad de taludes análisis estático y pseudoestático (Anexos C y D) de la tesis.

## Capacidad Portante

### Cálculo de la Capacidad Portante de la Fundación

- SECTOR 1 (Prog. 41+105 – 41+170)

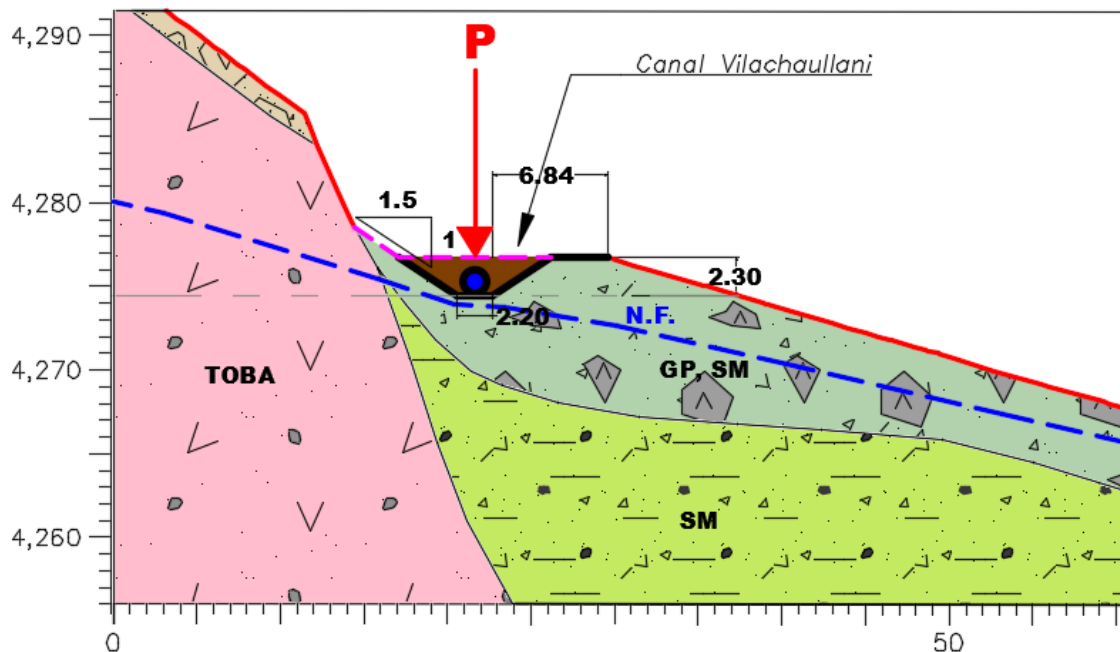


Figura 48. Perfil representativo del terreno para capacidad portante, Sector 1. Elaboración propia

#### i. Datos Generales

- Angulo de fricción:  $\phi = 34,50^\circ$
- Peso específico del suelo  $\gamma = 14,41 \text{ kN/m}^3$
- Factor de Seguridad  $FS = 3$
- Profundidad de desplante  $D_f = 2,30 \text{ m}$
- Base Cimentación  $B = 2,20 \text{ m}$
- Pendiente de Ladera  $\beta = 16^\circ$
- Ang. de fricción (falla local)  $\phi' = 24,61^\circ$
- Cohesión (falla local)  $c' = 0,05 \text{ kg/cm}^2$
- Altura talud  $H = 20 \text{ m}$

ii. Condición Capacidad Portante en Ladera

- ✓  $X_b$  = Distancia borde del cimiento a cresta del talud

$$\text{Condición: } X_b < 4B = X_b < 8,80 \text{ m}$$

$$X_b = 6,84 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

- ✓ Factores de Capacidad Portante en Ladera:

$$NqL = Kp \exp[(\pi - 2\beta) \tan \phi']$$

$$NqL = 2,42 \exp[2,583 * \tan 24,61]$$

$$NqL = 7,900$$

$$NcL = (NqL - 1) \cot \phi'$$

$$NcL = (7,900 - 1) \cot 24,61$$

$$NcL = 15,063$$

$$N\gamma L = 2(NqL - 1) \tan \phi'$$

$$N\gamma L = 2(7,900 - 1) \tan 24,61$$

$$N\gamma L = 6,321$$

- ✓  $H_{min}$  = Altura mínima del talud

$$\text{Condición: } H_{min} = Df + Lp \text{ sen } \beta$$

$$Lp = B (NqL)^{0.5} \text{ (Longitud de cuña pasiva)}$$

$$Lp = 2,20 (8,834)^{0.5}$$

$$Lp = 6,54 \text{ m}$$

$$H_{min} = 2,30 + 6,54 \text{ sen } 16$$

$$H_{min} = 4,10 \text{ m}$$

$$4,10 \text{ m} < 20 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

iii. Capacidad de carga por nivel freático

✓  $qL =$  Sobrecarga externa ladera

$$qL = \gamma * Df * \cos \beta$$

$$qL = 0.00147 * 230 * \cos 16$$

$$qL = 0,325 \text{ Kg/cm}^2$$

✓  $\gamma =$  factor peso unitario suelo

$$\gamma = \gamma' + \frac{d}{B} * (\gamma - \gamma')$$

$$\gamma = 0,00063 + \frac{100}{220} * (0,00147 - 0,00063)$$

$$\gamma = 0,0010 \text{ kg/cm}^3$$

iv. Capacidad de carga última en Ladera

$$quL = c NcL + qL * NqL + 0.5 * \gamma * B * N\gamma L$$

$$qu = 0,05 * 15,063 + 0,325 * 7,900 + 0,5 * 0,0010 * 220 * 6,321$$

$$qu = 4,015 \text{ Kg/cm}^2$$

v. Capacidad admisible

$$qadm = \frac{qu}{FS}$$

$$qadm = \frac{4,015}{3}$$

$$qadm = 1,338 \text{ Kg/cm}^2$$

vi. Capacidad de carga última neta

$$qneta(u) = \frac{qu - qL}{FS}$$

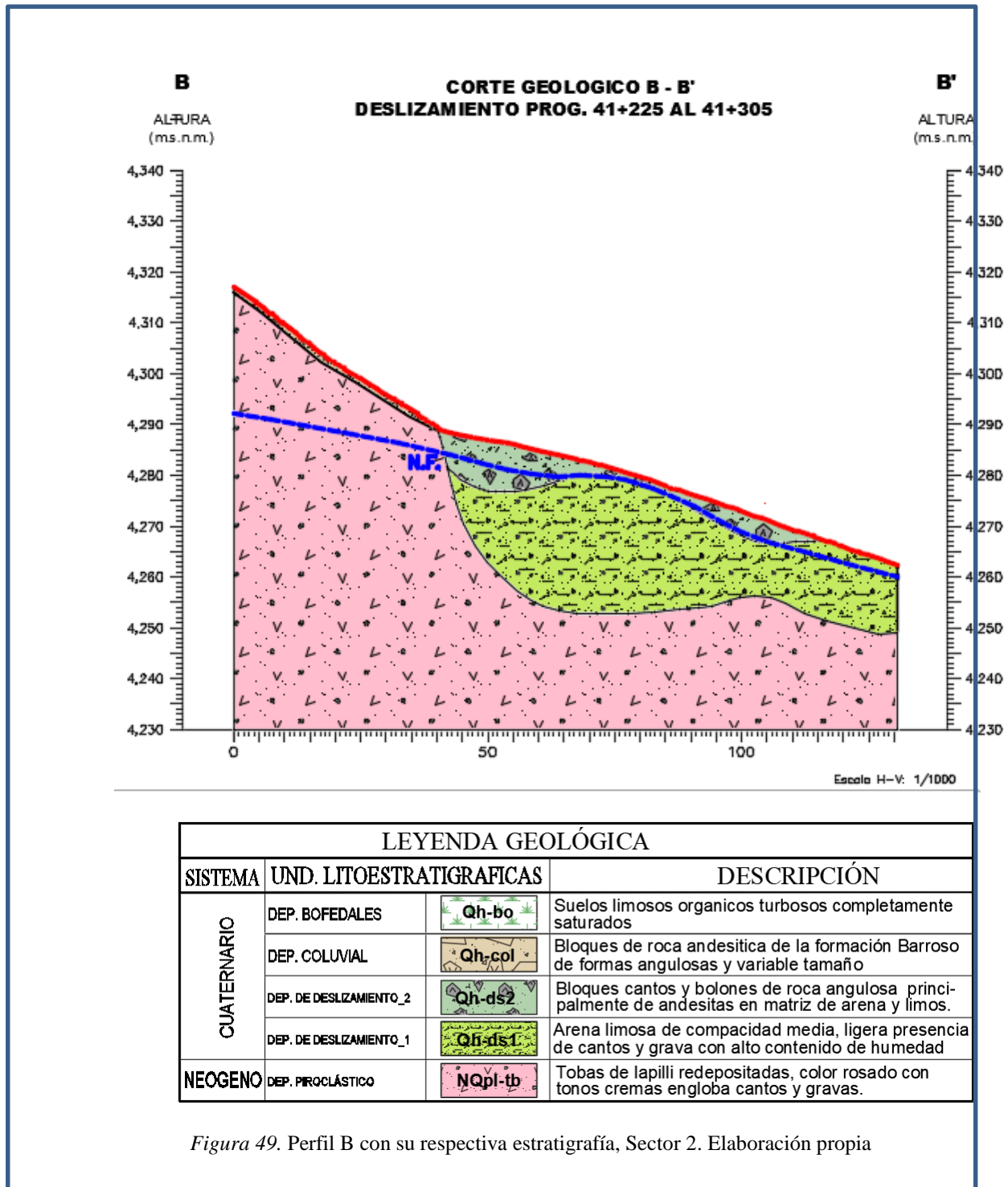
$$qneta(u) = \frac{4,015 - 0,325}{3}$$

$$qneta(u) = 1,230 \text{ Kg/cm}^2$$

## 5.2 Sector 2: Progresivas km 41+225 al km 41+305

- Geología

**Perfil B:** Este perfil representa al deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+070 al km 41+105



- **Geotecnia**

### **Retroanálisis**

Los parámetros iniciales obtenidos de los análisis de laboratorio para el cálculo del F.S. global del talud se muestran en la Tabla 13, se realizó el análisis de estabilidad del talud global del deslizamiento antiguo (Sector 2) en un escenario SIN PROYECTO obteniéndose un F.S. <1 en condiciones pseudoestáticas, calificado como inestable.

**Tabla 13**

*Parámetros geotécnicos del Sector 2, progresivas km 41+225 al km 41+305 Sin Proyecto*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m3)</b>	<b>PESO UNITARIO SECO (kN/m3)</b>	<b>COHESIÓN (kPa)</b>	<b>Angulo de Fricción (°)</b>	<b>F.S. Condición Pseudo estática</b>
Dep. Deslizamiento 2	14,05	16,10	0	37,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	0	28,2	0,88
Dep. Piroclástico	17,75	14,2	21	16,84	

*Fuente:* Elaboración propia

Por lo cual se ajustaron los parámetros de resistencia para obtener un talud global estable según las condiciones observadas en campo, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 14**

*Parámetros corregidos del Sector 2, progresivas km 41+225 al km 41+305 Sin Proyecto*

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m3)</b>	<b>PESO UNITARIO SECO (kN/m3)</b>	<b>COHESIÓN (kPa)</b>	<b>Angulo de Fricción (°)</b>	<b>F.S. Condición Pseudo estática</b>
Dep. Deslizamiento 2	14,05	16,10	5	37,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	10	28,2	1,1
Dep. Piroclástico	-	15,00	21	25°	

*Fuente:* Elaboración propia

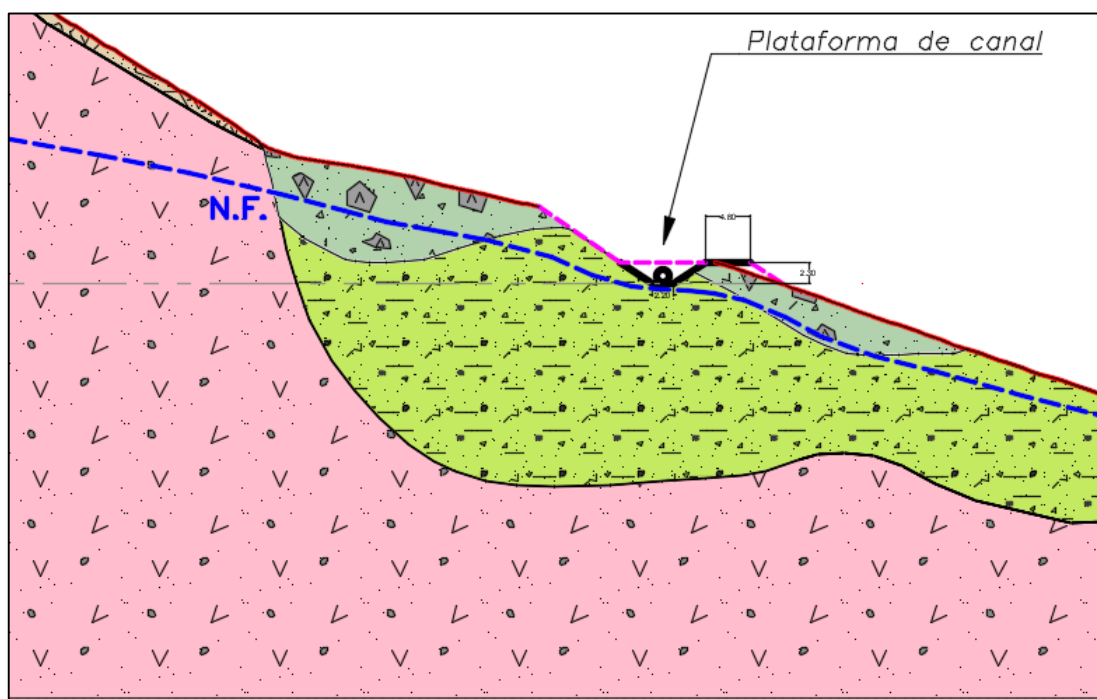
## Estabilidad de Taludes

Para el canal se tomaron taludes conservadores de acuerdo al tipo de material como se ve en la Tabla 15, posteriormente se realizó el análisis de estabilidad de los taludes en un escenario CON PROYECTO para la ejecución del canal Vilachauhani.

Tabla 15  
*Talud de Corte del canal, Sector 2*

MATERIAL	Talud de Corte H : V	Grados
Dep. Deslizamiento 2	1.5 : 1	34°
Dep. Deslizamiento 1	1.5 : 1	34°

*Fuente:* Elaboración propia



*Figura 50.* Perfil B. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en el Sector 2. Elaboración propia.

Se calcularon los Factores de Seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas para un escenario CON PROYECTO, utilizando los métodos de Ordinario o Fellenius, Bishop Simplificado y Janbu Simplificado (ver Anexos C y D), a continuación se muestran los análisis de equilibrio límite mediante el software Slide 6.0:

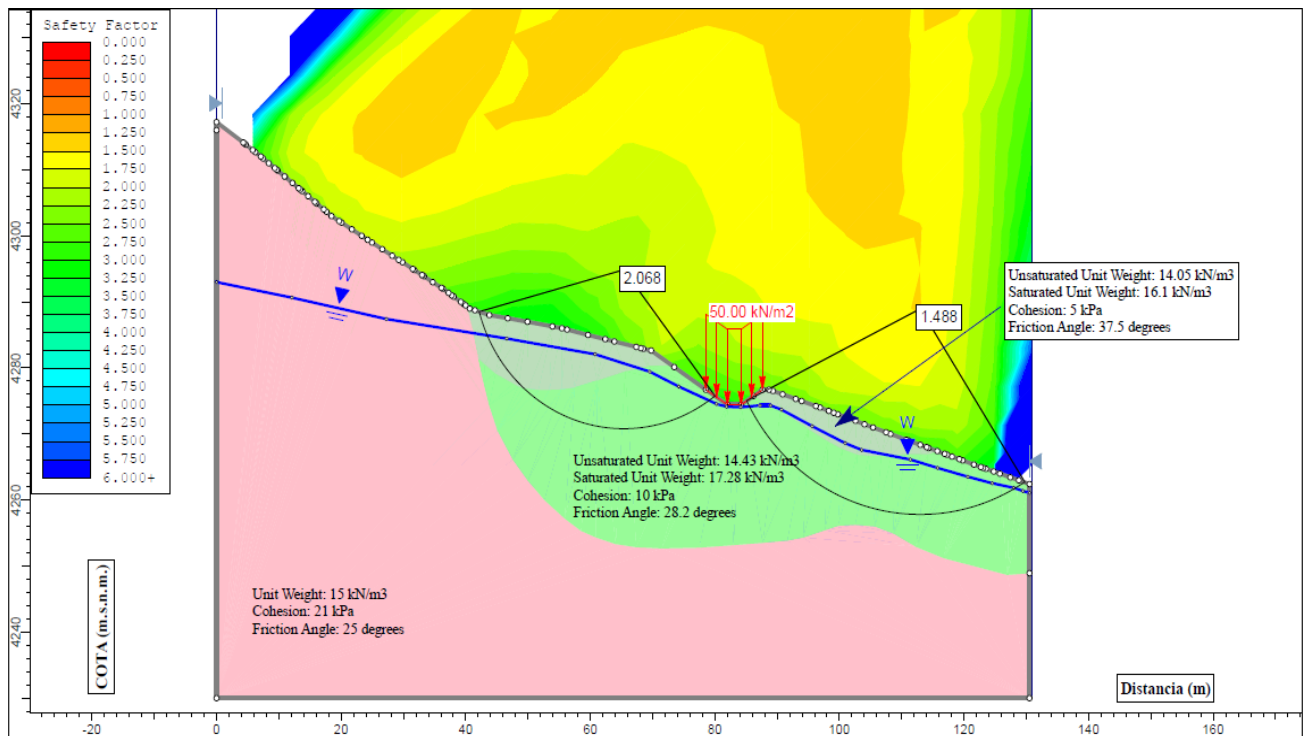


Figura 51. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo C)

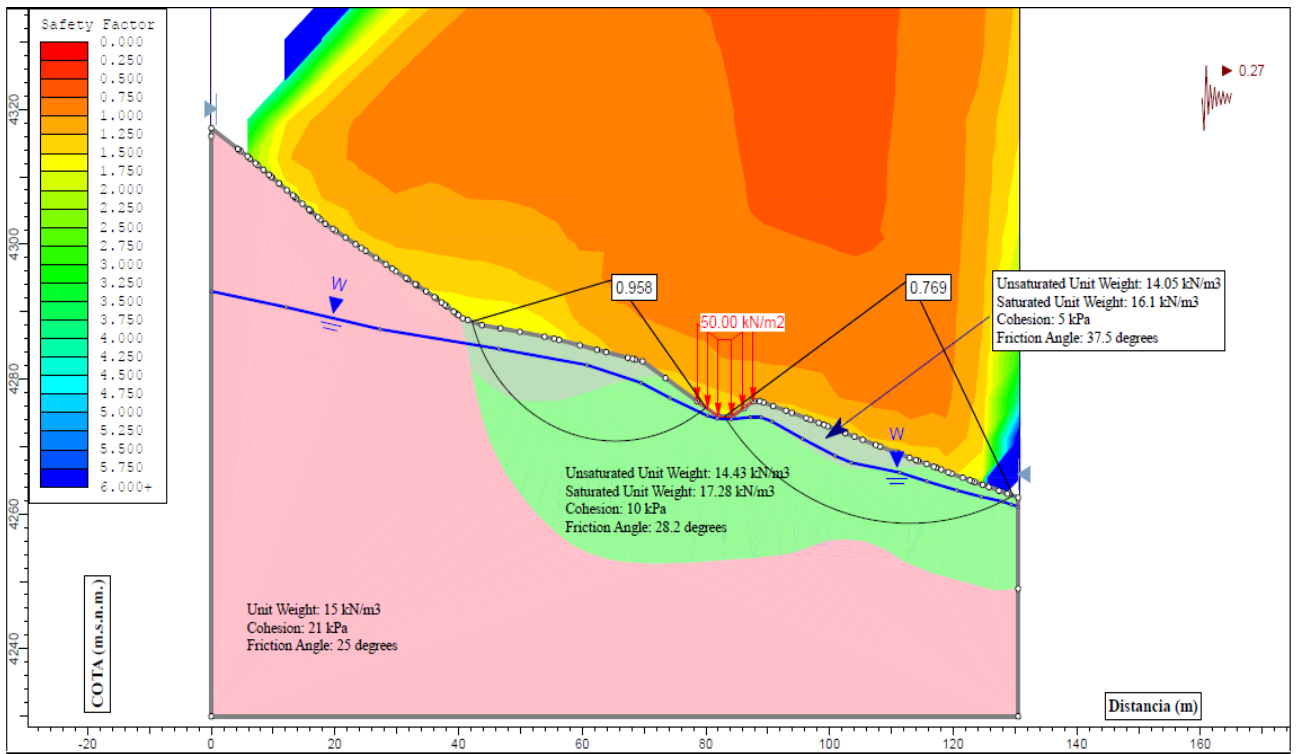


Figura 52. Análisis Pseudoestático por el método de Fellenius, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo D)

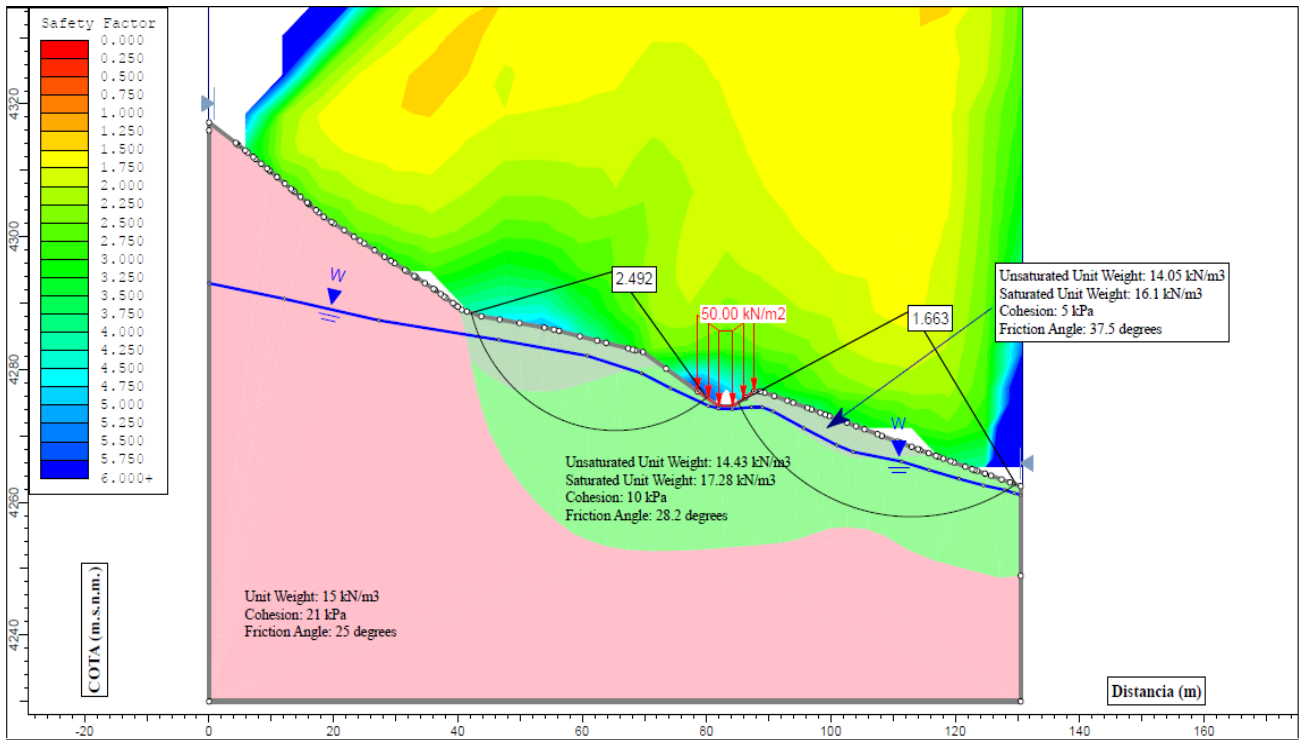


Figura 53. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo C)

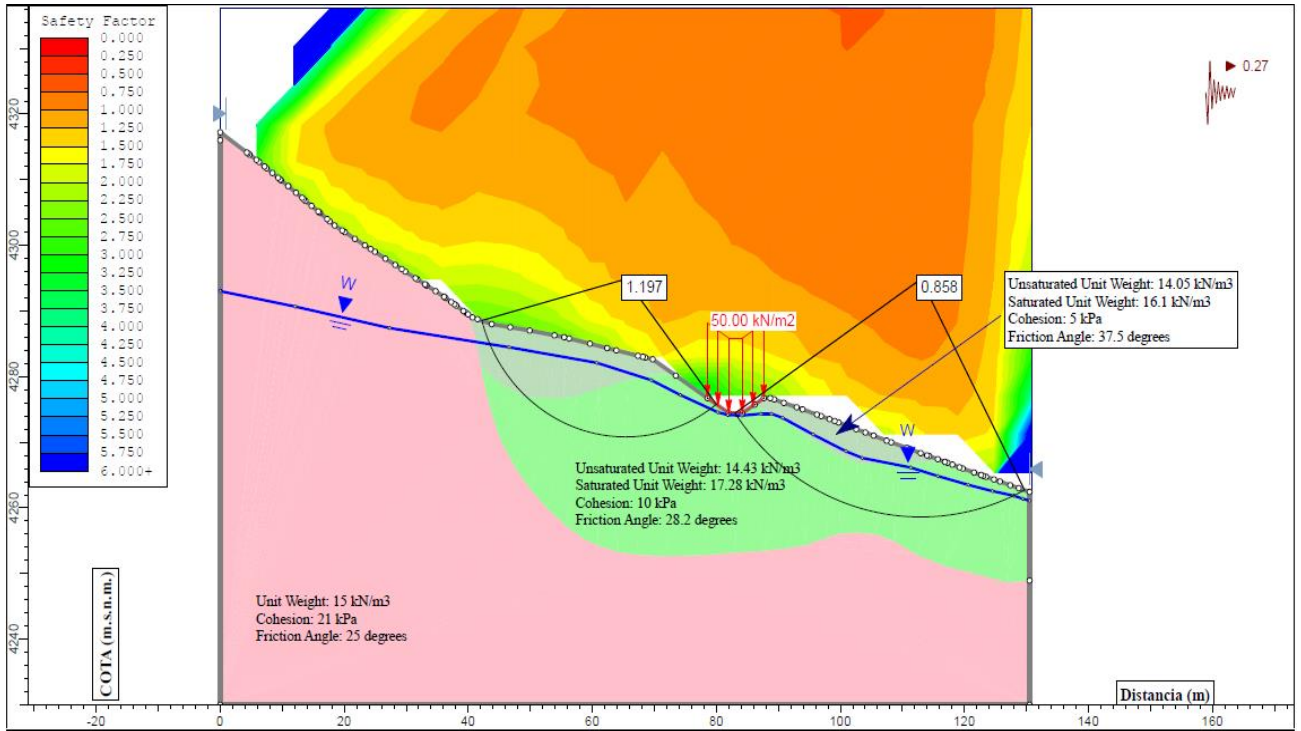


Figura 54. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo D)

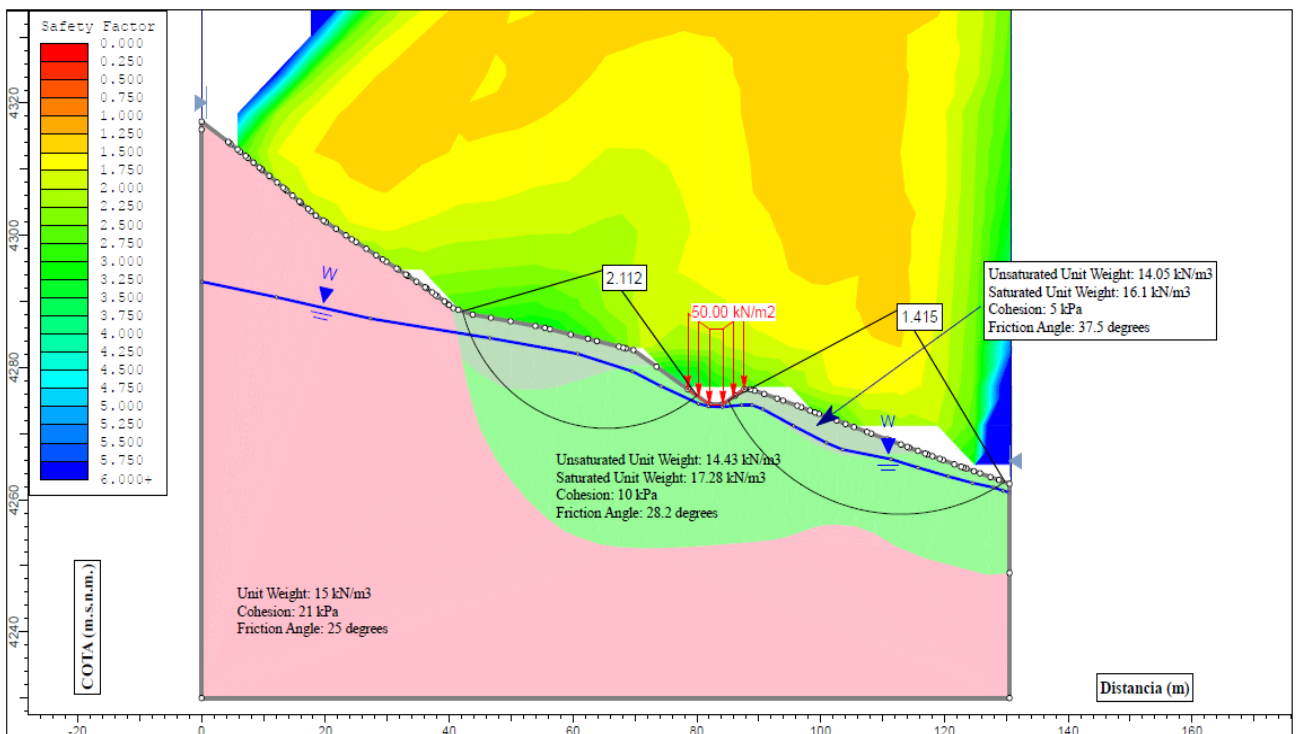


Figura 55. Análisis Estático por el método de Janbu, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo C)

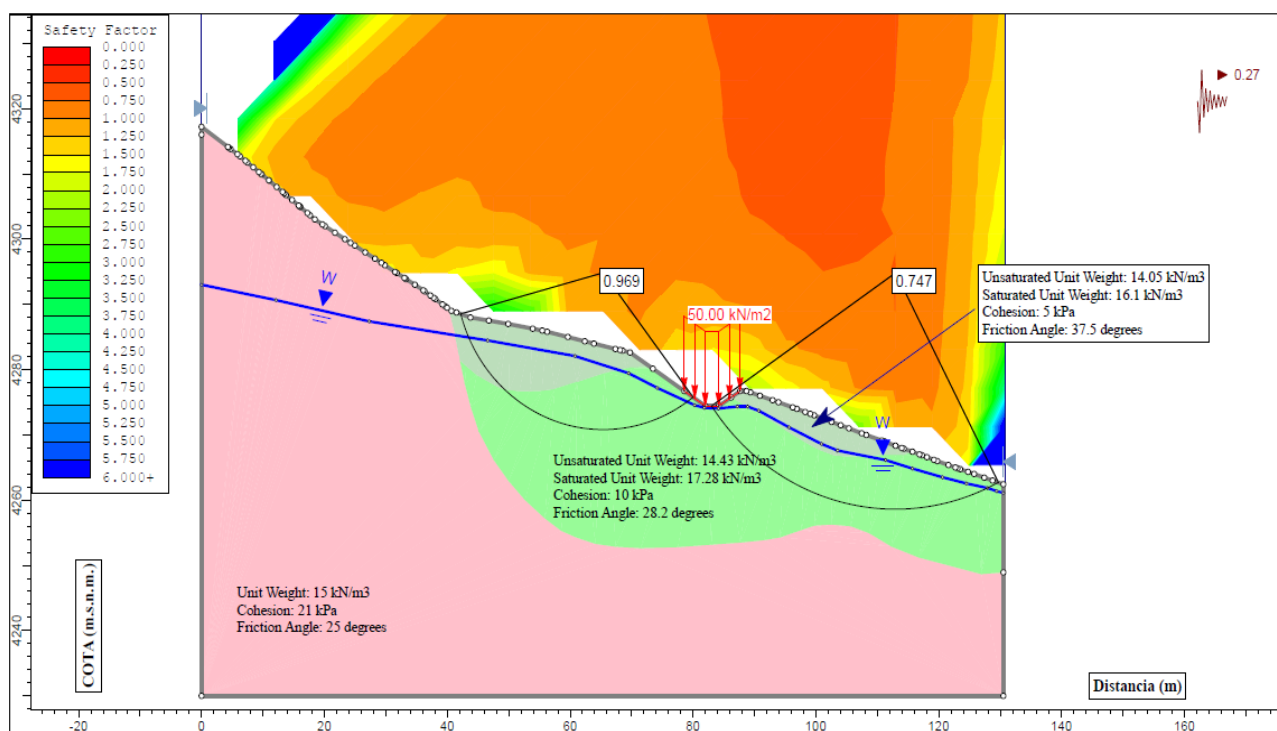


Figura 56. Análisis Pseudoestático por el método de Janbu, perfil B-B', sector 2. Elaboración propia (Anexo D)

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16  
Factores de seguridad en el Perfil B – B', Sector 2 con Proyecto.

Método	Perfil B-B', Prog. Km41+225 - Prog. Km 41+305			
	F.S. Condición Estática		F.S. Condición Pseudoestática	
	Margen derecha	Margen Izquierda	Margen Derecha	Margen Izquierda
Fellenius	2,068	1,488	0,958	0,769
Bishop Simplificado	2,492	1,663	1,197	0,858
Janbu Simplificado	2,112	1,415	0,969	0,747

Fuente: Estabilidad de taludes análisis estático y pseudoestático (Anexos C y D) de la tesis.

## Capacidad Portante

### Cálculo de la Capacidad Portante de la Fundación

- SECTOR 2 (Prog. 41+225 – 41+305)

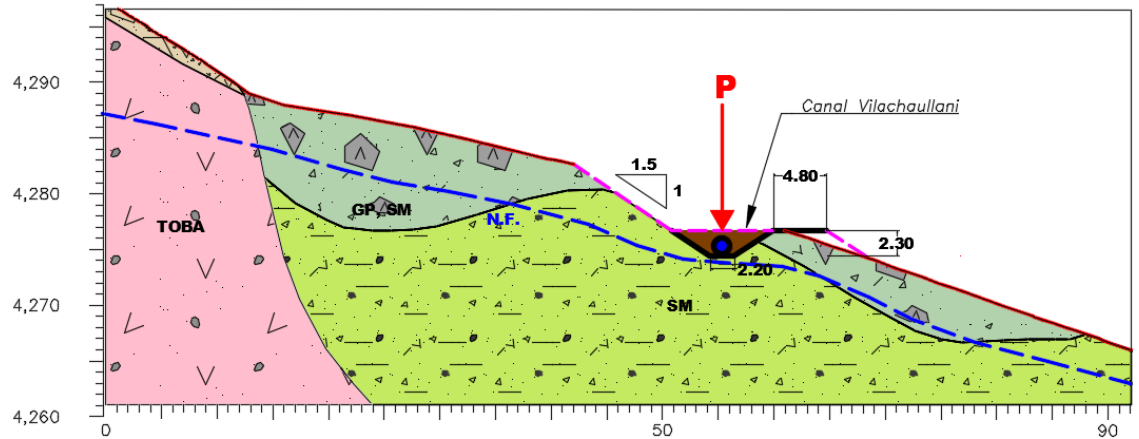


Figura 57. Perfil representativo para capacidad portante, Sector 2. Elaboración propia.

#### i. Datos Generales

- Angulo de fricción:  $\phi = 28,20^\circ$
- Peso específico del suelo saturado  $\gamma = 17,28 \text{ KN/m}^3$
- Peso específico del primer estrato  $\gamma = 14,43 \text{ KN/m}^3$
- Factor de seguridad  $FS = 3$
- Profundidad de desplante  $D_f = 2,30 \text{ m}$
- Base Cimentación  $B = 0,50 \text{ m}$
- Pendiente de Ladera  $\beta = 20^\circ$
- Ang. de fricción (falla local)  $\phi' = 19,67^\circ$
- Altura talud  $H = 15 \text{ m}$

#### ii. Condición Capacidad Portante en Ladera

✓  $X_b$  = Distancia borde del cimiento a cresta del talud

Condición:  $X_b < 4B = X_b < 8,80 \text{ m}$

$$x_b = 4,87 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

✓ Factores de Capacidad Portante en Ladera:

$$NqL = Kp \exp[(\pi - 2\beta) \tan \phi']$$

$$NqL = 2.01 \exp[2.44 * \tan 19.67]$$

$$NqL = 4,808$$

$$NcL = (NqL - 1) \cot \phi'$$

$$NcL = (4,808 - 1) \cot 19,67$$

$$NcL = 10,652$$

$$N\gamma L = 2(NqL - 1) \tan \phi'$$

$$N\gamma L = 2(4,808 - 1) \tan 19,67$$

$$N\gamma L = 2,722$$

✓ Hmin = Altura mínima del talud

$$\text{Condición: } H_{min} = Df + Lp \text{ sen } \beta$$

$$Lp = B (NqL)^{0,5} \text{ (Longitud de cuña pasiva)}$$

$$Lp = 0,50 (4,808)^{0,5}$$

$$Lp = 1,10 \text{ m}$$

$$H_{min} = 2,30 + 1,10 \text{ sen } 20$$

$$H_{min} = 2,67 \text{ m}$$

$$2,67 \text{ m} < 15 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$$

iii. Capacidad de carga por nivel freático

✓  $qL$  = Sobrecarga Efectiva Ladera

$$qL = [D1 * \gamma + D2 * (\gamma_{sat} - \gamma_w)] \cos \beta$$

$$qL = [55 * 0,00143 + 175 * (0,00176 - 0,001)] \cos 20$$

$$qL = 0,199 \text{ Kg/cm}^2$$

✓  $\gamma$  = factor peso unitario suelo

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 0,00176 - 0,0010$$

$$\gamma' = 0,00076$$

iv. Capacidad de carga última en Ladera

$$q_u L = c N_c L + q L * N_q L + 0.5 * \gamma' * B * N_\gamma L$$

$$q_u = 0,06 * 10,652 + 0,199 * 4,808 + 0,5 * 0,00076 * 50 * 2,722$$

$$q_u = 1,647 \text{ Kg/cm}^2$$

v. Capacidad admisible

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{1,647}{3}$$

$$q_{adm} = 0,549 \text{ Kg/cm}^2$$

vi. Capacidad de carga última neta

$$q_{neta}(u) = \frac{q_u - q_L}{FS}$$

$$q_{neta}(u) = \frac{1,647 - 0,199}{3}$$

$$q_{neta}(u) = 0,482 \text{ Kg/cm}^2$$

### 5.3 Sector 3: Progresivas km 41+380 al km 41+475

- **Geología**

**Perfil C:** Este perfil representa al deslizamiento ubicado entre las progresivas km 41+380 al km 41+475

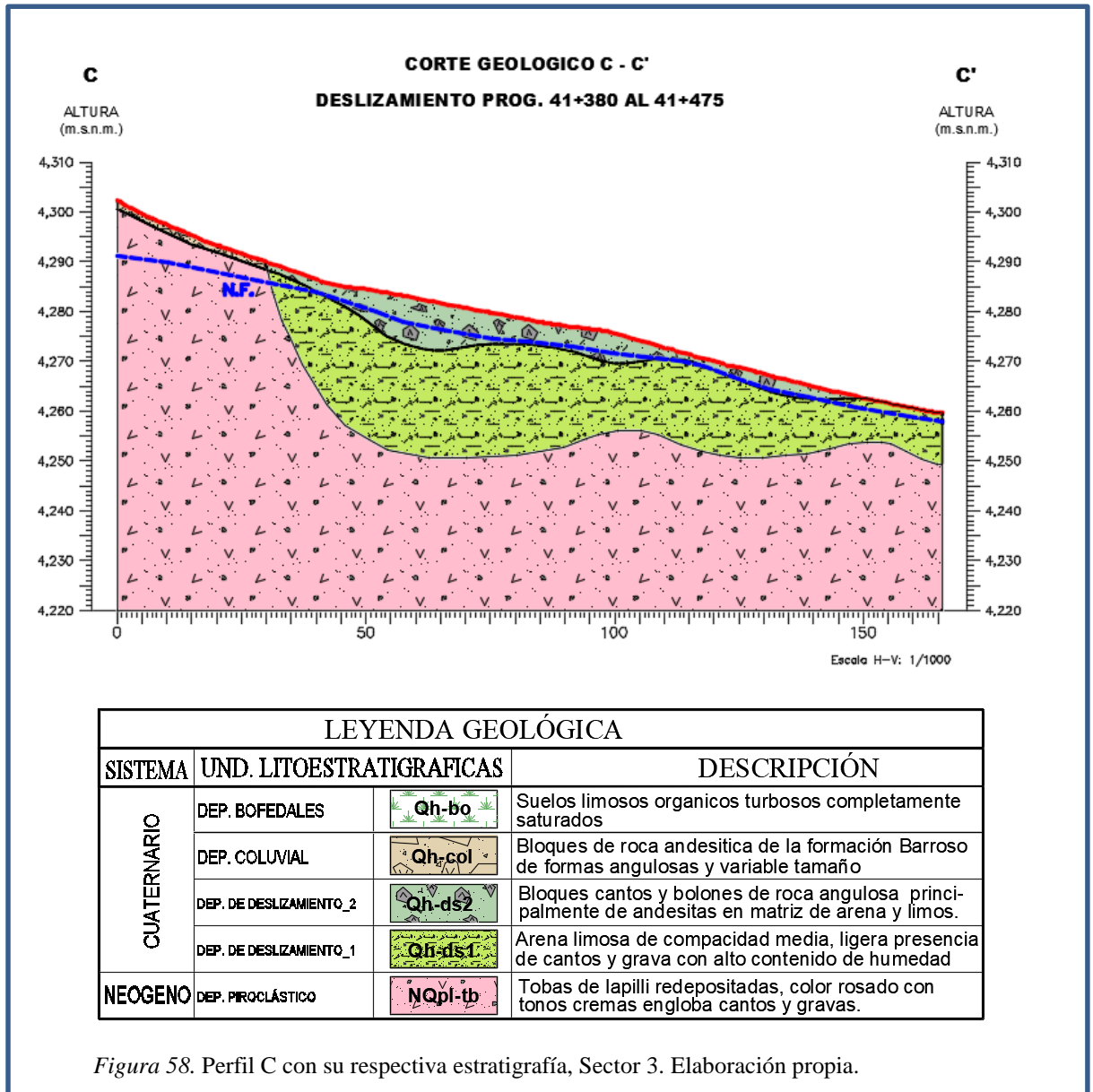


Figura 58. Perfil C con su respectiva estratigrafía, Sector 3. Elaboración propia.

- **Geotecnia**

**Retroanálisis**

Los parámetros iniciales obtenidos de los análisis de laboratorio para el cálculo del F.S. global del talud se muestran en la Tabla 17, se realizó el análisis de estabilidad del talud global del deslizamiento antiguo (Sector 3) en un escenario SIN PROYECTO obteniéndose un F.S. <1 en condiciones pseudoestáticas, calificado como inestable.

Tabla 17

*Parámetros geotécnicos del Sector 3, progresivas km 41+380 al km 41+475 Sin proyecto*

MATERIAL	PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO SECO (kN/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN (kPa)	Angulo de Fricción (°)	F.S. Condicion Pseudo estática
Dep. Deslizamiento 2	16,10	14,05	0	34,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	0	28,2	0,810
Dep. Piroclástico	17,75	14,2	21	16,84	

*Fuente:* Elaboración propia

Por lo cual se ajustaron los parámetros de resistencia para obtener un talud global estable como se encuentra el terreno actualmente, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18

*Parámetros corregidos del Sector 3, progresivas km 41+380 al km 41+475 Sin proyecto*

MATERIAL	PESO UNITARIO HUMEDO (kN/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO SECO (kN/m <sup>3</sup> )	COHESIÓN (kPa)	Angulo de Fricción (°)	F.S. Condicion Pseudo estática
Dep. Deslizamiento 2	16,10	14,05	5	34,50	
Dep. Deslizamiento 1	17,28	14,43	10	28,2	1,13
Dep. Piroclástico	-	15,00	21	25°	

*Fuente:* Elaboración propia

### **Estabilidad de Taludes**

Para el canal se tomaron taludes conservadores de acuerdo al tipo de material como se ve en la tabla 19, posteriormente se realizó el análisis de estabilidad de los taludes en un escenario CON PROYECTO para la ejecución del canal Vilachaullani.

Tabla 19  
Talud de Corte, Sector 3

MATERIAL	Talud de Corte H : V	Grados
Dep. Deslizamiento 2	1.5 : 1	34°
Dep. Deslizamiento 1	1.5 : 1	34°

Fuente: Elaboración propia

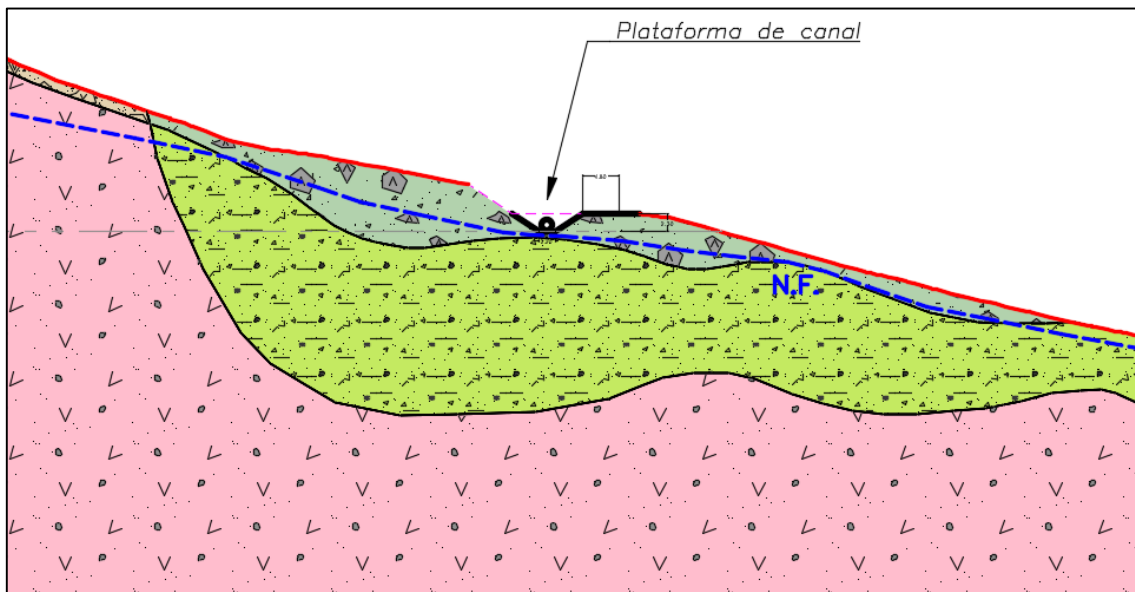


Figura 59. Perfil C. Corte de talud para análisis de estabilidad CON PROYECTO en el Sector 3. Elaboración propia.

Se calcularon los Factores de Seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas para un escenario CON PROYECTO, utilizando los métodos de Ordinario o Fellenius, Bishop Simplificado y Janbu Simplificado (ver Anexos C y D), a continuación se muestran los análisis de equilibrio límite mediante el software Slide 6.0:

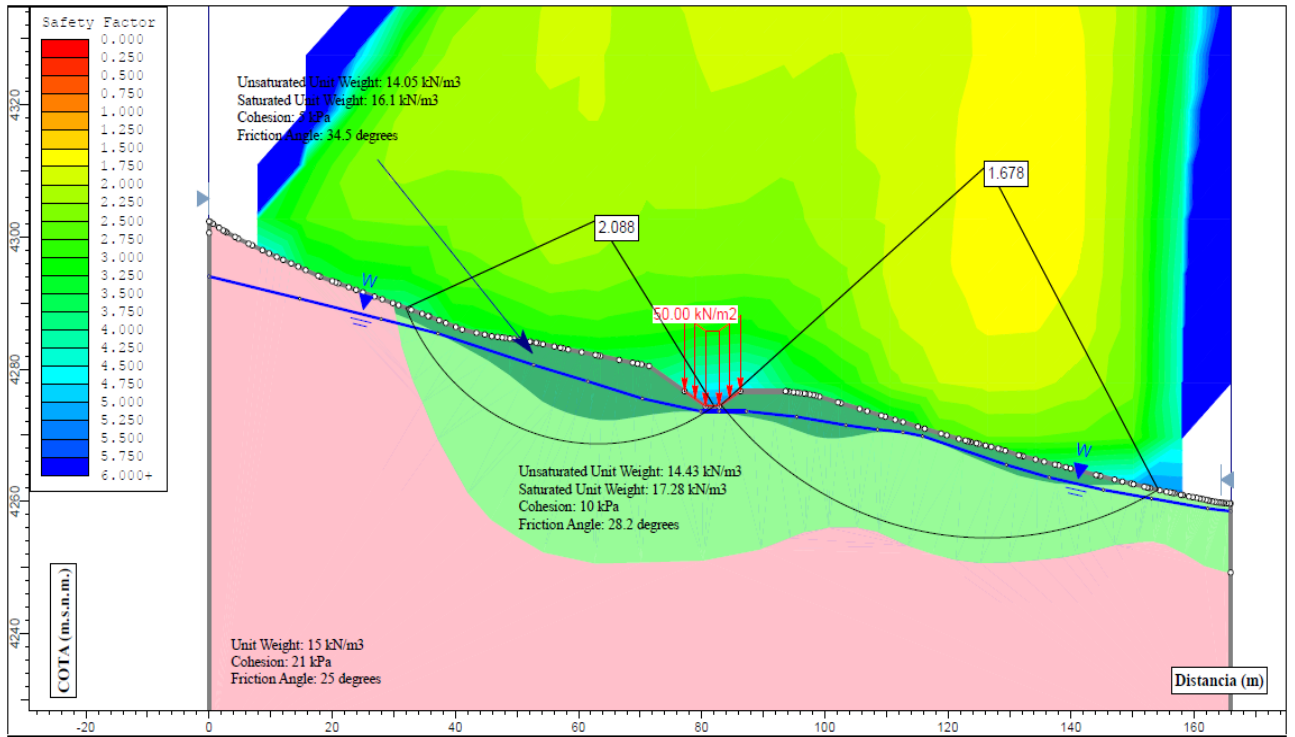


Figura 60. Análisis Estático por el método de Fellenius, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo C)

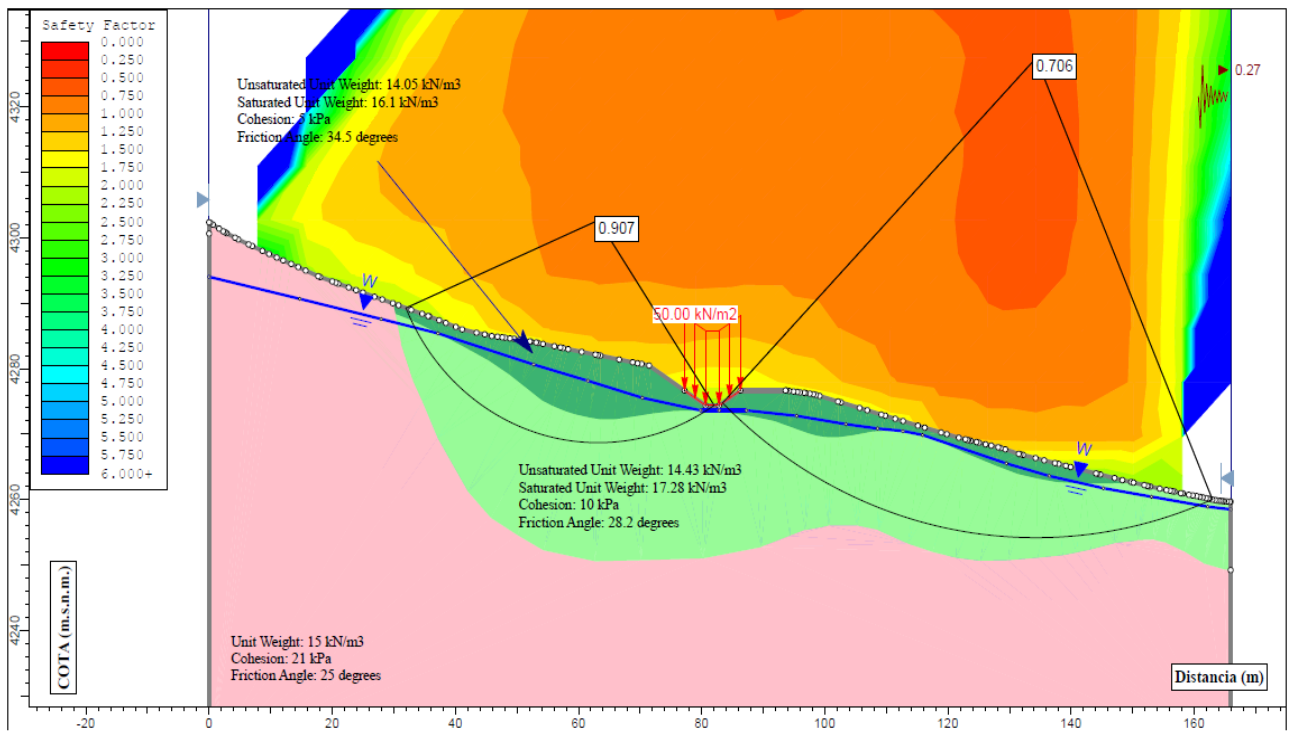


Figura 61. Análisis Pseudoestático por el método de Fellenius, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo D)

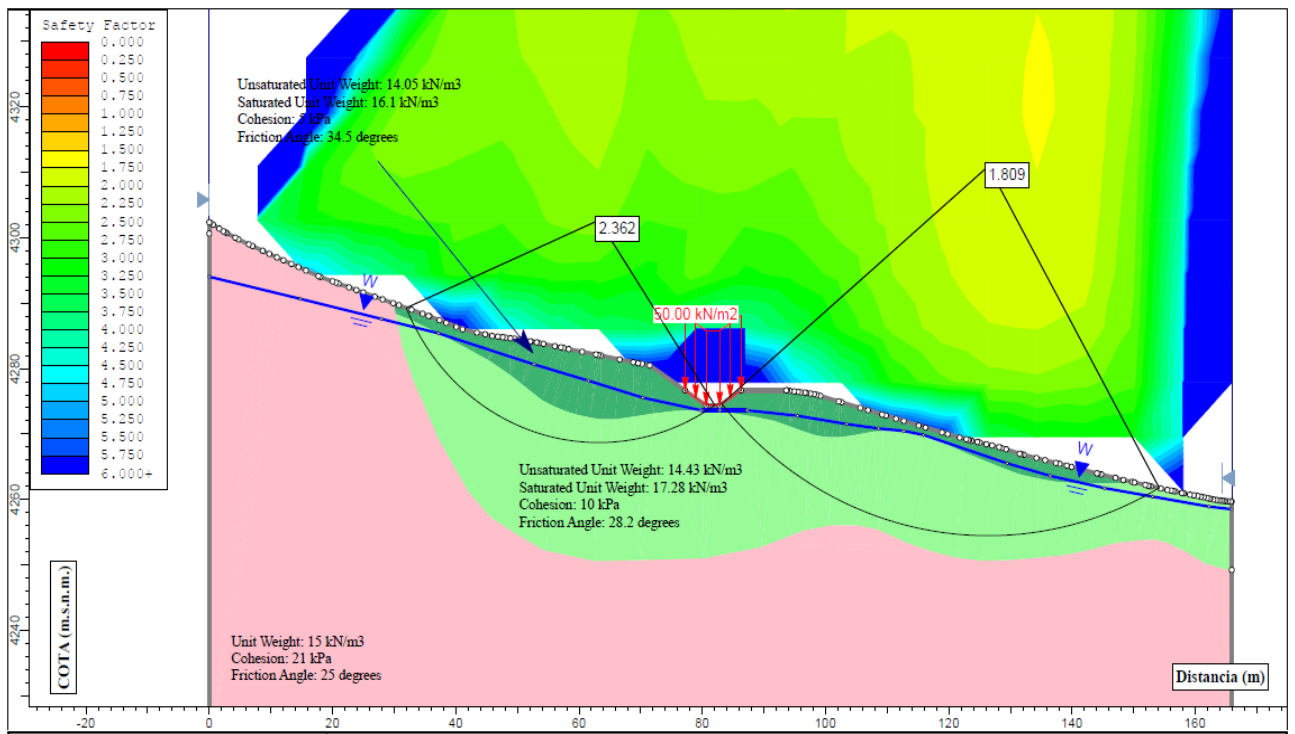


Figura 62. Análisis Estático por el método de Bishop Simplificado, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo C)

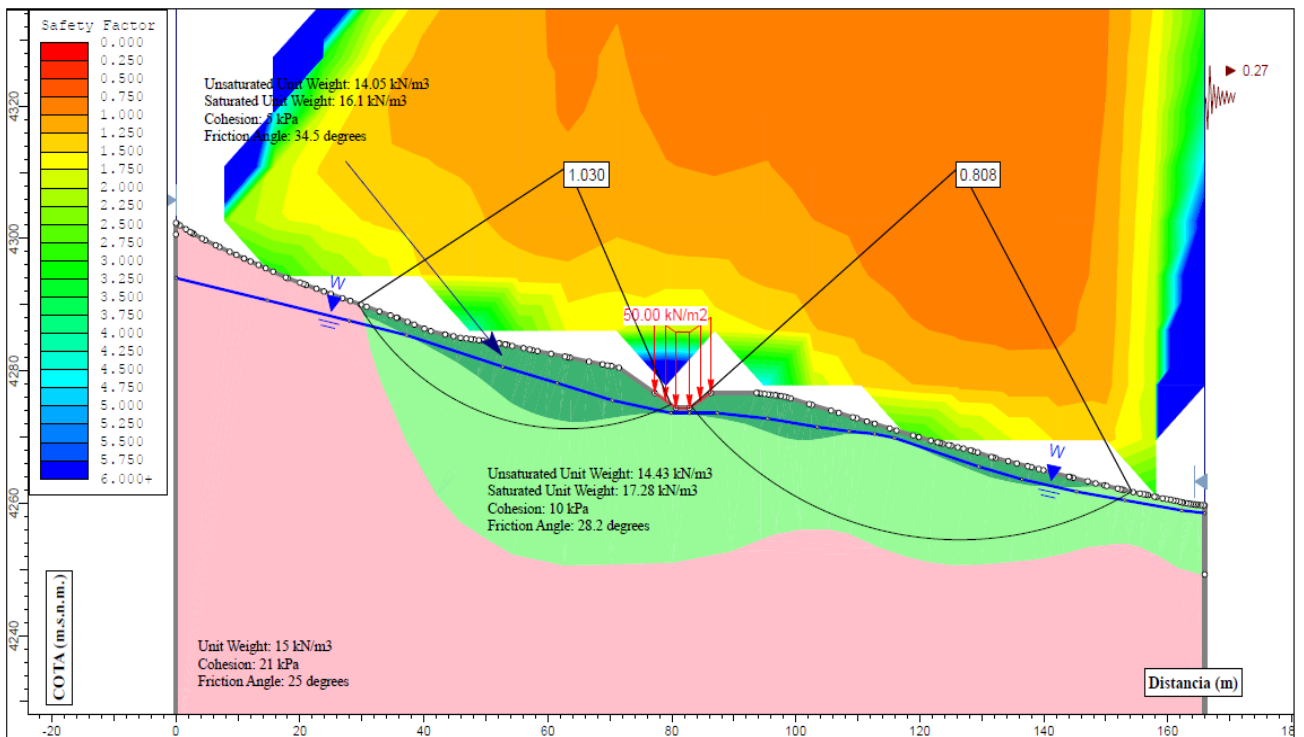


Figura 63. Análisis Pseudoestático por el método de Bishop Simplificado, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo D)

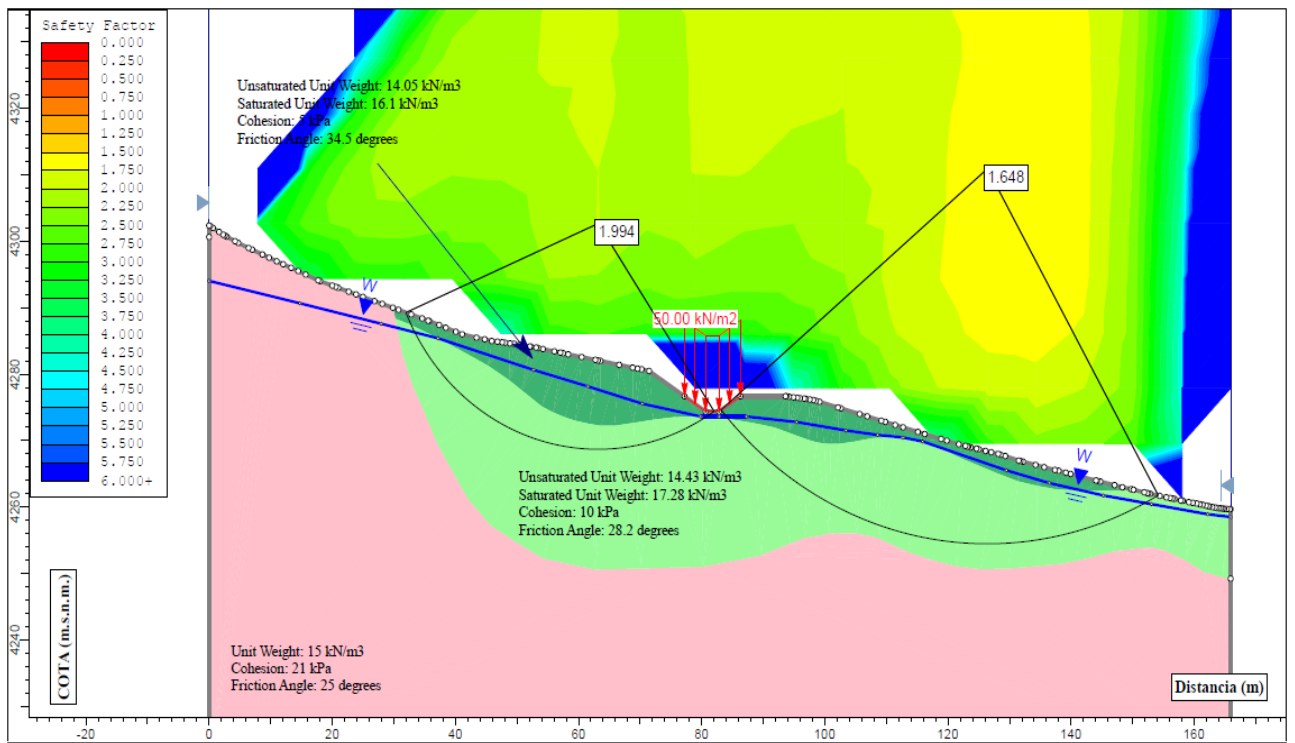


Figura 64. Análisis Estático por el método de Janbu, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo C)

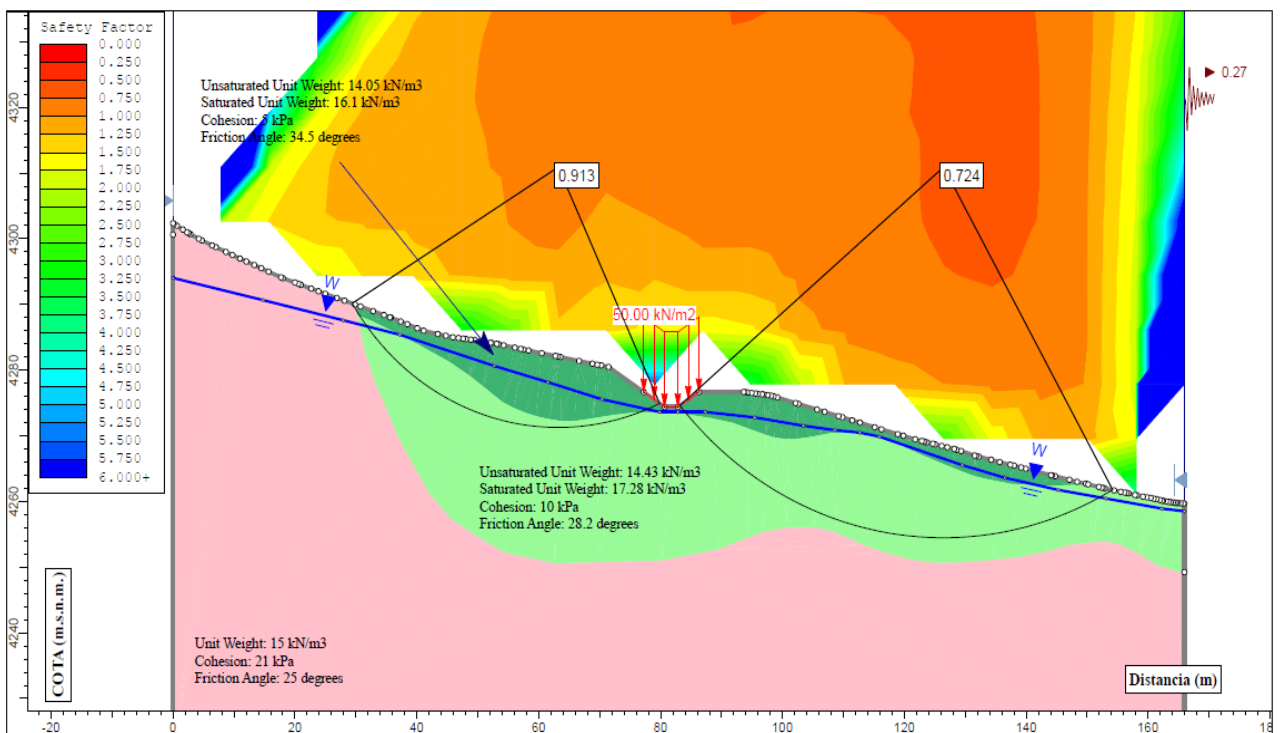


Figura 65. Análisis Pseudoestático por el método de Janbu, perfil C-C', sector 3. Elaboración propia (Anexo D)

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20

Factores de seguridad en el Perfil C – C', Sector 3 con proyecto

Método	Perfil C-C', Prog. Km 41+380 - Prog. Km 41+475			
	F.S. Condición Estática		F.S. Condición Pseudoestática	
	Margen derecha	Margen Izquierda	Margen Derecha	Margen Izquierda
Fellenius	2,088	1,678	0,907	0,706
Bishop Simplificado	2,362	1,809	1,030	0,808
Janbu Simplificado	1,994	1,648	0,913	0,724

Fuente: Estabilidad de taludes análisis estático y pseudoestático (Anexos C y D) de la tesis.

## Capacidad Portante

### Cálculo de la Capacidad Portante de la Fundación

- SECTOR 3 (Prog. 41+380 – 41+475)

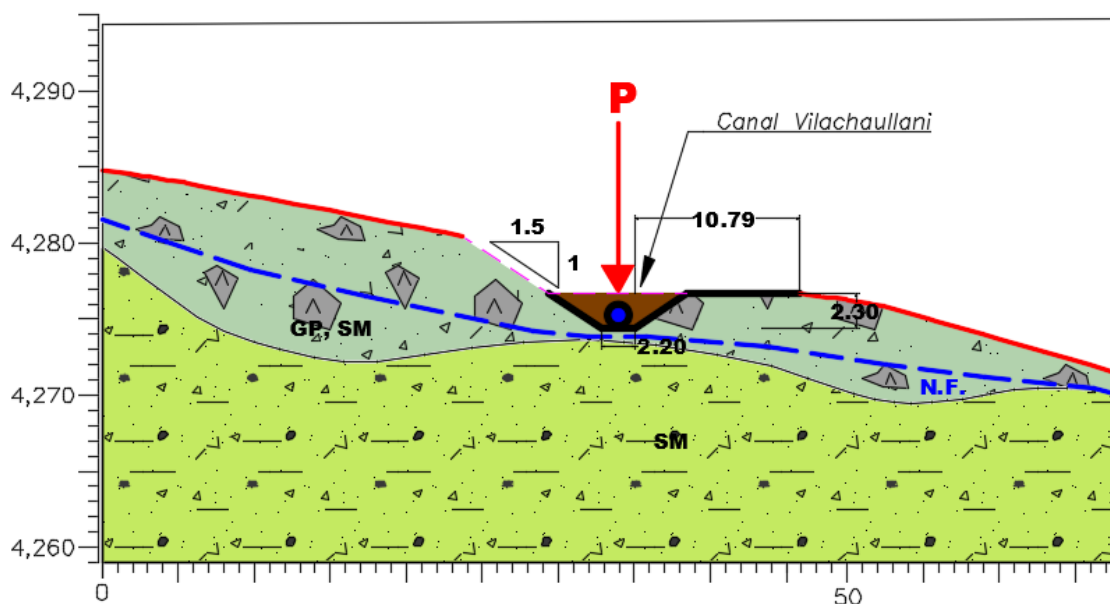


Figura 66. Perfil representativo para capacidad portante, Sector 3. Elaboración propia.

#### i. Datos Generales

- Angulo de fricción:  $\phi = 28,20^\circ$

- Peso específico del suelo saturado  $\gamma = 17,28 \text{ KN/m}^3$
- Peso específico del primer estrato  $\gamma = 14,43 \text{ KN/m}^3$
- Factor de seguridad  $FS = 3$
- Profundidad de desplante  $Df = 2,30 \text{ m}$
- Base Cimentación  $B = 0,50 \text{ m}$
- Pendiente de Ladera  $\beta = 15^\circ$
- Ang. de fricción (falla local)  $\phi' = 18,16^\circ$
- cohesión (falla local)  $c' = 0,05 \text{ kg/cm}^2$
- Altura talud  $H = 15 \text{ m}$

ii. Condición Capacidad Portante en Ladera

✓  $X_b =$  Distancia borde del cimiento a cresta del talud

Condición:  $X_b < 4B = X_b < 8,80 \text{ m}$

$X_b = 10,79 \text{ m} \rightarrow \text{NO}$

\* El efecto del talud es insignificante en este caso, se considerará el terreno como una superficie horizontal

✓ Factores de Capacidad Portante en Ladera:

$$N_q = Kp \exp(\pi \tan \phi')$$

$$N_q = 1,90 \exp[\pi * \tan 18,16]$$

$$N_q = 5,325$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_c = (5,325 - 1) \cot 18,16$$

$$N_c = 13,186$$

$$N_\gamma = 2(N_q L - 1) \tan \phi$$

$$N\gamma = 2(5,325 - 1) \tan 18,16$$

$$N\gamma = 2,837$$

iii. Capacidad de carga por nivel freático

✓  $q =$  Sobrecarga Efectiva

$$q = [D1 * \gamma + D2 * (\gamma_{sat} - \gamma_w)]$$

$$q = [55 * 0,00143 + 175 * (0,00176 - 0,001)]$$

$$q = 0,212 \text{ Kg/cm}^2$$

✓  $\gamma' =$  factor peso unitario suelo

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma' = 0,00176 - 0,0010$$

$$\gamma' = 0,00076$$

iv. Capacidad de carga última

$$quL = c Nc + q * Nq + 0.5 * \gamma' * B * N\gamma$$

$$qu = 0,06 * 13,186 + 0,212 * 5,325 + 0,5 * 0,00076 * 50 * 2,837$$

$$qu = 1,973 \text{ Kg/cm}^2$$

v. Capacidad admisible

$$qadm = \frac{qu}{FS}$$

$$qadm = \frac{1,393}{3}$$

$$qadm = 0,658 \text{ Kg/cm}^2$$

vi. Capacidad de carga última neta

$$q_{neta}(u) = \frac{qu - qL}{FS}$$
$$q_{neta}(u) = \frac{1,973 - 0,212}{3}$$
$$q_{neta}(u) = 0,587 \text{ Kg/cm}^2$$

#### 5.4 Carga actuante sobre la cimentación

El canal Vilachauillani estará cubierto por material de afirmado una vez colocada la tubería de conducción, y que será compactado a la máxima densidad seca del proctor modificado de dicho material.

Este material se obtendrá de las canteras adyacentes a la zona, se realizó el ensayo de proctor modificado cuyos resultados son:

$$\gamma_{max} = 2,127 \frac{gr}{cm^3} ; W_{ópt} = 7,7\%$$

La sobrecarga vertical externa ( $q = \gamma Df$ ) a la que estará sometida la cimentación a 2,30 metros será:

$$(q = \gamma Df)$$
$$(q = 2,127 \frac{gr}{cm^3} * 230 \text{ cm})$$
$$q = 0,48 \text{ Kg/cm}^2$$

Además, la cimentación estará expuesta al peso propio de la tubería más el flujo de agua de 1 m<sup>3</sup>/seg, también se debe prever estará sometido a la acción de cargas vivas en superficie que podrían actuar eventualmente, por lo que para el presente proyecto se considerará que la carga actuante sobre la cimentación será:

$$Q_{act} = 0,50 \text{ kg/cm}^2$$

## 5.5 Análisis de Resultados

El análisis de resultados se hizo para cada uno de los sectores como sigue:

### 5.5.1 Sector 1: Progresivas km 41+070 al 41+170

En esta zona se definió el perfil geológico A-A', presenta 3 estratos, 2 pertenecen a un deslizamiento antiguo y el otro corresponde a material piroclástico sobre el cual ocurrió la superficie de falla del deslizamiento. La línea de conducción Vilachaullani atravesará la parte superior de la zona de acumulación del deslizamiento.

#### Estabilidad de taludes

El método que mayor factor de seguridad brinda en condiciones estáticas es el de Bishop simplificado con un F. S= 1,154 en la margen derecha del canal y un F.S.=1,725 en el flanco izquierdo del canal, mientras que el de menor factor de seguridad es el de Janbu con un F. S= 1,112 en la margen derecha de canal y un F. S=1,472 en el flanco izquierdo del canal. En condiciones pseudoestáticas el método que mayor factor de seguridad brinda es el Bishop simplificado con un F. S= 0,811 en el flanco derecho y un F.S.=0,787 al flanco izquierdo del canal, el método que presenta menor factor de seguridad es el de Janbu con un F. S=0,717 en la margen derecha y un F. S=0,719 hacia el flanco izquierdo del canal. Por lo tanto, el talud se muestra **INESTABLE** en condiciones pseudoestáticas frente a la construcción del canal Vilachaullani en este sector.

### **Capacidad Portante**

Este sector estará cimentado geológicamente sobre el depósito de deslizamiento\_2 (Qh-deliz-2) definido en el perfil estratigráfico y geotécnicamente sobre un suelo SM con contenido de gravas cantos y bloques de naturaleza volcánica y contenido de humedad medio. Se tiene una capacidad portante promedio de 1,230 kg/cm<sup>2</sup> para este material, por lo tanto:

Condición:  $Q_{adm} > Q_{act}$

$$1,230 \frac{kg}{cm^2} > 0,5 \frac{kg}{cm^2}$$

El sector 1 **CUMPLE** las condiciones de capacidad portante del suelo de fundación.

#### **5.5.2 Sector 2: Progresivas km 41+225 al 41+305**

En esta zona se definió el perfil geológico B-B', presenta 3 estratos, 2 pertenecen a un deslizamiento antiguo y el otro corresponde a material piroclástico sobre el cual ocurrió la superficie de falla del deslizamiento. La línea de conducción Vilachaullani atravesará la parte media de la zona de acumulación del deslizamiento.

### **Estabilidad de taludes**

El método que mayor factor de seguridad brinda en condiciones estáticas es el de Bishop simplificado con un F. S= 2,492 en la margen derecha del canal y un F.S.=1,663 en el flanco izquierdo del canal, mientras que el de menor factor de seguridad es el de Janbu con un F. S=

2,112 en la margen derecha de canal y un F. S=1,415 en el flanco izquierdo del canal. En condiciones pseudoestáticas el método que mayor factor de seguridad brinda es el Bishop simplificado con un F. S= 1,197 en el flanco derecho y un F.S.=0,858 al flanco izquierdo del canal, el método que presenta menor factor de seguridad es el de Janbu con un F. S=0,969 en la margen derecha y un F. S=0,747 hacia el flanco izquierdo del canal. Por lo tanto, el talud se muestra **INESTABLE** en condiciones pseudoestáticas frente a la construcción del canal Vilachauillani en este sector.

### **Capacidad Portante**

Este sector estará cimentado geológicamente sobre el depósito de deslizamiento\_1 (Qh-deliz-1) definido en el perfil estratigráfico y geotécnicamente sobre un suelo SM con menor contenido de gravas y cantos de naturaleza volcánica, este estrato presenta alto contenido de humedad con presencia de nivel freático próximo al nivel de cimentación. Se tiene una capacidad portante promedio de 0,482 kg/cm<sup>2</sup> para este material, por lo tanto:

Condición:  $Q_{adm} > Q_{act}$

$$0,482 \frac{kg}{cm^2} < 0,5 \frac{kg}{cm^2}$$

El Sector 2 **NO CUMPLE** las condiciones de capacidad portante del suelo de fundación.

### 5.5.3 Sector 3: Progresivas km 41+380 al 41+480

En esta zona se definió el perfil geológico C-C', presenta 3 estratos, 2 pertenecen a la zona de deslizamiento y el otro corresponde a material piroclástico sobre el cual ocurrió la superficie de falla. La línea de conducción Vilachullani atravesará la parte media de la zona de acumulación del deslizamiento.

#### **Estabilidad de taludes**

El método que mayor factor de seguridad brinda en condiciones estáticas es el de Bishop simplificado con un F. S= 2,362 en la margen derecha del canal y un F.S.=1,809 en el flanco izquierdo del canal, mientras que el de menor factor de seguridad es el de Janbu con un F. S= 1,994 en la margen derecha de canal y un F. S=1,648 en el flanco izquierdo del canal. En condiciones pseudoestáticas el método que mayor factor de seguridad brinda es el Bishop simplificado con un F. S= 1,030 en el flanco derecho y un F.S.=0,808 al flanco izquierdo del canal, el método que presenta menor factor de seguridad es el de Fellenius con un F. S=0,907 en la margen derecha y un F. S=0,706 hacia el flanco izquierdo del canal. Por lo tanto, el talud se muestra **INESTABLE** en condiciones pseudoestáticas frente a la construcción del canal Vilachullani en este sector.

#### **Capacidad Portante**

Este sector estará cimentado geológicamente sobre el depósito de deslizamiento\_1 (Qh-deliz-1) definido en el perfil estratigráfico y geotécnicamente sobre un suelo SM con menor contenido de gravas y

cantos de naturaleza volcánica, este estrato presenta alto contenido de humedad con presencia de nivel freático próximo al nivel de cimentación. Se tiene una capacidad portante promedio de  $0,587 \text{ kg/cm}^2$  para este material, por lo tanto:

Condición:  $Q_{adm} > Q_{act}$

$$0,587 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Este sector **CUMPLE** las condiciones de capacidad portante del suelo de fundación.

## CONCLUSIONES

Después de haber realizado el proyecto podemos sacar las siguientes conclusiones:

- Se evaluó la geología y geotecnia entre las progresivas km 41+000 al km 41+750 de la línea de conducción Vilachauhani, el tramo de estudio no presenta condiciones geológicas y geotécnicas estables para la construcción de la línea de conducción Vilachauhani.
- Se identificó y describió la geomorfología y litoestratigrafía de la zona de estudio. Se realizó el mapeo geológico, geomorfológico y geodinámico identificándose 3 sectores críticos donde se evidencia la ocurrencia de deslizamientos antiguos por los que atravesará la línea de conducción Vilachauhani.
- Se realizaron investigaciones por métodos directos e indirectos como son excavación de calicatas y tomografías eléctricas respectivamente. Se obtuvieron las propiedades físicas del suelo de fundación, se describió la litología y presencia de nivel freático, así mismo se obtuvieron 8 secciones geoelectricas realizadas en las zonas de deslizamientos.
- Se elaboró perfiles geológicos y geotécnicos de la zona de estudio, obteniéndose los cortes A-A', B-B' y C-C' realizados en las zonas críticas indicando la estratigrafía y propiedades físicas de los materiales.
- Se analizó la estabilidad de taludes de los tramos críticos por los métodos de Fellenius, Bishop Simplificado y Janbu, resultando INESTABLE (F.S. <1) para todos los casos en condiciones pseudoestáticas.
- Se calculó la capacidad portante del suelo de fundación, de acuerdo a la condición  $Q_{adm}$  (capacidad de carga admisible del terreno) >  $Q_{act}$  (carga actuante sobre el terreno), el suelo de fundación en el sector 1 (Prog. Km 41+070 al km 41+170) y

sector 3 (Prog. Km 41+380 al km 41+475) CUMPLEN, mientras el suelo de fundación del sector 2 (Prog. Km 41+225 al 41+305) NO CUMPLE para capacidad de carga admisible

- El flujo de agua subterránea es el principal factor desencadenante de los movimientos de masa tipo deslizamientos en nuestra zona de estudio.

## **RECOMENDACIONES**

Después de haber realizado el estudio se proponen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda modificar el eje del canal en el tramo comprendido entre las progresivas km 41+000 al km 41+750 debido a que el terreno presenta condiciones INESTABLES en cuanto a la estabilidad de taludes para la construcción del canal Vilachaulani.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Alva, J.**, (2000) Análisis de Estabilidad de Taludes; Curso de Actualización Profesional, UNI-FIC, pág. 175-196, Lima
- **American Society for Testing and Materials** (2010). ASTM Standards, Vol. 04.08, West Conshohocken, PA.
- **Bishop, A. W.**, (1954) The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique, 5.
- **Braja, M. D.**, (2001) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Thompson Learning, Mx
- **Corps of Engineers U. S. Army.** (1958) Flexible Airfield Pavements. Manual EM – 1110 – 45 – 302 – Apéndice II,
- **Fellenius, W.**, (1936) Calculatios of the Stability of Earth Dams. Second Congress on Large Dams, Washinton D.C.
- **Gonzales, A.**, (2003) Cálculo Simplificado de Capacidad Portante de Cimientos Superficiales en Ladera. III Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras, Bogotá.
- **Gonzalez de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño L. y Oteo C.** (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Education. Madrid.
- **Hansen, J. B.**, (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Danish Geotechnical Institute. Bulletin 28, Copenhagen
- **Hurtado de Barrera, J.**, (2010) Metodología de la Investigación. Guía para la comprensión holística de la ciencia. Centro Internacional de Estudios Avanzados SYPAL y Ediciones Quirón s.a., 4ª edición, Caracas.
- **Instituto Geológico y Minera de España (IGME)** (1986). Manual de Taludes.
- **Janbu, N.**, (1956) Application of composite slip circles for stability analysis. Proc. European Conference on Stability of Earth Slopes. Stocklhom, vol. 3,.
- **Juárez, E. y Rico A.**, (2005) Mecánica de Suelos Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Limusa, México.
- **Laharie, Raymond.**, (1973) Primer ciclo de conferencias de Geomorfología. Arequipa.
- **Lopez, A. y Heng, M.**, Técnicas prácticas para la investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (Tomografía eléctrica 2D y 3D). Universidad Nacional de San Juan y University of Science of Malaysia, Argentina&Malasia.

- **Mendivel, E.**, (1965) Geología de los cuadrángulos de Maure y Antajave (Hojas 35x, 35y), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico INGEMMET
- **Meyerhof, G. G.**, (1963). Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 1, No. 1, 16-26.
- **Oliver, M. y Marín, J.**, (2013). Descripción, Caracterización Geotécnica y Análisis del Deslizamiento de Abril de 2009, del Talud del Instituto de Educación Secundaria Santa Margalida, Mallorca, Illes Balears. VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Palma de Mallorca.
- **Orellana, E.**, (1982) Prospección Geoeléctrica en corriente continua. Madrid
- **Ramirez, P. y Alejano, L.** (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Universidad Politécnica de Madrid.
- **Rankine, W. J. M.**, (1857) "On the stability of loose Earth," Phil. Trans. Royal Soc., London,.
- **Rodriguez-Peces, M., Yepes, J., Tsige, M. y Carrera, B.** (2013). Implicaciones Geotécnicas de las sucesivas reactivaciones del deslizamiento de Pajonales – Rosiana (depresión de Tirajana, Gran Canaria). VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Palma de Mallorca.
- **Sumner, J.**, (1972). A Comparison of Electrode Arrays in IP Surveing. San Francisco, California.
- **Taylor, D. W.**, (1948). Fundamentals of soil mechanics. New York, Jhon Wiley and Sons, 700 pp.
- **Terzaghi, K. y Peck, R., N.**, (1943). Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica. El Ateneo s.a., Esp. 2ª edición 4ª reimpresión 1980
- **Varnes, D. J.**, (1978) Slope movement types and processes. Cap. 2 de Landslides Analysis and Control. Transportation Research Board. National Academy of Sciences. Washinton, D.C.,
- **Vesic, A. S.**, (1963). Bearing Capacity of Deep Foundations in Sand, Highway Research Record No. 39, National Academy of Sciences, 112-153.
- **Vesic, A. S.**, (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 99, No. SM1, 45-73.

# **ANEXOS**

---

**ANEXO – A**  
**MECÁNICA DE SUELOS**

---



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 1**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-1

**COORDENADAS** : N 8085377, E 429430

**PROFUNDIDAD** : 0.10 mt a 1.70 mt.

P R O F U N D I D A D (m)	C L A S I F I C A C I O N		D E S C R I P C I O N Y C L A S I F I C A C I O N D E L M A T E R I A L
	S I M B O L O S	G R A F I C O	
0.20	SM*Mat Org.		Arenas limosas ( <b>SM</b> ) color beige, con gravas de formas angulosas. Hay presencia de materia orgánica y raíces, su compactación es suelta.
1.20	SP-SM		Suelos de fronteras entre arenas gravosas pobremente graduadas y arenas limosas ( <b>SP-SM</b> ) color estratificaciones delgadas e intercaladas color amarillento. La fracción fina es ligeramente plástica, se encuentra una compactación media. La grava de es formas angulosas de textura áspera, muy porosa de peso liviano, presencia de tufos volcánicos.
1.70	SP		Existen arenas gravosas pobremente graduadas ( <b>SP</b> ) y arenisca tufacea con grava de formas angulosas, textura áspera y muy porosa, de bajo peso específico. Su compactación es alta. Se encuentra en forma de costras de color gris blanquecino. La fracción fina tiene baja plasticidad y su compactación es alta.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 2**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+730 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-2

**COORDENADAS** : N 8085385, E 429540

**PROFUNDIDAD** : 0.00 mt a 1.80 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	SIMBOLOS	GRAFICO	
0.00	SM+Mat Org.		Suelos de naturaleza altamente orgánicos (Turba), con leve contenido de limos y arenas finas color café, presenta nivel freático a 0.30 m de profundidad
1.05	SP-SM		Suelos de frontera entre arenas gravosas mal graduadas y arenas limosas ( <b>SP-SM</b> ) color gris blanquecino, con gravas de formas angulosas, textura áspera, porosa y de peso específico liviano. Los finos son ligeramente plásticos, su estado de compactad es mediano. Tiene gran cantidad de mica.
1.80	SM		Arenas limosas ( <b>SM</b> ) ligeramente rojiza, con grava de formas angulosas, textura áspera, porosa y de peso liviano. La fracción fina tiene ligera plasticidad. Presenta cantos y bloques angulosos en un 10% aprox. De naturaleza piroclástica.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N°3**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-3

**COORDENADAS** : N 8085415, E 429686

**PROFUNDIDAD** : 0.10 mt a 2.30 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	SIMBOLOS	GRAFICO	
0.10	SM+Mat. Org.		Suelos con material orgánico y limos arenosos
2.30	SP-SM		Existen suelos de frontera entre arenas gravosas pobremente gradadas y arenas limosas (SP-SM), de color pardo ligeramente amarillento, la grava es de formas angulosas, su textura es áspera, porosa y liviana, de procedencia tufacea. Presenta leves oxidaciones color rojizo. Se encuentra semi-compacta a partir de los 2.40 m, los finos tienen baja plasticidad. En el fondo el material presenta humedad media con ligera presencia de cantos angulosos volcánicos.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA GEOTECNIA**




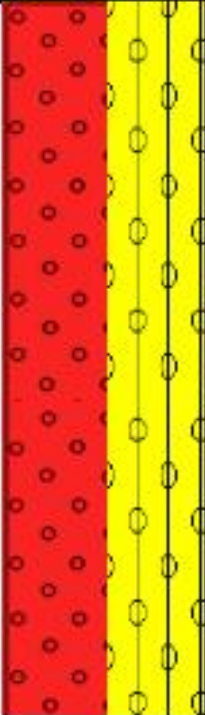
**RECORD DE EXCAVACION N° 4**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLOGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUANI, TARATA - TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-4

**COORDENADAS** : N 8085393, E 429524

**PROFUNDIDAD** : 0.10 mt a 1.30 mt.

P R O F U N D I D A D (m)	C L A S I F I C A C I O N		D E S C R I P C I O N Y C L A S I F I C A C I O N D E L M A T E R I A L
	S I M B O L O S	G R A F I C O	
0.10	MATERIA ORGANICA		Suelos con material orgánico y limos arenosos
1.30	SW - SM		Suelos entre fronteras de arenas bien graduadas con limos ( <b>SW-SM</b> ) de color beige oscuro con baja presencia de gravas de formas sub angulosas y de texturas asperas, su fracción fina <b>NO</b> presenta plasticidad, esta calicata esta ubicada en zona de <b>BOFEDAL</b> motivo por el cual no se realizo la densidad In Situ. La calicata presenta un <b>NIVEL FREATICO</b> a 1.50 m de la superficie, se observa la presencia de material orgánico (raíces). Presencia de bloques y cantos de origen volcánico y piroclástico en su estructura



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 5**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-5

**COORDENADAS** : N 8085390, E 429509

**PROFUNDIDAD** : 0.15 mt a 1.35 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	SIMBOLOS	GRAFICO	
0.15	TIERRA ORGANICA		Suelos con material orgánico y limos arenosos
1.35	SC		Material arenas arcillosas ( <b>SC</b> ) de color marrón claro, con baja presencia de gravas de formas sub angulosas y de texturas porosas, su fracción fina presenta plasticidad, su compactidad es de media a alta, en el fondo (piso) se observa la presencia de rocas y en sus paredes se observa bolones de naturaleza volcánica y piroclástica.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 6**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-6

**COORDENADAS** : N 8085421, E 429641

**PROFUNDIDAD** : 0.20 mt a 1.70 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	S I M B O L O S	G R A F I C O	
0.20	TIERRA ORGANICA		Suelos con material orgánico y limos arenosos
1.70	SM		Suelos de arenas limosas ( <b>SM</b> ) de color marrón oscuro, con presencia de gravas de formas sub angulosas y de asperas, su fracción fina <b>NO</b> presenta plasticidad, esta calicata esta ubicada en zona de <b>BOFEDAL</b> motivo por el cual no se realizo la Densidad In Situ. La Calicata presenta un <b>NIVEL FREATICO</b> a 1.50 mt. de la superficie, se observa la presencia de material orgánico (ralces) y rocas de origen volcánico.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 7**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITLJAHUAN, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-7

**COORDENADAS** : N 8085414, E 429700

**PROFUNDIDAD** : 0.10 mt a 1.45 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	SIMBOLOS	GRAFICO	
0.10	TIERRA ORGANICA		Suelos con material orgánico y limos arenosos
1.45	SC		Suelos de arenas arcillosas con gravas ( <b>SC</b> ) de color beige, las gravas son de formas sub angulosas de textura aspera, la fracción fina presenta plasticidad, su compactidad es de media a alta. En el fondo presencia de cantos de formas angulosas de naturaleza volcánica



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**RECORD DE EXCAVACION N° 8**

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA – TACNA

**EXCAVACION N°** : CV-8

**COORDENADAS** : N 8083337, E 429786

**PROFUNDIDAD** : 0.15 mt a 1.40 mt.

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACION		DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL
	S I M B O L O S	G R A F I C O	
0.15	TIERRA ORGANICA		Suelos con material orgánico y limos arenosos
1.40	ML		Suelos de limos Inorgánicos (ML) de color negro, con ausencia de gravas su fracción fina <b>NO</b> presenta plasticidad, esta calcata esta ubicada en zona de <b>BOFEDAL</b> motivo por el <b>NO</b> se realizo la Densidad In Situ. La Calcata presenta un <b>NIVEL FREATICO</b> a 0.25 cm de la superficie, se observa la presencia de material orgánico (raíces), tambien se observa ligera cantidad de cantos angulosos de origen volcánico.



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



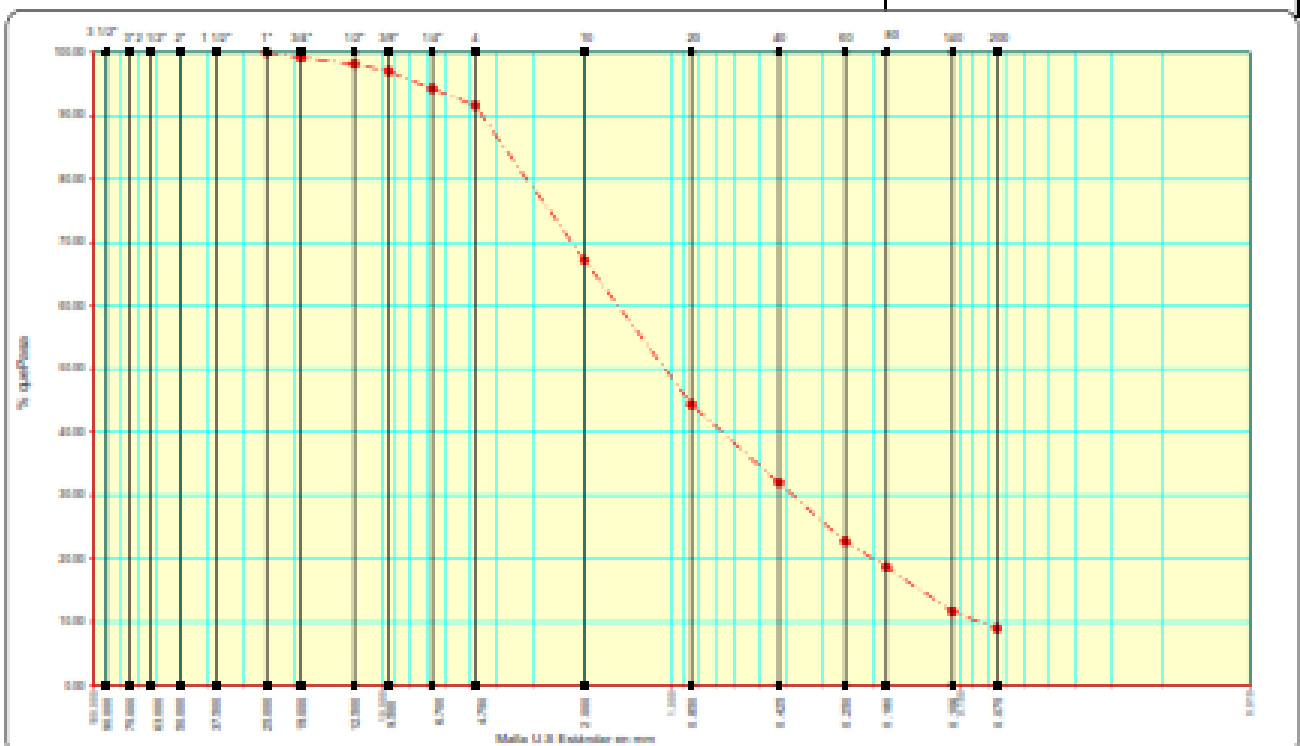
**ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO**

**TESE :** EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM-41+000 AL KM-41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITIAHUANI, TARATA – TACNA

**MUESTRA :** CV4-M1

**PROCEDENCIA :** CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI

MAILLA	MAILLA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
3 1/2"	90.000						Peso Muestra total (gr.)
3"	75.000						13234.00
2 1/2"	63.000						Peso Ret. Malla N° 4 (gr.)
2"	50.000						1279.40
1 1/2"	37.500						Peso Pste. Malla N° 4 (gr.)
1"	25.000				100.00		13954.60
3/4"	19.000	121.40	0.60	0.60	99.20		Peso Fino del Ensayo (gr.)
1/2"	12.500	146.60	0.96	1.77	98.23		500.00
3/8"	9.500	172.80	1.13	2.91	97.09		Retenido Malla N° 4" ( % )
1/4"	6.700	416.60	2.73	5.64	94.36		8.40
N° 4	4.750	420.00	2.76	8.40	91.60		Pasante Malla N° 4" ( % )
N° 8	2.360						Densidad Máxima (gr/cm3)
N° 10	2.000	133.30	24.42	32.82	67.18		1.473
N° 16	1.180						Humedad Óptima (%)
N° 20	0.850	134.20	22.75	55.57	44.43		17.61
N° 30	0.600						Límite Líquido (%)
N° 40	0.425	67.90	12.44	68.01	31.99		N.P.
N° 50	0.300						Límite Plástico (%)
N° 60	0.250	50.60	9.31	77.32	22.68		N.P.
N° 80	0.180	21.60	3.96	81.28	18.72		Índice de Plasticidad (%)
N° 140	0.106	36.60	7.11	88.39	11.62		N.P.
N° 200	0.075	14.30	2.62	91.00	9.00		Contenido Humedad (%)
< 200	0.073	49.00	8.98	99.98	0.02		16.19
							P.e. Retenido Malla N° 4
							1.923 gr/cm3
							P.e. Pasante Malla N° 4
							2.462 gr/cm3
							<b>SUCS</b>
							<b>SW-SM</b>
							<b>OBSERVACIONES:</b>
							Arenas bien graduadas con limo de color beige oscuro.
							<b>D<sub>10</sub> = 0.09</b>
							<b>C<sub>u</sub> = 16.85</b>
							<b>D<sub>30</sub> = 0.39</b>
							<b>C<sub>c</sub> = 1.08</b>
							<b>D<sub>60</sub> = 1.64</b>





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**

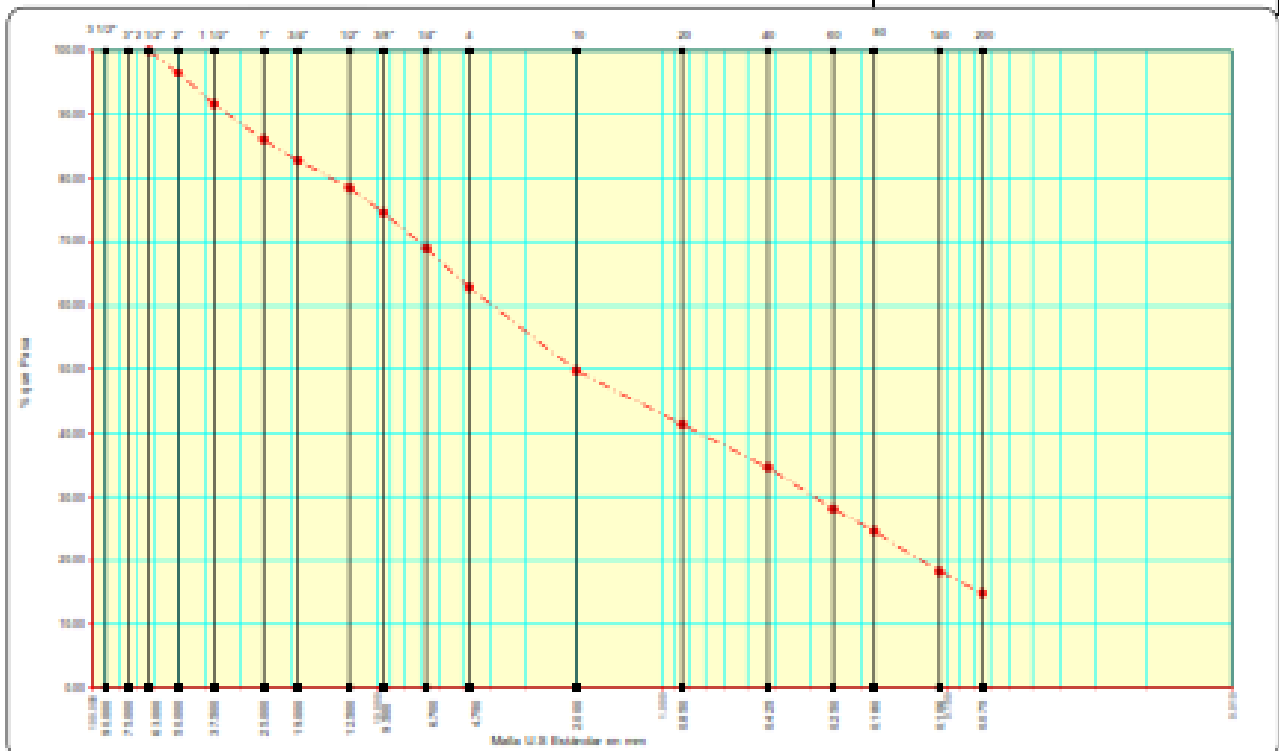


**ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO**

**TEMA :** EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS  
PROGRESMAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VLACHAULLANI  
SECTOR TITUAHUANI, TARATA – TACNA  
**PROCEDENCIA:** CANAL VLACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI

**MUESTRA :** CVS-MH

MALLA	MALLA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
3 1/2"	90.000						Peso Muestra total (gr.) 17428.00
3"	75.000						Peso Ret. Malla N° 4 (gr.) 6481.10
2 1/2"	63.000				100.00		Peso Psta. Malla N° 4 (gr.) 10946.90
2"	50.000	601.00	3.45	3.45	96.55		Peso Fino del Ensayo (gr.) 500.00
1 1/2"	37.500	852.40	4.89	8.34	91.66		Retenido Malla N° 4" ( % ) 37.19
1"	25.000	974.30	5.59	13.93	86.07		Pasante Malla N° 4" ( % ) 62.81
3/4"	19.000	566.50	3.37	17.30	82.70		Densidad Máxima (gr/cm3) 1.854
1/2"	12.500	730.60	4.19	21.49	75.51		Humedad Óptima (%) 12.51
3/8"	9.500	690.60	3.96	25.45	74.55		Límite Líquido (%) 26.00
1/4"	6.700	970.30	5.57	31.02	68.98		Límite Plástico (%) 22.54
N° 4	4.750	1075.20	6.17	37.19	62.81		Índice de Plasticidad (%) 3.46
N° 8	2.360						Contenido Humedad (%) 16.51
N° 10	2.000	103.60	13.04	50.23	49.77		P.e. Retenido Malla N° 4 2.239 gr/cm3
N° 16	1.180						P.e. Pasante Malla N° 4 2.685 gr/cm3
N° 20	0.850	67.00	0.42	50.64	41.36		<b>SUCS</b> <b>SC</b>
N° 30	0.600						<b>OBSERVACIONES:</b>
N° 40	0.425	53.50	6.72	65.37	34.63		Arenas arcillosas con gravas, de color marrón oscuro de gravas sub angulosas.
N° 50	0.300						
N° 60	0.250	52.00	6.53	71.90	28.10		
N° 80	0.180	28.20	3.54	75.44	24.56		
N° 140	0.106	50.50	6.34	81.78	18.22		
N° 200	0.075	26.50	3.33	85.11	14.89		
< 200	0.073	118.50	14.89	100.00	0.00		





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**

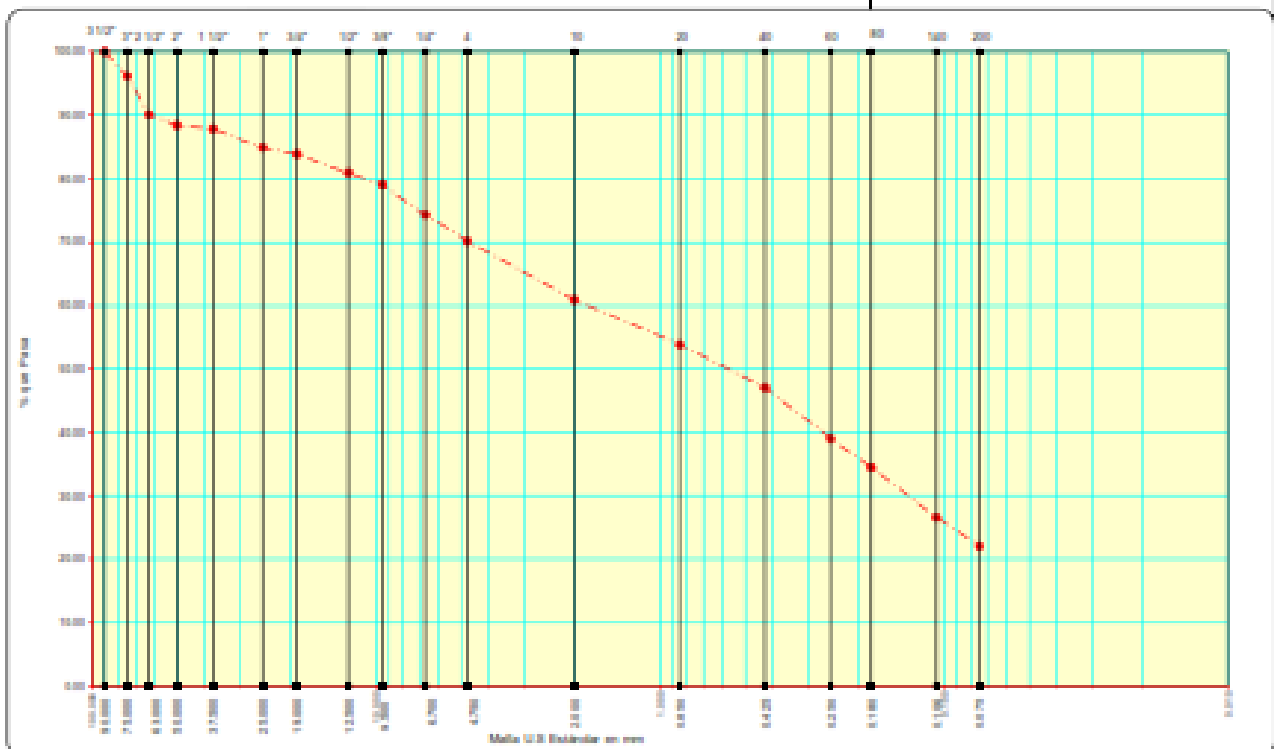


**ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMEZADO**

**TESE :** EVALUACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS  
PROGRESAS KM 41+300 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI  
SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA  
**PROCEDENCIA :** CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI

**MUESTRA :** CUS-MH

MALLA	MALLA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
3 1/2"	90.000				100.00		Peso Muestra total (gr.) 18618.00
3"	75.000	713.10	3.83	3.83	96.17		Peso Ret. Malla N° 4 (gr.) 5550.30
2 1/2"	63.000	1126.80	6.05	9.88	90.12		Peso Pste. Malla N° 4 (gr.) 13067.70
2"	50.000	322.80	1.73	11.62	88.38		Peso Fino del Ensayo (gr.) 500.00
1 1/2"	37.500	96.10	0.52	12.13	87.87		Retenido Malla N° 4* ( % ) 29.81
1"	25.000	549.80	2.95	15.09	84.91		Pasante Malla N° 4* ( % ) 70.19
3/4"	19.000	203.80	1.10	16.18	83.82		Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) 1.745
1/2"	12.500	526.80	2.83	19.01	80.99		Humedad Óptima (%) 14.98
3/8"	9.500	362.70	1.95	20.96	79.04		Límite Líquido (%) N.P.
1/4"	6.700	873.70	4.68	25.65	74.35		Límite Plástico (%) N.P.
N° 4	4.750	774.40	4.16	29.81	70.19		Índice de Plasticidad (%) N.P.
N° 8	2.360						Contenido Humedad (%) 6.88
N° 10	2.000	66.20	0.35	30.16	69.84		P.e.Retenido Malla N° 4 2.143 gr/cm <sup>3</sup>
N° 16	1.180						P.e. Pasante Malla N° 4 2.651 gr/cm <sup>3</sup>
N° 20	0.850	49.80	0.27	30.43	69.57		<b>SUCS</b> <b>SM</b>
N° 30	0.600						<b>OBSERVACIONES:</b>
N° 40	0.425	49.00	0.26	30.69	69.31		Arenas limosas con gravas, de color beige
N° 50	0.300						oscuro, de gravas sub redondeadas de textura, no presenta plasticidad.
N° 60	0.250	56.90	0.30	30.99	69.01		
N° 80	0.180	32.40	0.17	31.16	68.84		
N° 140	0.106	56.30	0.30	31.46	68.54		
N° 200	0.075	32.10	0.17	31.63	68.37		
< 200	0.073	157.30	0.84	32.47	67.53		





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**

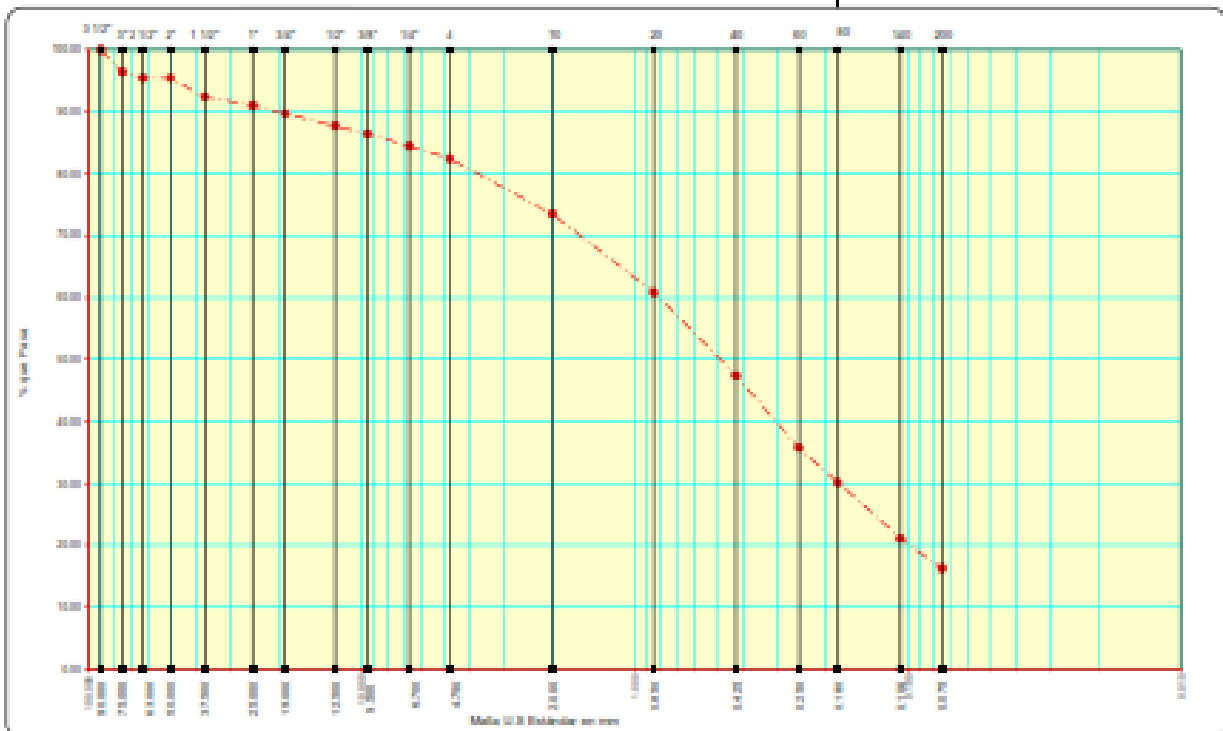


**ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO**

**TESE :** EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESAS KM 41\*000 AL KM 41\*750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI, TARATA – TACNA  
**PROCEDECIA :** CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI

**MUESTRA :** CV7-M1

MALLA	MALLA (mm)	REPO PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES	
3 1/2"	90.000				100.00		Peso Muestra total (gr.)	17715.00
3"	75.000	642.00	3.62	3.62	96.38		Peso Ret. Malla Nº 4 (gr.)	3116.00
2 1/2"	63.000	170.00	0.96	4.58	95.42		Peso Psta. Malla Nº 4 (gr.)	14599.00
2"	50.000	0.00	0.00	4.58	95.42		Peso Fino del Ensayo (gr.)	900.00
1 1/2"	37.500	540.00	3.05	7.63	92.37		Retenido Malla Nº 4" ( % )	17.59
1"	25.000	240.00	1.35	8.99	91.01		Pasante Malla Nº 4" ( % )	82.41
3/4"	19.000	240.00	1.35	10.34	89.66		Densidad Máxima (g/cm3)	1.432
1/2"	12.500	346.00	1.95	12.29	87.71		Humedad Óptima (%)	23.36
3/8"	9.500	232.00	1.31	13.60	86.40		Límite Líquido (%)	43.52
1/4"	6.700	343.00	1.94	15.54	84.46		Límite Plástico (%)	38.15
Nº 4	4.750	363.00	2.05	17.59	82.41		Índice de Plasticidad (%)	5.37
Nº 5	2.360						Contenido Humedad (%)	21.42
Nº 10	2.000	54.30	0.95	26.54	73.46		P.e. Retenido Malla Nº 4	1.970g/cm3
Nº 16	1.180						P.e. Pasante Malla Nº 4	2.475 g/cm3
Nº 20	0.850	76.80	12.66	39.20	60.80		<b>SUCS</b>	<b>SC</b>
Nº 30	0.600						<b>OBSERVACIONES:</b>	
Nº 40	0.425	81.40	13.42	52.61	47.39		Arenas arcillosas con gravas de color beige amarillento con baja presencia de gravas.	
Nº 50	0.300							
Nº 60	0.250	70.80	11.67	64.28	35.72			
Nº 80	0.180	34.10	5.62	69.90	30.10			
Nº 140	0.106	54.80	9.03	78.94	21.06			
Nº 200	0.075	29.30	4.83	83.77	16.23			
< 200	0.073	98.50	16.23	100.00	0.00			





**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**

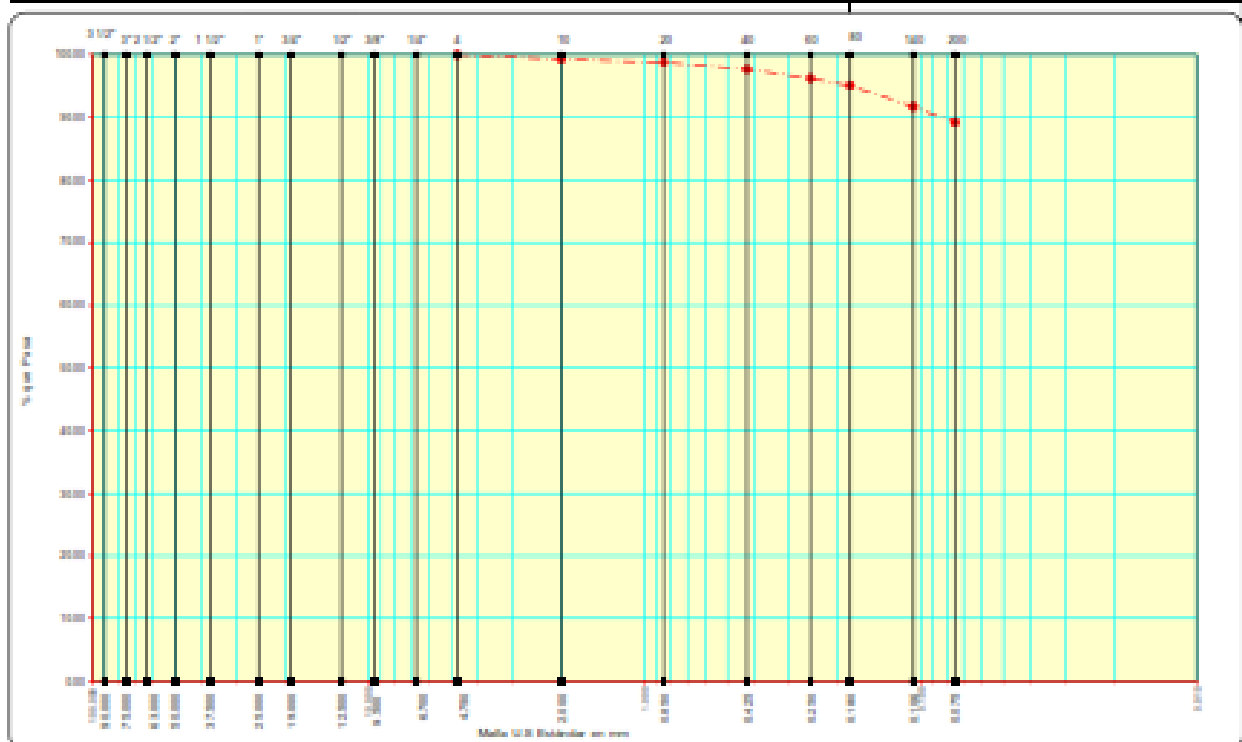


**ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO**

**TESE :** EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS  
**PROGRESAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI**  
**SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA**  
**PROCEDENCIA :** CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI

**MUESTRA :** CVM-M1

MALLA	MALLA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA	ESPECIFICACIONES	OBSERVACIONES
3 1/2"	90.000						Peso Muestra total (gr.) 9344.00
3"	75.000						Peso Ret. Malla N° 4 (gr.) 0.00
2 1/2"	63.000						Peso Pste. Malla N° 4 (gr.) 9344.00
2"	50.000						Peso Fino del Ensayo (gr.) 500.00
1 1/2"	37.500						Retenido Malla N° 4" ( % ) 0.00
1"	25.000						Pasante Malla N° 4" ( % ) 100.00
3/4"	19.000						Densidad Máxima (g/cm3) 0.000
1/2"	12.500						Humedad Óptima (%) 0.00
3/8"	9.500						Límite Líquido (%) N.P.
1/4"	6.700						Límite Plástico (%) N.P.
N° 4	4.750				100.00		Índice de Plasticidad (%) N.P.
N° 8	2.360						Contenido Humedad (%) 144.96
N° 10	2.000	3.50	0.70	0.70	99.30		P.e. Retenido Malla N° 4 0g/cm3
N° 16	1.180						P.e. Pasante Malla N° 4 1.571g/cm3
N° 20	0.850	2.50	0.50	1.20	98.80		<b>SUCS</b> <b>ML</b>
N° 30	0.600						<b>OBSERVACIONES:</b>
N° 40	0.425	5.50	1.10	2.30	97.70		Líneas Inorgánicas de color gris oscuro no presenta plasticidad.
N° 50	0.300						
N° 60	0.250	7.50	1.50	3.80	96.20		
N° 80	0.180	5.50	1.10	4.90	95.10		
N° 140	0.106	17.00	3.40	8.30	91.70		
N° 200	0.075	12.50	2.50	10.80	89.20		
< 200	0.075	446.00	89.20	100.00	0.00		



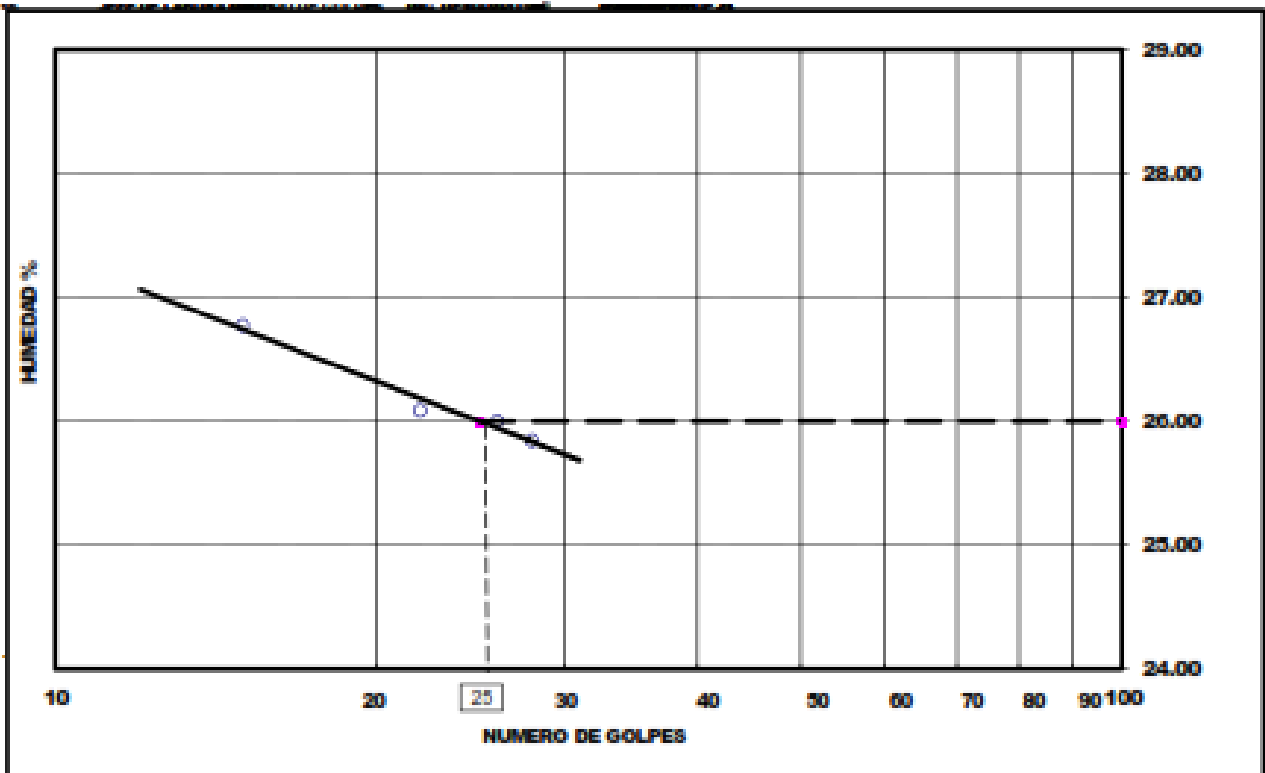


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA



**LIMITES DE ATTERBERG**

<b>TEMA :</b> EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESMAS KM 41+1								<b>MUESTRA:</b>	
AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA								CV4-M1	
<b>PROCEDENCIA :</b> CANAL VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI									
DESCRIPCION	UNID.	LÍMITE LÍQUIDO						LÍMITE PLÁSTICO	
N° DE GOLPES		26	26	22	15				
TARRO N°		H	K	S	R			4	5
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	39.00	38.60	38.10	43.70			20.70	19.50
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	36.70	36.00	35.70	40.30			19.90	18.90
PESO DEL AGUA	gr.	2.30	2.60	2.40	3.40			0.80	0.60
PESO DE LA TARA	gr.	27.60	26.00	26.50	27.60			16.40	16.20
PESO DEL SUELO SECO	gr.	8.90	10.00	9.20	12.70			3.50	2.70
HUMEDAD	%	25.84	26.00	26.09	26.77			22.86	22.22
<b>L L:</b>	<b>26</b>	<b>%</b>	<b>L P:</b>	<b>23</b>	<b>%</b>	<b>I P:</b>	<b>3</b>	<b>%</b>	



**OBSERVACIONES :**

---



---

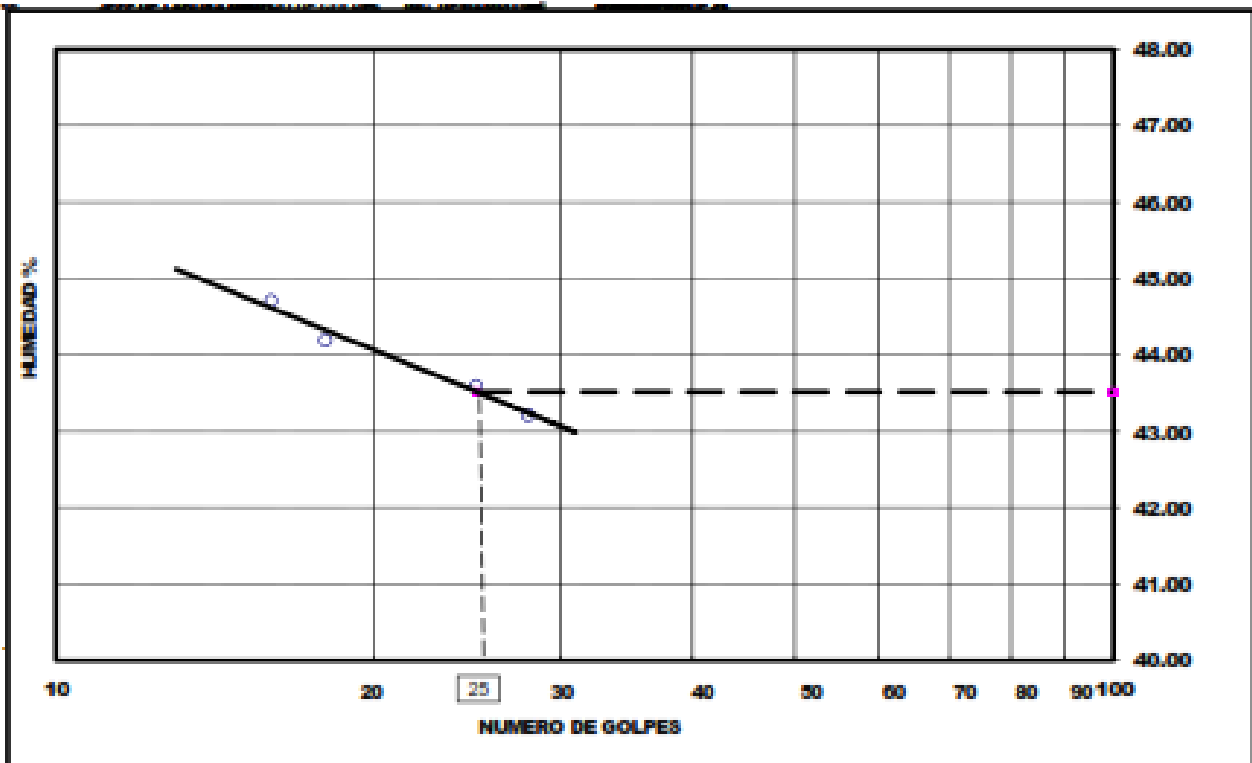


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA**



**LIMITES DE ATTERBERG**

<b>TEMA :</b> EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESAS KM 41+1							<b>MUESTRA:</b>		
AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI TARATA – TACNA							CV7-M1		
<b>PROCEDENCIA :</b> CANAL VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI									
DESCRIPCION	UND.	LÍMITE LÍQUIDO						LÍMITE PLÁSTICO	
		28	25	16	16				
Nº DE GOLPES									
TARRO Nº		B	D	F	L			10	11
PESO SUELO HUMEDO + TARA	g.	39.30	35.70	35.60	40.50			21.90	22.20
PESO SUELO SECO + TARA	g.	35.80	35.30	34.80	36.70			20.50	20.70
PESO DEL AGUA	g.	3.50	3.40	3.80	3.80			1.40	1.50
PESO DE LA TARA	g.	27.70	27.50	26.20	26.20			16.60	16.60
PESO DEL SUELO SECO	g.	6.10	7.80	6.60	6.50			3.70	3.90
HUMEDAD	%	43.21	43.59	44.19	44.71			37.84	38.46
<b>L L:</b>	<b>44</b>	<b>%</b>	<b>L P:</b>	<b>38</b>	<b>%</b>	<b>I P:</b>	<b>5</b>	<b>%</b>	



**OBSERVACIONES :**

---



---



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA



**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD**  
 ASTM D-2216-92

TESIS : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA – TACNA

PROCEDENCIA : CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI

DESCRIPCION	UNIDAD	CALICATAS									
		CV-4	CV-5	CV-6	CV-7	CV-8					

**HUMEDAD ASTM D 2216 - 92**

1	TARA N°		B	T	C	H	K						
2	PESO DE LA TARA	gr.	113.9	99.4	100.6	91.6	100.5						
3	PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	1055.2	1309.8	1390.8	830.7	312.9						
4	PESO SUELO SECO + TARA	gr.	910.3	1138.3	1307.8	700.3	187.2						
5	PESO DEL AGUA (3-4)	gr.	144.9	171.5	83.0	130.4	125.7						
6	PESO DEL SUELO SECO (4-2)	gr.	796.4	1038.9	1207.2	608.7	86.7						
7	CONTENIDO DE HUMEDAD (100*5/6)	%	18.19	16.51	6.88	21.42	144.98						



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA



**PESO ESPECIFICO MATERIAL PASANTE MALLA N° 4**

TE S I S : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DE SLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LA S PROGRE S I V A S KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN  
VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA – TACNA

PROCEDENCIA : CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI

DESCRIPCION	UNIDAD	M U E S T R A							
		CV4-M1	CV5-M1	CV6-M1	CV7-M1	CV8-M1			
PESO MUESTRA SECA	gr	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00			
PESO MUESTRA+ FIOLA+AGUA	gr	826.8	803.0	801.9	827.5	769.7			
PESO FIOLA+AGUA	gr	678.34	646.12	646.22	678.50	678.79			
VOLUMEN DE LA MUESTRA	cm3	101.54	93.12	94.32	101.00	159.09			
FIOLA N°		AZUL	4	4	AZUL	AZUL			
TEMPERATURA	° C	31.0	28.0	27.0	30.0	28.0			
DENSIDAD	gr/cm3	<b>2.462</b>	<b>2.685</b>	<b>2.651</b>	<b>2.475</b>	<b>1.571</b>			

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA

**PESO ESPECIFICO DE FRACCION GRUESA**



TESIS : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DE SLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN  
 VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA – TACNA

PROCEDENCIA : CANAL VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI

DESCRIPCIÓN		UNIDAD	M U E S T R A							
			CV-4	CV-5	CV-6	CV-7				
Fracción retenida en tamiz de		Pulg.	Nº 4	Nº 4	Nº 4	Nº 4				
Peso muestra seca	A	gr	840.10	1097.90	1032.50	726.80				
Peso muestra humedecida 24 horas con superficie seca (SSS)	B	gr.	909.20	1154.70	1090.20	806.50				
Peso muestra SSS sumergida en el agua	C	gr	472.40	664.30	608.30	439.10				
PESO ESPECIFICO APARENTE SSS	Peso especif. = $A/(A-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.285	2.532	2.434	2.526				
PESO ESPECIFICO DE MASA SSS	Peso especif. = $B/(B-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	2.082	2.355	2.262	2.195				
PESO ESPECIFICO DE MASA	Peso especif. = $A/(B-C)$	gr/cm <sup>3</sup>	1.923	2.239	2.143	1.978				

OBSERVACIONES:

La calicata CV-8 es Bofedal y no contiene gravas en su granulometria



### DENSIDAD IN SITU

PROYECTO : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO USIGADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+700 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA – TACNA

MUESTRA : INDICADA

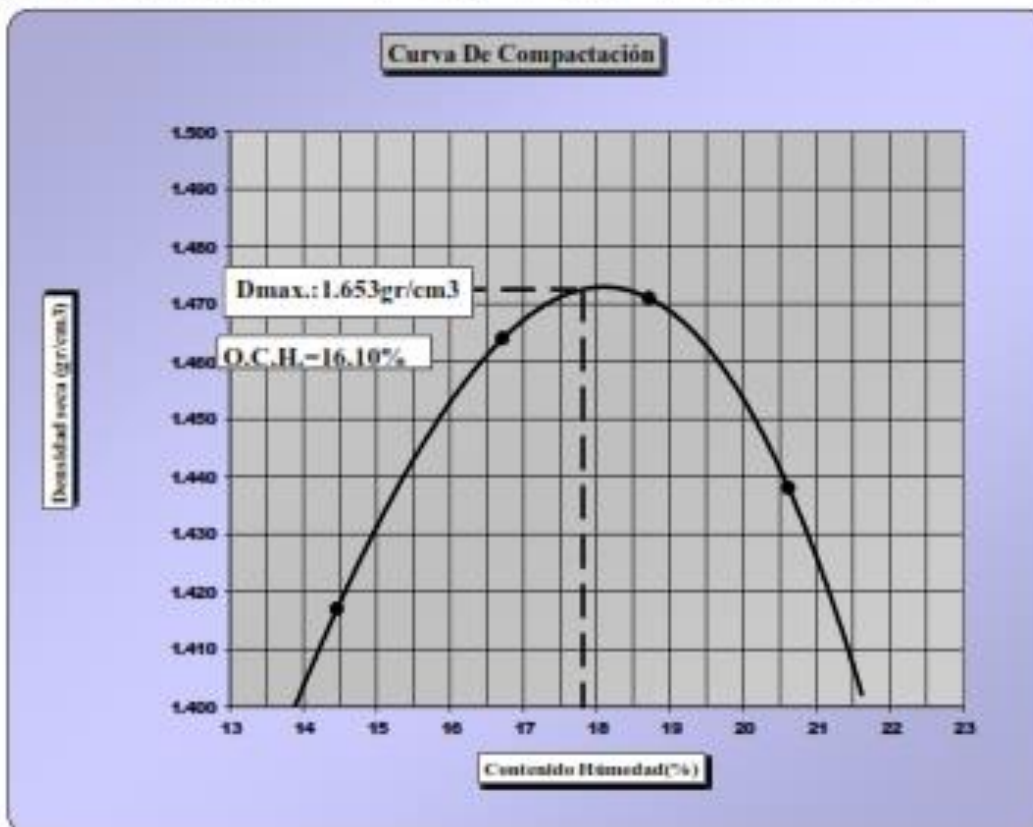
DENSIDAD N°	UNIDAD	HOYO-1	HOYO-2	HOYO-3	HOYO-4	HOYO-5	
CALICATA	N°	CV-1	CV-2	CV-3	CV-5	CV-7	
UBICACIÓN	N°	Fondo	Fondo	Fondo	Fondo	Fondo	
<b>A.- DENSIDAD DE CAMPO</b>							
1	PESO ARENA + FRASCO	gr.	7225	7242	7271	8735	8485
2	PESO ARENA QUE QUEDA EN EL FRASCO	gr.	2355	2335	2674	4440	3880
3	PESO DE LA ARENA EN EL CONO	gr.	1508	1508	1508	1586	1586
4	PESO DE LA ARENA EN LA CAVIDAD ( 1-2-3)	gr.	3362	3399	2689	2709	3019
5	DENSIDAD DE LA ARENA	gr./cm3	1.407	1.407	1.407	1.463	1.463
6	VOLUMEN DE LA CAVIDAD (4/5)	cm3.	2389	2416	2053	1852	2064
7	PESO MUESTRA HUMEDA + TARA	gr.	3903	3974	3625	3270	3340
8	PESO DE LA TARA	gr.	8	8	8	4	4
9	PESO MUESTRA HUMEDA NIETA (7-8)	gr.	3895	3966	3617	3266	3336
10	PESO SUELO RETENIDO EN TAMÍZ N° 4	gr.	290	459	539	1115	705
11	PESO SUELO MENOR TAMÍZ N° 4(9-10)	gr.	3605	3507	3078	2151	2631
12	VOLUMEN DE LA GRAVA(10/14)	cm3.	0	0	0	498	356
13	VOLUMEN DE LOS FINOS(8-12)	cm3.	2389	2416	2053	1354	1707
14	PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA	gr/cm3	1.894	1.894	2.220	2.239	1.978
<b>B.- HUMEDAD ASTM D 2216 - 92</b>							
15	N° DE TARA		T	F	K	I	G
16	PESO DE LA TARA	gr.	103.2	109.1	305.0	93.8	85.0
17	PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	389.8	392.1	699.2	574.9	389.8
18	PESO SUELO SECO + TARA	gr.	361.7	356.2	601.3	501.2	330.9
19	PESO DEL AGUA (17-18)	gr.	28.1	35.9	97.9	73.7	58.9
20	PESO DEL SUELO SECO (18-16)	gr.	258.5	247.1	496.3	407.4	245.9
21	CONTENIDO DE HUMEDAD (100*19/20)	%	10.87	14.53	19.73	18.09	23.95
<b>C.- GRADO DE COMPACTACION</b>							
22	DENSIDAD DEL SUELO HUMEDO (11/13)	gr./cm3	1.630	1.642	1.762	1.589	1.541
23	DENSIDAD SECA DE CAMPO (100*22/100*21)	gr./cm3	1.470	1.433	1.471	1.346	1.243
24	MAXIMA DENSIDAD	gr./cm3	1.854	1.854	1.854	1.854	1.432
25	HUMEDAD OPTIMA	%	12.51	12.51	12.51	12.51	23.36
26	% DE DENSIDAD	%	79	77	79	73	87

**OBSERVACIONES :**

Las Calicatas N° CV-4; CV-6 y CV-8, estan ubicadas en BOFEDAL, motivo por el cual no se realizo la DENSIDAD IN SITU.



ENSAYO DE COMPACTACION					
<b>TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA</b>				Calicata : CV-4	
				Muestras : M-1	
Tipo de Material					
Molde No:		1			
Volumen Molde(cm3):		939.70			
Metodo de Compactacion:			ASTM - D698		Metodo: "A"
Peso[Suelo+Molde](gr)	5400.60	5481.90	5516.80	5505.10	
Peso Molde(gr)	3876.00	3876.00	3876.00	3876.00	
P <sub>su</sub> Compactado(gr)	1524.60	1605.90	1640.80	1629.10	
Densidad Húmeda(gr/cm3)	1.622	1.709	1.746	1.734	
Tara No	B	F	G	A	
Peso[S <sub>húmedo</sub> +Tara] (gr)	298.90	295.40	278.90	282.30	
Peso[S <sub>seco</sub> +Tara](gr)	273.70	266.20	248.30	249.70	
Peso Tara(gr)	99.40	91.60	84.80	91.60	
Peso Agua(gr)	25.20	29.20	30.60	32.60	
Peso S <sub>seco</sub> (gr)	174.30	174.60	163.50	158.10	
G.H.(%)	14.46	16.72	18.72	20.62	
Densidad Seca(gr/cm3)	1.417	1.464	1.471	1.438	





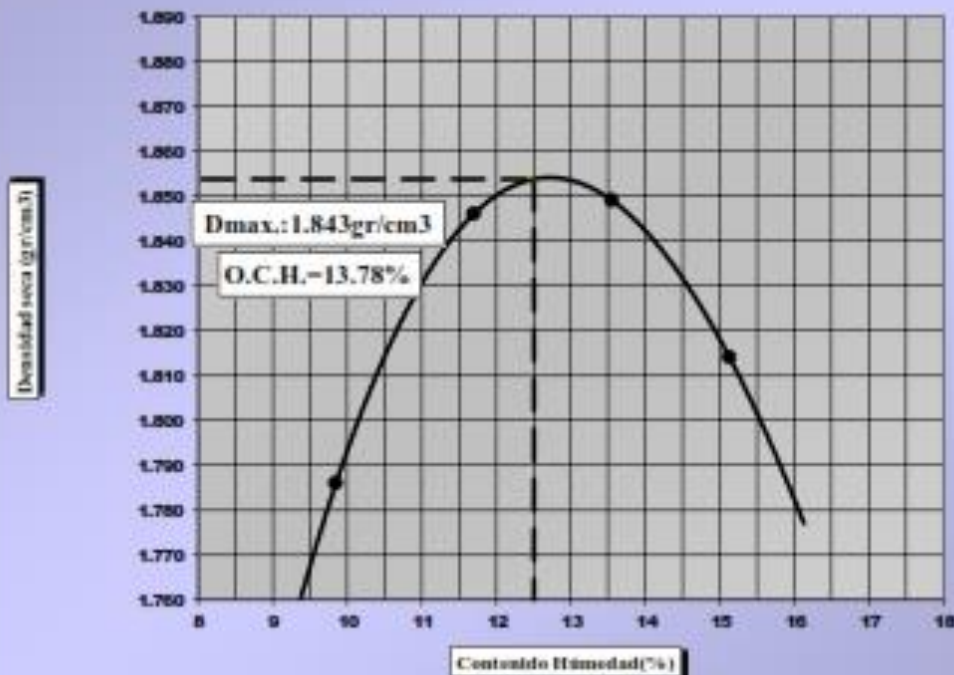
### ENSAYO DE COMPACTACION

TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA

Calicata : CV-5  
 Muestra : M-1

Tipo de Material					
Molde No:	1				
Volumen Molde(cm3):	2114.32				
<b>Metodo de Compactacion:</b>	<b>ASTM - D698</b>			<b>Metodo: "C"</b>	
Peso[Suelo+Molde](gr)	10545.00	10755.00	10835.00	10810.00	
Peso Molde(gr)	6396.00	6396.00	6396.00	6396.00	
P <sub>so</sub> Compactado(gr)	4149.00	4359.00	4439.00	4414.00	
Densidad Húmeda(gr/cm3)	1.962	2.062	2.099	2.088	
Tara No	A-2	A-1	L	K	
Peso[S <sub>humedo</sub> +Tara] (gr)	236.00	381.80	273.50	357.40	
Peso[S <sub>seco</sub> +Tara](gr)	222.30	351.10	251.70	325.40	
Peso Tara(gr)	83.20	88.70	90.80	113.90	
Peso Agua(gr)	13.70	30.70	21.80	32.00	
Peso S <sub>seco</sub> (gr)	139.10	262.40	160.90	211.50	
<b>C.H.(%)</b>	<b>9.85</b>	<b>11.70</b>	<b>13.55</b>	<b>15.13</b>	
<b>Densidad Seca(gr/cm3)</b>	<b>1.786</b>	<b>1.846</b>	<b>1.849</b>	<b>1.814</b>	

Curva De Compactación





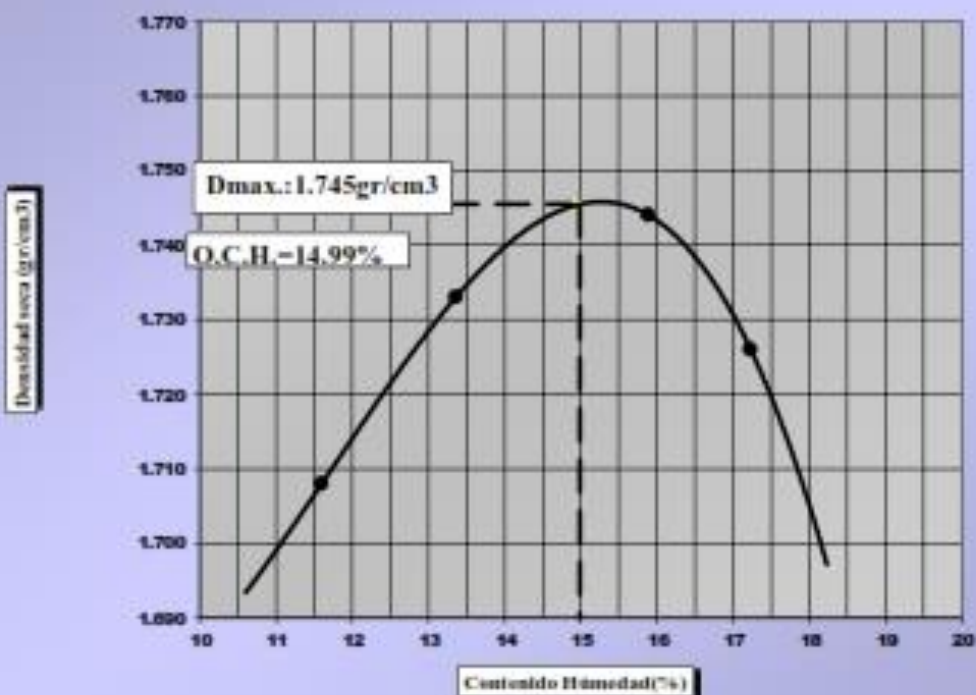
### ENSAYO DE COMPACTACION

TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE  
 LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN  
 VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA

Calicata : CV-6  
 Muestra : M-1

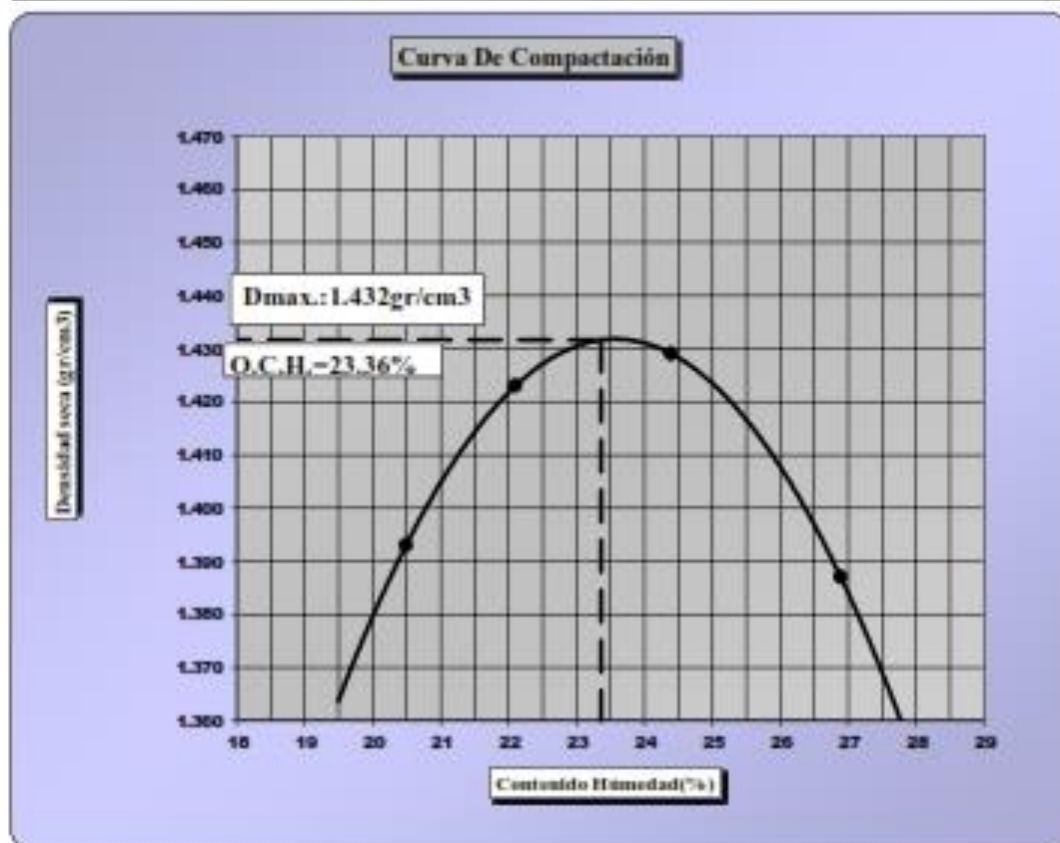
Tipo de Material					
Molde No:	1				
Volumen Molde(cm <sup>3</sup> ):	939.70	Ensayado	Hector Ale		
<b>Metodo de Compactacion:</b>	<b>ASTM - D698</b>			<b>Metodo:</b>	<b>"B"</b>
Peso(Suelo+Molde)(gr)	5666.60	5722.20	5775.10	5777.20	
Peso Molde(gr)	3876.00	3876.00	3876.00	3876.00	
P <sub>sh</sub> Compactado(gr)	1790.60	1846.20	1899.10	1901.20	
Densidad Húmeda(gr/cm <sup>3</sup> )	1.906	1.965	2.021	2.023	
Tara No	A-3	A-1	G	A-2	
Peso(S <sub>humedo</sub> + Tara) (gr)	294.20	261.00	295.70	293.40	
Peso(S <sub>seco</sub> +Tara)(gr)	271.60	240.70	266.80	262.50	
Peso Tara(gr)	76.70	88.70	84.90	83.20	
Peso Agua(gr)	22.60	20.30	28.90	30.90	
Peso S <sub>seco</sub> (gr)	194.90	152.00	181.90	179.30	
<b>C.H.(%)</b>	<b>11.60</b>	<b>13.36</b>	<b>15.89</b>	<b>17.23</b>	
Densidad Seca(gr/cm <sup>3</sup> )	1.708	1.733	1.744	1.726	

Curva De Compactación





<b>ENSAYO DE COMPACTACION</b>					
<b>TESIS: EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA - TACNA</b>				<b>Calicata : CV-7</b> <b>Muestra : M-1</b>	
<b>Tipo de Material</b>					
<b>Molde No: 1</b>					
<b>Volumen Molde(cm3):</b>		<b>939.70</b>		<b>Ensayado Hector Ale</b>	
<b>Metodo de Compactacion: ASTM - D698</b>			<b>Metodo: "A"</b>		
Peso[Suelo+Molde](gr)	5452.80	5509.50	5547.20	5530.20	
Peso Molde(gr)	3876.00	3876.00	3876.00	3876.00	
P <sub>in</sub> Compactado(gr)	1576.80	1633.50	1671.20	1654.20	
Densidad Húmeda(gr/cm3)	1.678	1.738	1.778	1.760	
Tara No	A-1	A-3	A-1	F	
Peso[S <sub>húmedo</sub> +Tara] (gr)	306.80	290.00	234.90	277.50	
Peso[S <sub>seco</sub> +Tara](gr)	269.70	251.90	206.20	238.10	
Peso Tara(gr)	88.60	76.80	88.60	91.60	
Peso Agua(gr)	37.10	38.70	28.70	39.40	
Peso S <sub>seco</sub> (gr)	181.10	175.10	117.60	146.50	
C.H.(%)	20.49	22.10	24.40	26.89	
Densidad Seca(gr/cm3)	1.393	1.423	1.429	1.387	





## ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL) NTP 339.159

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS  
 KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA -  
 TACNA

**DPL N°** : DPL-1  
**CALCATA** : CV-4  
**COORDENADAS** : E 429524 N 8085393

PROF. (m)	LITOLOGIA (SUCS)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES		ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>DPL</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
				N SPT	$\phi$ (°) suelo friccionante	
0.00		BOFEDAL ( Arena bien graduada con Arena limosa) presenta presencia de bloques y cantos angulosos en su estructura.	SW SM	1	28.2	
0.20				1	28.2	
0.40				1	28.2	
0.80				5	28.2	
1.40				38	37.5	

# ENSAYO DPL

**UBICACIÓN :** DIS. TICACO-TARATA PROVINCIA y DPTO. DE TACNA      **REALIZADO :** C.A.P.H.  
**PROYECTO:** SERVICIO DE ENSAYO DPL (PENETRACION DINAMICA LIGERA) TRAMO CANAL VILACHAULLANI      **APROBADO :** \_\_\_\_\_  
**COORDENADAS:**      ESTE: 429230  
                                  NORTE: 808377

**SONDAJE :** DPL-2

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO*	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA
			N SPT	σ (*) suelo fricciones	c (kg/cm <sup>2</sup> ) suelo cohesivo	Nº de golpes 10 cm
0.20	<b>De 0.00 m. a 0.20 m. de profundidad</b> Arenas limosas (SM) color beige, con grava de formas angulosas. Hay presencia de materia orgánica y raíces. Su compacidad es suelta.	SM	30	42.8	-	
1.00	<b>De 0.20 m. a 1.20 m. de profundidad</b> Arenas pobremente gradadas y arenas limosas (SP-SM) color pardo con estratos muy delgados e intercalados de color amarillento. La fracción fina es ligeramente plástica. Se encuentra muy consolidada y es-tratificada. También se encuentra grava de formas angulosas, textura áspera, muy porosa de peso liviano. Hay presencia de tufos volcánicos. Su estado de compacidad es alto.	SP-SM				
1.00	<b>De 1.20 m. a 1.70 m. de profundidad</b> Existen arenas gravosas pobremente gradadas (SP) y arenisca tufáceas, con grava de formas angulosas, textura áspera y muy porosa, de bajo peso específico. Su compacidad es alta. Se encuentra en forma de costras de color gris blanquecino. La fracción fina tiene baja plasticidad y su compacidad es alta.	SP				
1.00						
1.00						
1.00						
1.00						
1.00						
1.00						
1.00						

**OBSERVACIONES**      : \* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL PET

---

Ing. Carmen Alejandra Pazo Huan  
 CIP. Nº 83263

# ENSAYO DPL

UBICACIÓN : DIS. TICACO-TARATA PROVINCIA y DPTO. DE TACNA      REALIZADO : C.A.P.H.  
 PROYECTO: SERVICIO DE ENSAYO DPL (PENETRACION DINAMICA LIGERA) TRAMO CANAL VILACHAULLANI      APROBADO :

COORDENADAS:      ESTE: 429582  
    NORTE: 8085390

SONDAJE :           DPL-3          

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO *	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA	
			N SPT	φ (°) suelo Nicolonante	c (kg/cm²) suelo cobetiva	N <sub>DPL</sub> Nº de golpes 10 cm	
0.20	De 0.00 m. a 0,10 m.de profundidad Arenas limosas (SM) color beige, con materia orgánica, raíces y pequeño porcentaje de grava porosa, de textura áspera y peso li-viano, se encuentra ligeramente húmedo.	SM	13	31.1	-		
1.00			18	34.0	-		
1.20	De 0.10 m. a 1,20 m.de profundidad Arenas limosas (SM) color beige a pardo con grava de formas angulosas, textura áspera porosa y liviana, se encuentra muy estratificada y dura corresponde a estratos de areniscas. La fracción fina tiene baja plasticidad. Presenta boleos y bloques angulosos.	SM	19	34.5	-		
1.80			7	28.8	-		
3.00							
3.40							
4.00							
5.00							
6.00							
7.00							
8.00							

OBSERVACIONES : \* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL PET

---

  
 Ing. Carmen Alejandra Páez Hancosi  
 CIP. Nº 83263

# ENSAYO DPL

UBICACIÓN : DIS: TIGACO-TARATA PROVINCIA y DPTO. DE TACNA REALIZADO : C.A.P.H.  
 PROYECTO: SERVICIO DE ENSAYO DPL (PENETRACION DINAMICA LIGERA) TRAMO CANAL VILACHULLANI APROBADO : \_\_\_\_\_

COORDENADAS: ESTE: 429664  
 NORTE: 8085418

SONDAJE : DPL-4

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO*	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA Nº de golpes / 30 cm
			N SPT	σ (Kg/cm²) suelo	σ (Kg/cm²) suelo cohesivo	
0.20	De 0.00 m. a 2,20 m.de profundidad Arenas limosas (SM) color gris oscuro, con poca grava de formas angulosas. Hay presencia de materia orgánica y raíces.	SM	2	21.3	-	
0.40			7	26.8	-	
0.60	De 0.00 m. a 2,20 m.de profundidad Existen suelos de frontera entre arenas gravosas pobremente gradadas y arenas limosas (SP-SM), color pardo ligeramente amarillento, la grava es de formas angulosas, su textura es áspera, porosa y liviana, de procedencia tufácea. Presenta oxidaciones de color rojizo. Se encuentra muy compacta. A partir de 2.40 m. hay filtraciones. Los finos tienen baja plasticidad.	SP-SM				
0.80						
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						

OBSERVACIONES : \* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL PET

---

Ing. Camila Alejandra Pazo Hanco  
 CIP. N° 83263

# ENSAYO DPL

UBICACIÓN : DIS. TICACO-TARATA PROVINCIA y DPTO. DE TACNA REALIZADO : C.A.P.H.  
 PROYECTO: SERVICIO DE ENSAYO DPL ( PENETRACION DINAMICA LIGERA) TRAMO CANAL VILACHULLANI APROBADO : \_\_\_\_\_

COORDENADAS: ESTE: 429794  
 NORTE: 8085333

SONDAJE : DPL-5

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO *	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA Nº de golpes 10 cm
			N SPT	φ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm2) suelo cohesivo	
0.00	<b>De 0.00 m. a 2.0 m.de profundidad</b> Suelos de naturaleza altamente orgánicos (Turba), con pequeño porcentaje de limos y arenas finas color café. (Pt.), presenta nivel Freático a 0,30 m. de profundidad.	PT	2	21.3	-	
0.20			4	23.9	-	
0.40			6	26.0	-	
0.70			7	26.8	-	
0.80			8	25.95	-	
1.00						
1.50						
2.00						
2.50						
3.00						
3.50						
4.00						
4.50						
5.00						
5.50						
6.00						
6.50						
7.00						
7.50						

OBSERVACIONES : \* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL PET

---

Ing. Gerardo Alejandro Páez Hancón  
 CIP. Nº 83263

# ENSAYO DPL

**UBICACIÓN :** DIS. TIGACO-TARATA PROVINCIA y DPTO. DE TACNA      **REALIZADO :** C.A.P.H.  
**PROYECTO:** SERVICIO DE ENSAYO DPL I PENETRACION DINAMICA LIGERA TRAMO CANAL VILACHAULLANI      **APROBADO :** \_\_\_\_\_  
**COORDENADAS:**    ESTE: 429861  
                              NORTE: 8085391

**SONDAJE :** DPL-6

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO *	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA
			N SPT	φ (°) cueto friccionante	ψ (kg/cm <sup>2</sup> ) cueto cohesivo	Nom. <sup>1</sup> Nº de golpes 58 cm
0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00 3.50 4.00 4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50	<b>De 0.00 m. a 2.0 m. de profundidad</b> Grava Arenosa Limosa con bloques.	GM	14 23 30 21 29	31.7 36.4 39.5 38.6 39.1	- - - - -	

**OBSERVACIONES**    : \* INFORMACION PROPORCIONADA POR EL PET

---

Ing. Carmen Alejandra Pisco Mancos  
 CIP. N° 83263



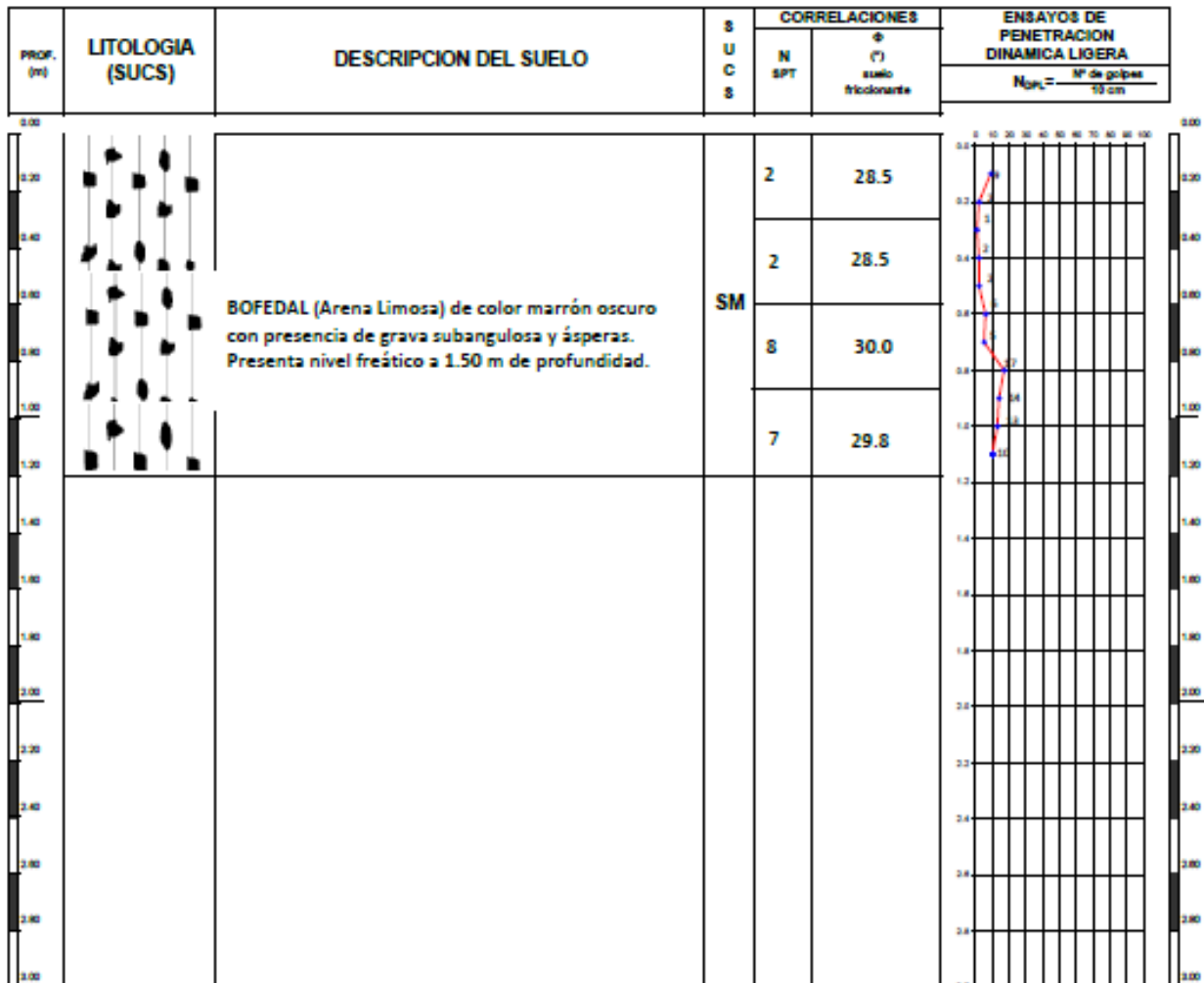
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA



## ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL) NTP 339.159

**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA

**DPL N°** : DPL-7  
**CALICATA** : CV-6  
**COORDENADAS** : E 429641 N 8085421





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 ESCUELA DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA



## ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL) NTP 339.159

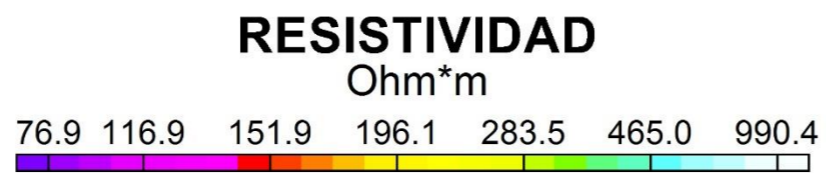
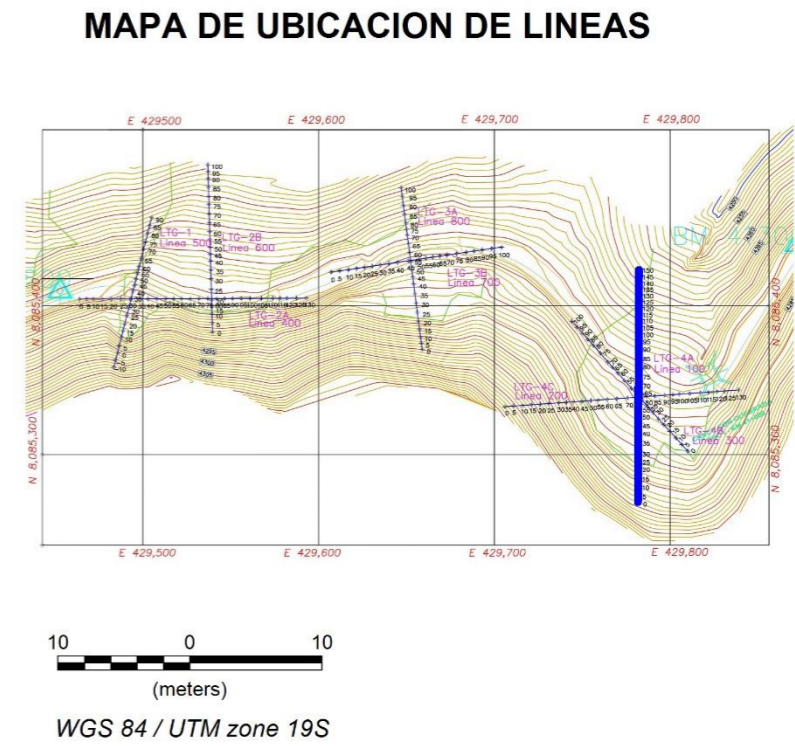
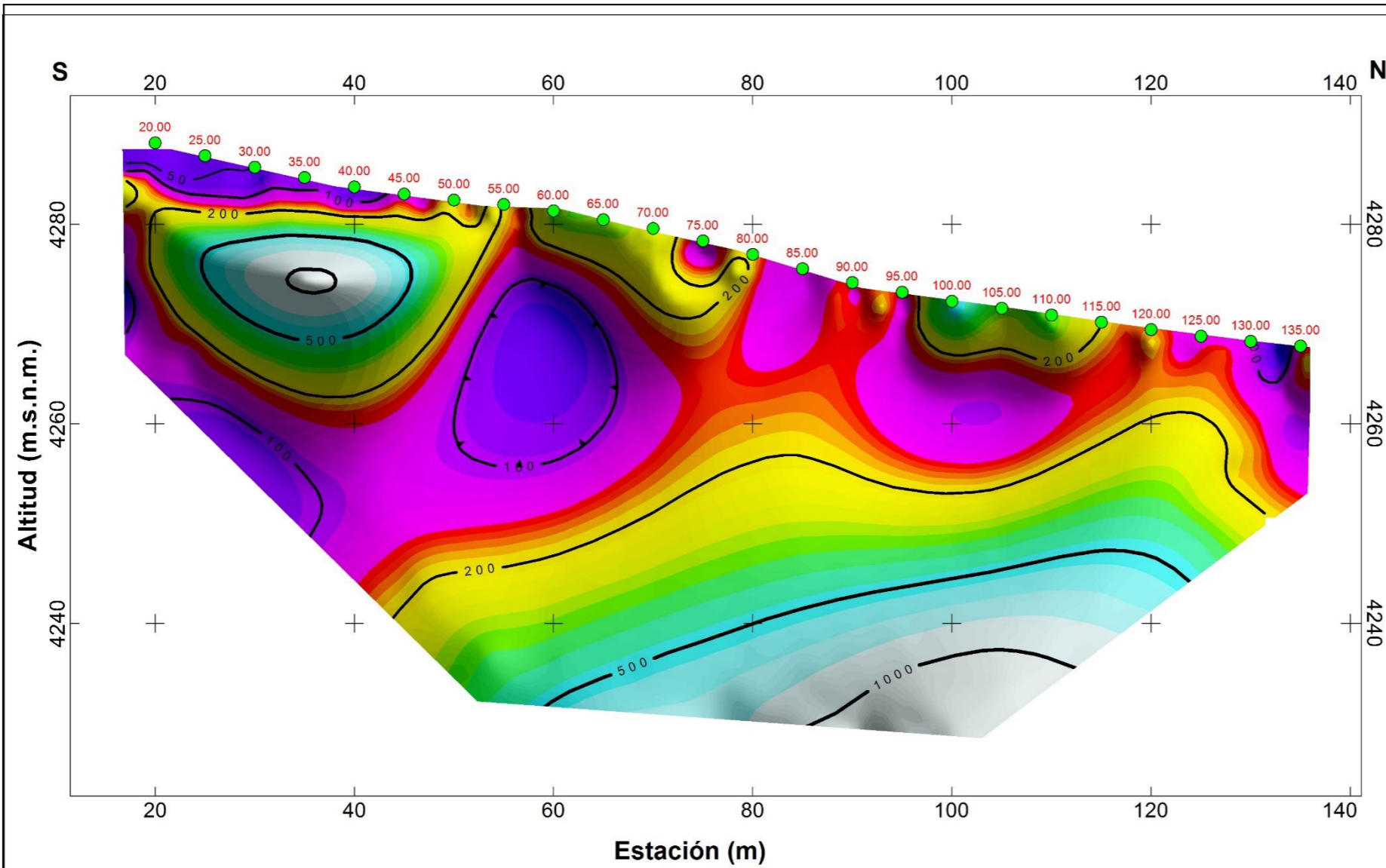
**TESIS** : EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS  
 KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA -  
 TACNA

**DPL N°** : DPL-8  
**CALICATA** : CV-8  
**COORDENADAS** : E 429786 N 8085337

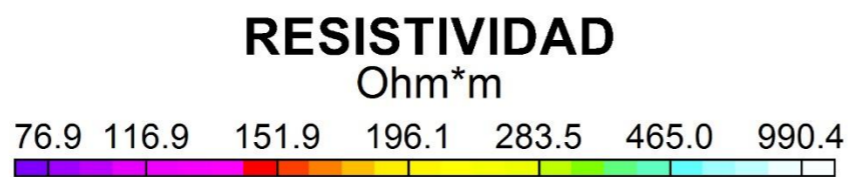
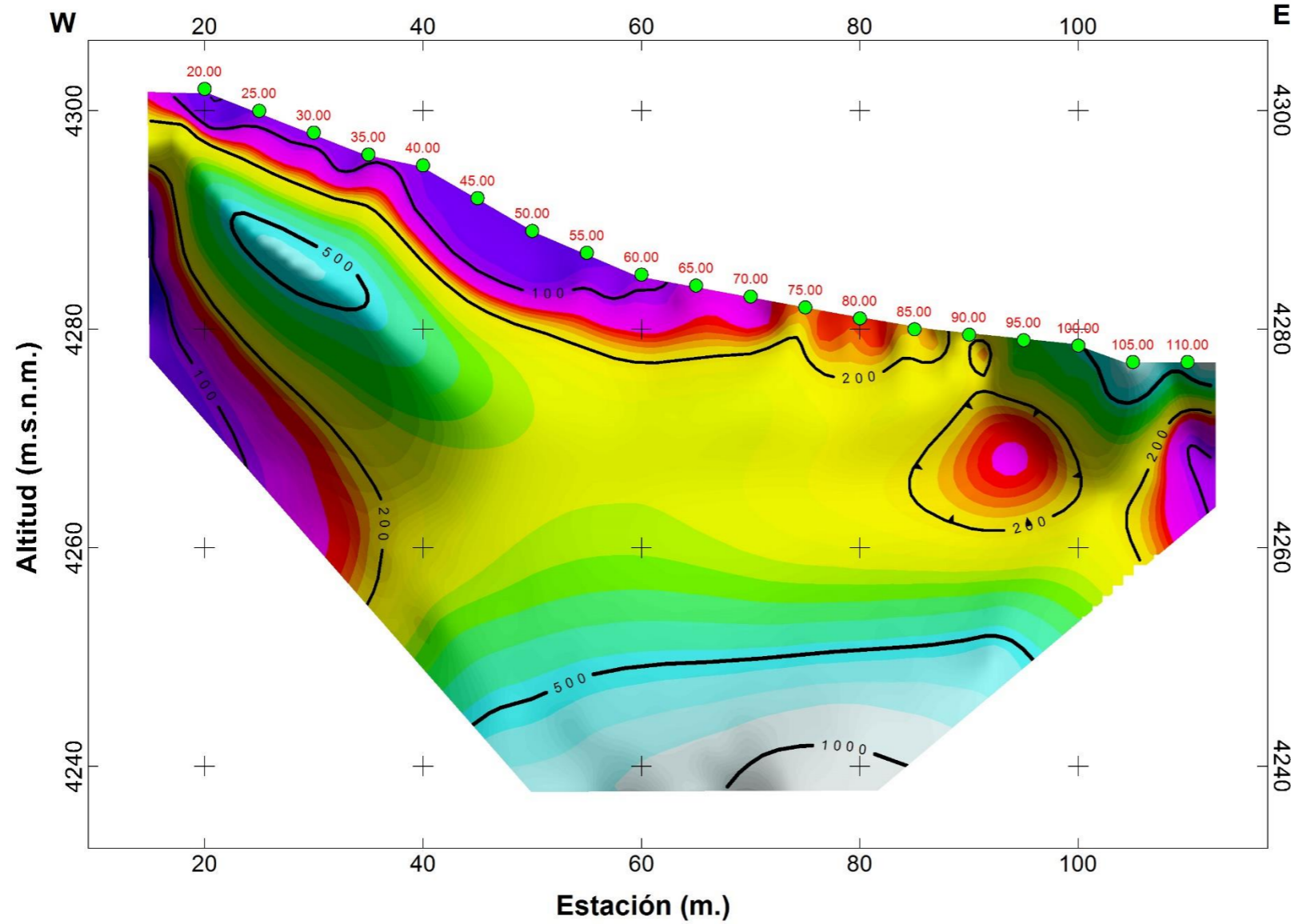
PROF. (m)	LITOLOGIA (SUCS)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES		ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N <sub>60</sub> = $\frac{N^{\circ} \text{ de golpes}}{10 \text{ cm}}$
				N SPT	$\phi$ (°) suelo friccionante	
0.00		BOFEDAL ( Limo inorganicos con presencia de plasticidad baja a media)	ML	1	28.2	
0.20				1	28.2	
0.40				1	28.2	
0.60				1	28.2	
0.80				1	28.2	
1.00						
1.20						
1.40						
1.60						
1.80						
2.00						
2.20						
2.40						
2.60						
2.80						
3.00						

**ANEXO – B**  
**TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA**

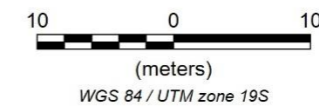
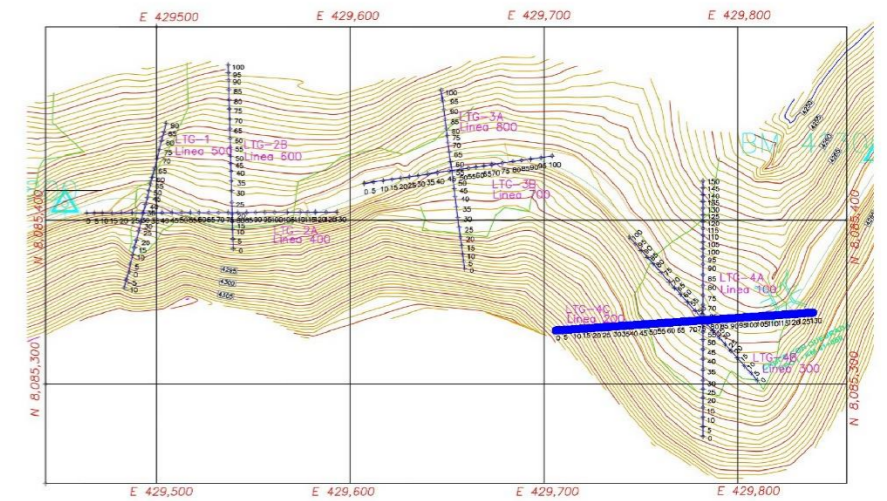
---



<b>PROYECTO ESPECIAL TACNA</b>	
<b>EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA</b>	
<b>Tomografía Eléctrica Interpretada : L 100 (LGT - CV - 4A)</b>	
SECCION N° <b>01</b>	 <b>GEOMAD E.I.R.L.</b>



**MAPA DE UBICACION DE LINEAS**



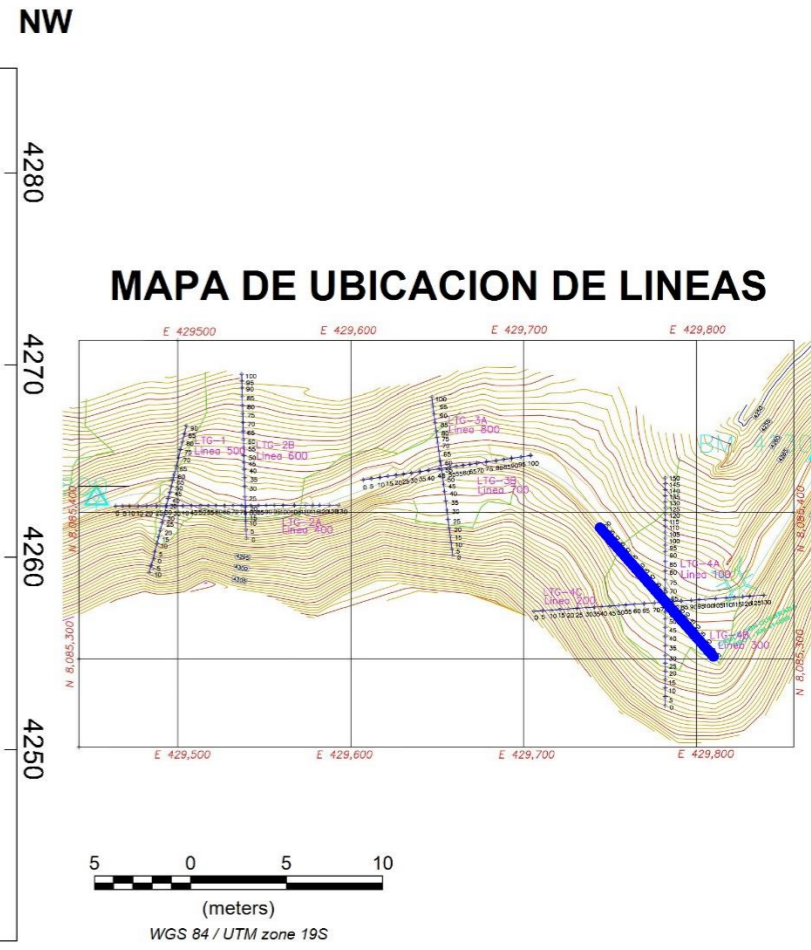
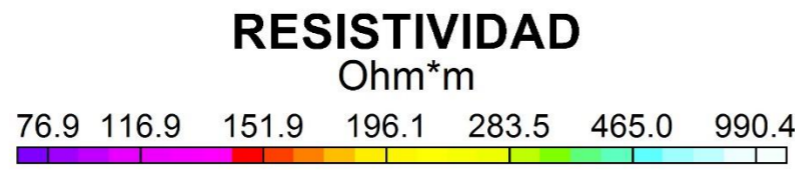
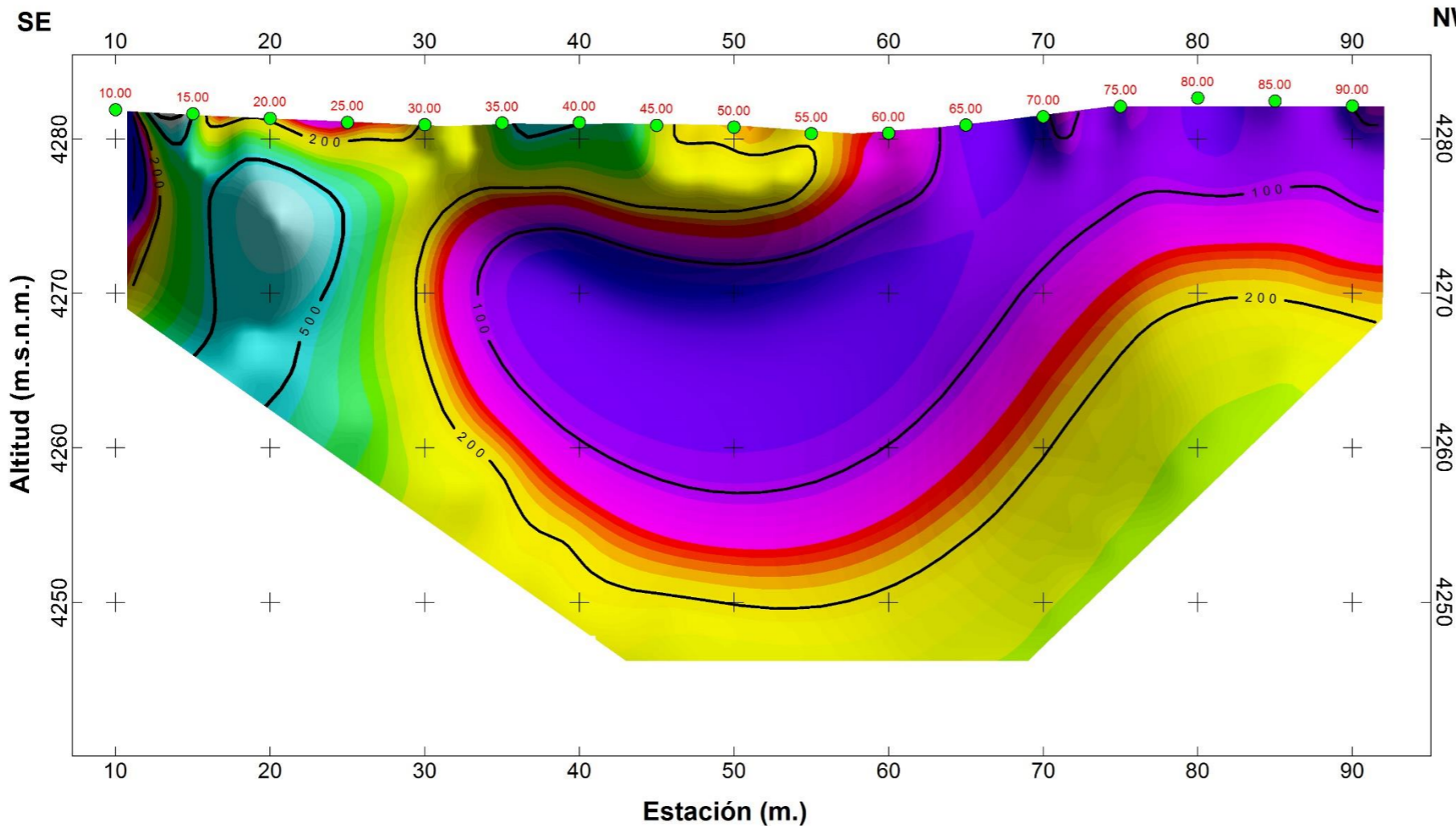
**PROYECTO ESPECIAL TACNA**

**EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION  
VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA  
Tomografía Eléctrica: L 200 (LGT - CV - 4C)**

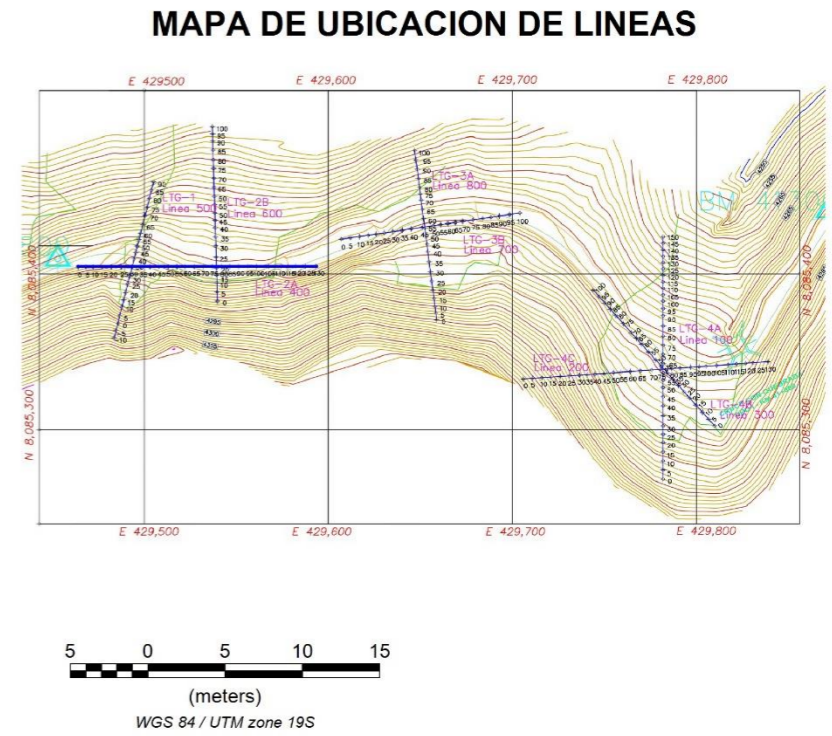
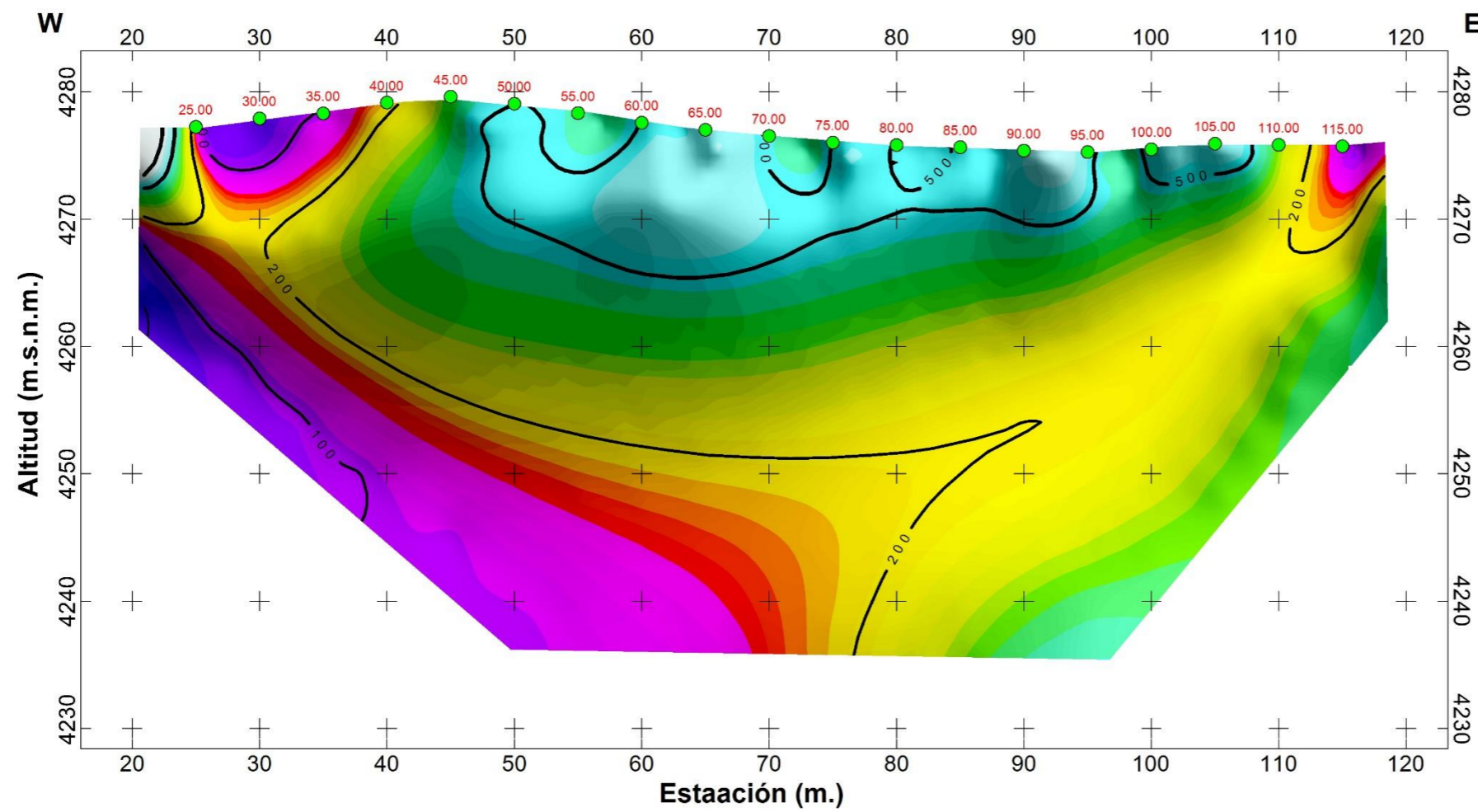
SECCION N°  
**02**



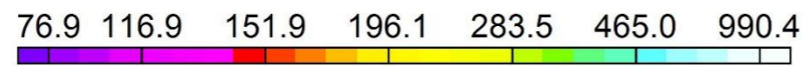
**GEOMAD E.I.R.L.**



<b>PROYECTO ESPECIAL TACNA</b>	
<b>EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA</b>	
<b>Tomografía Eléctrica: L 300 (LGT - CV - 4B)</b>	
SECCION N° <b>03</b>	 <b>GEOMAD E.I.R.L.</b>



**RESISTIVIDAD**  
Ohm\*m



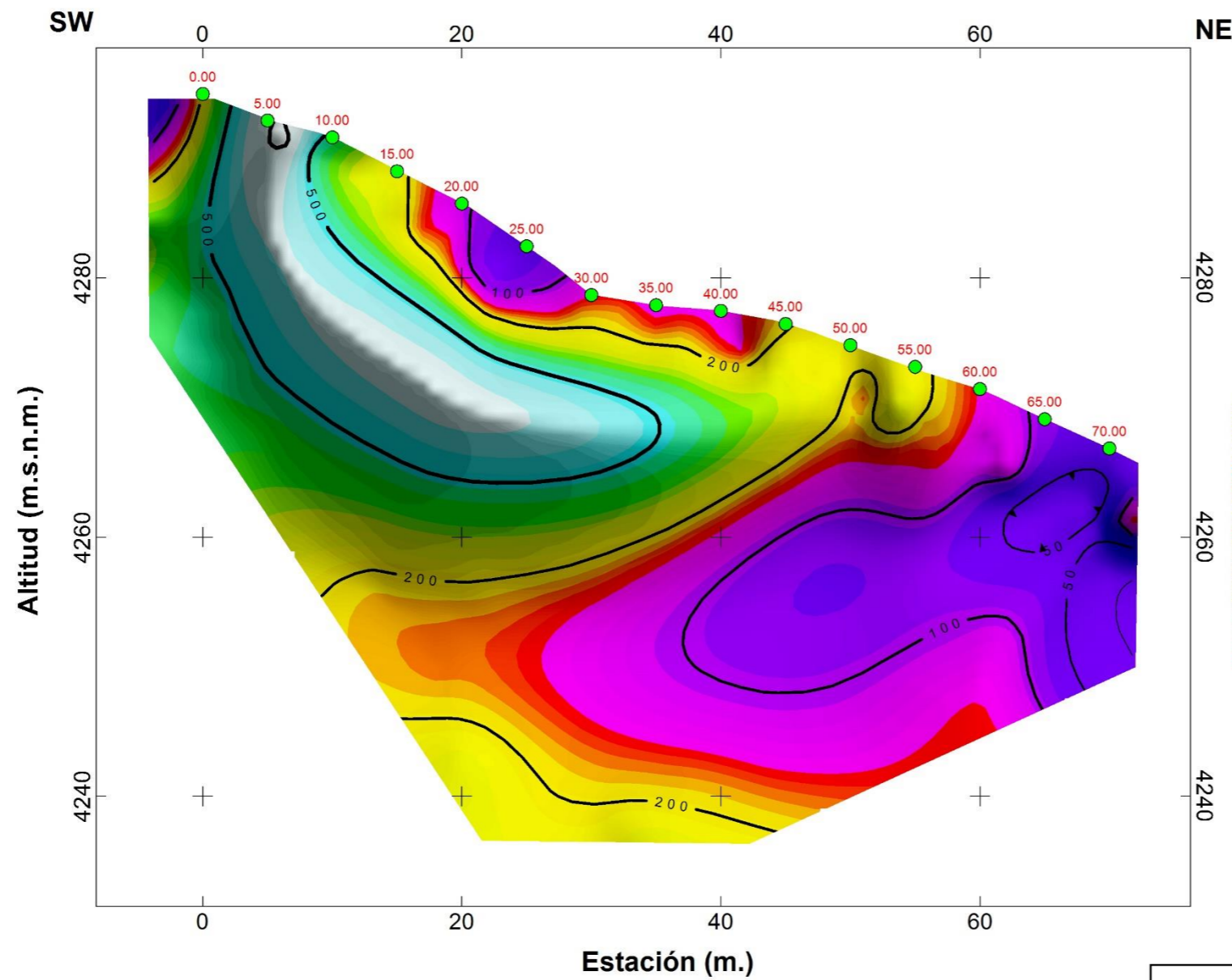
**PROYECTO ESPECIAL TACNA**

**EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION  
VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA  
Tomografía Eléctrica: L 400 (LGT - CV - 2A)**

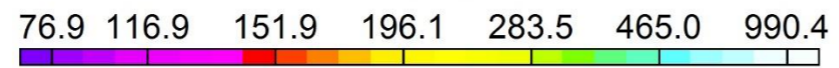
SECCION N°  
**04**



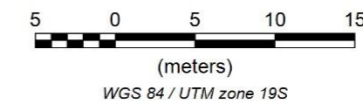
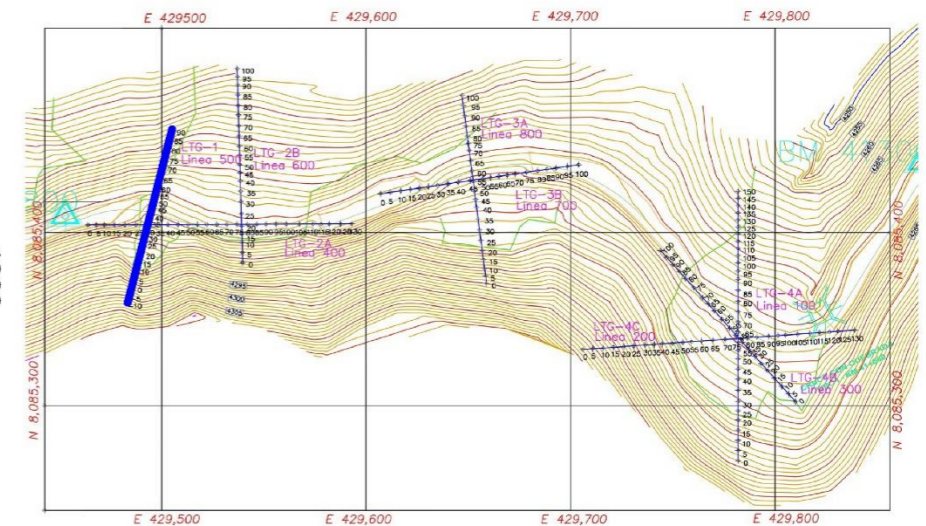
**GEOMAD E.I.R.L.**



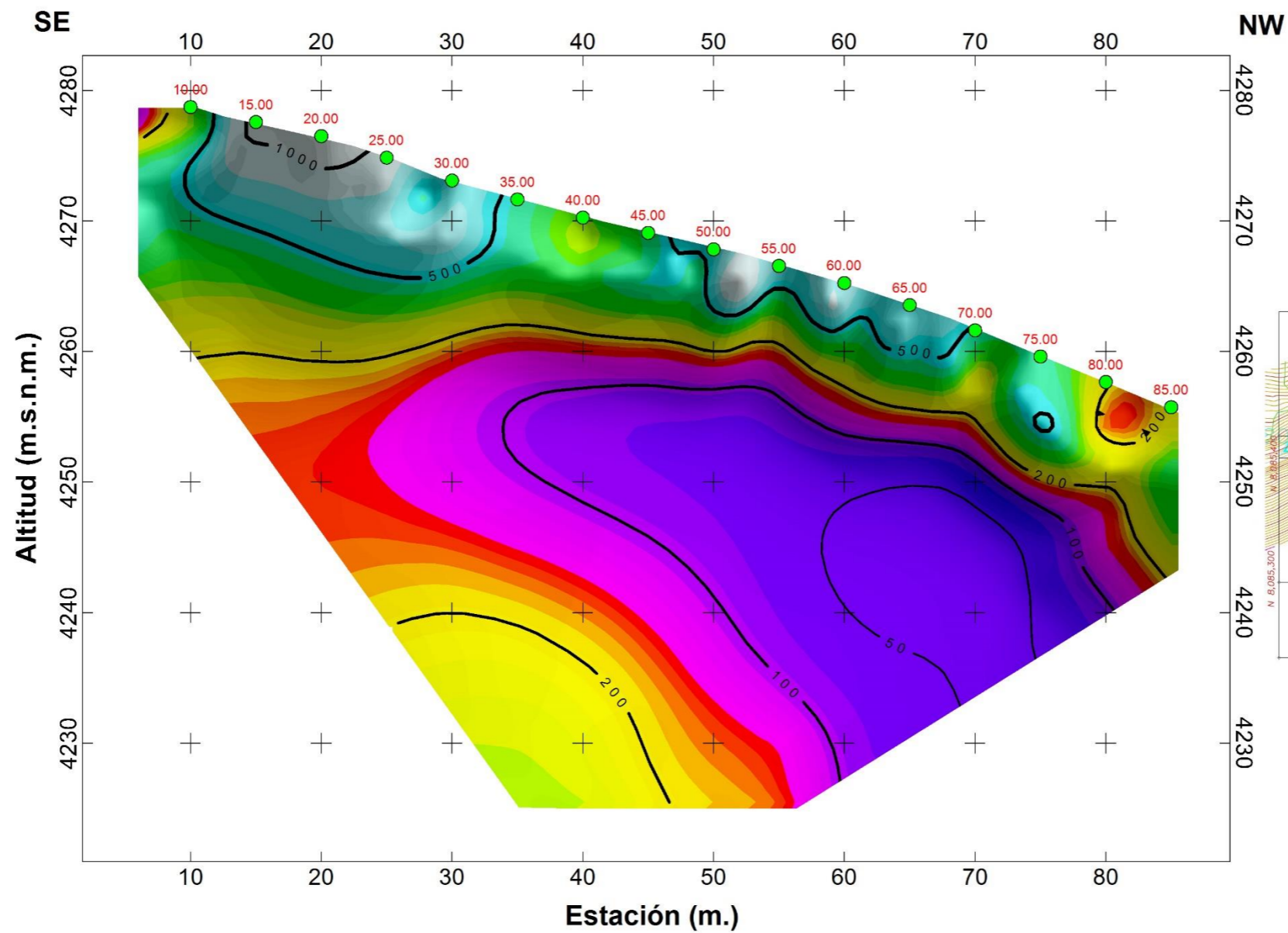
**RESISTIVIDAD**  
Ohm\*m



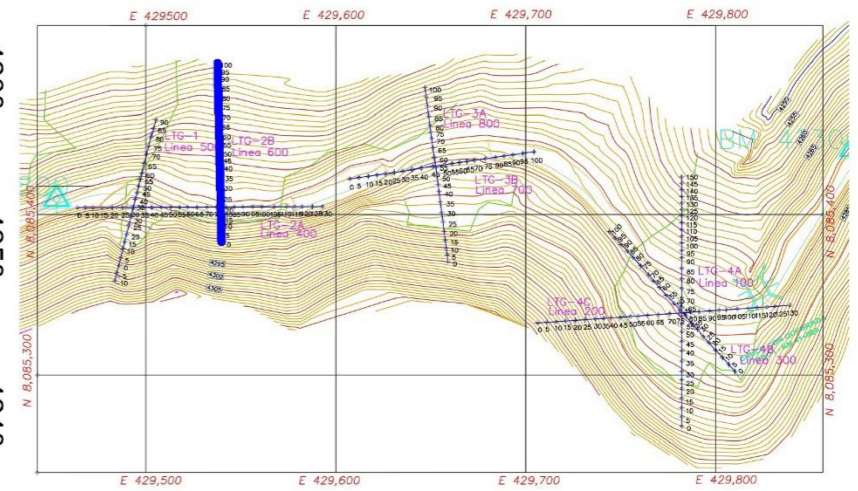
**MAPA DE UBICACION DE LINEAS**



<b>PROYECTO ESPECIAL TACNA</b>	
<b>EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION</b>	
<b>VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA</b>	
<b>Tomografía Eléctrica: L 500 (LGT - CV - 1)</b>	
SECCION N° <b>05</b>	 <b>GEOMAD E.I.R.L.</b>



**MAPA DE UBICACION DE LINEAS**



5 0 5 10 15  
(meters)  
WGS 84 / UTM zone 19S

**RESISTIVIDAD**  
Ohm\*m

76.9 116.9 151.9 196.1 283.5 465.0 990.4

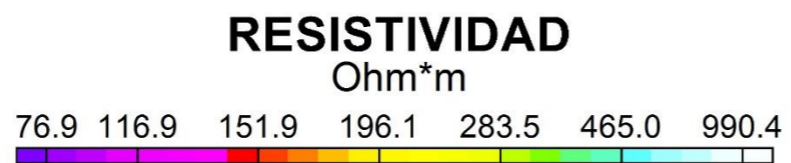
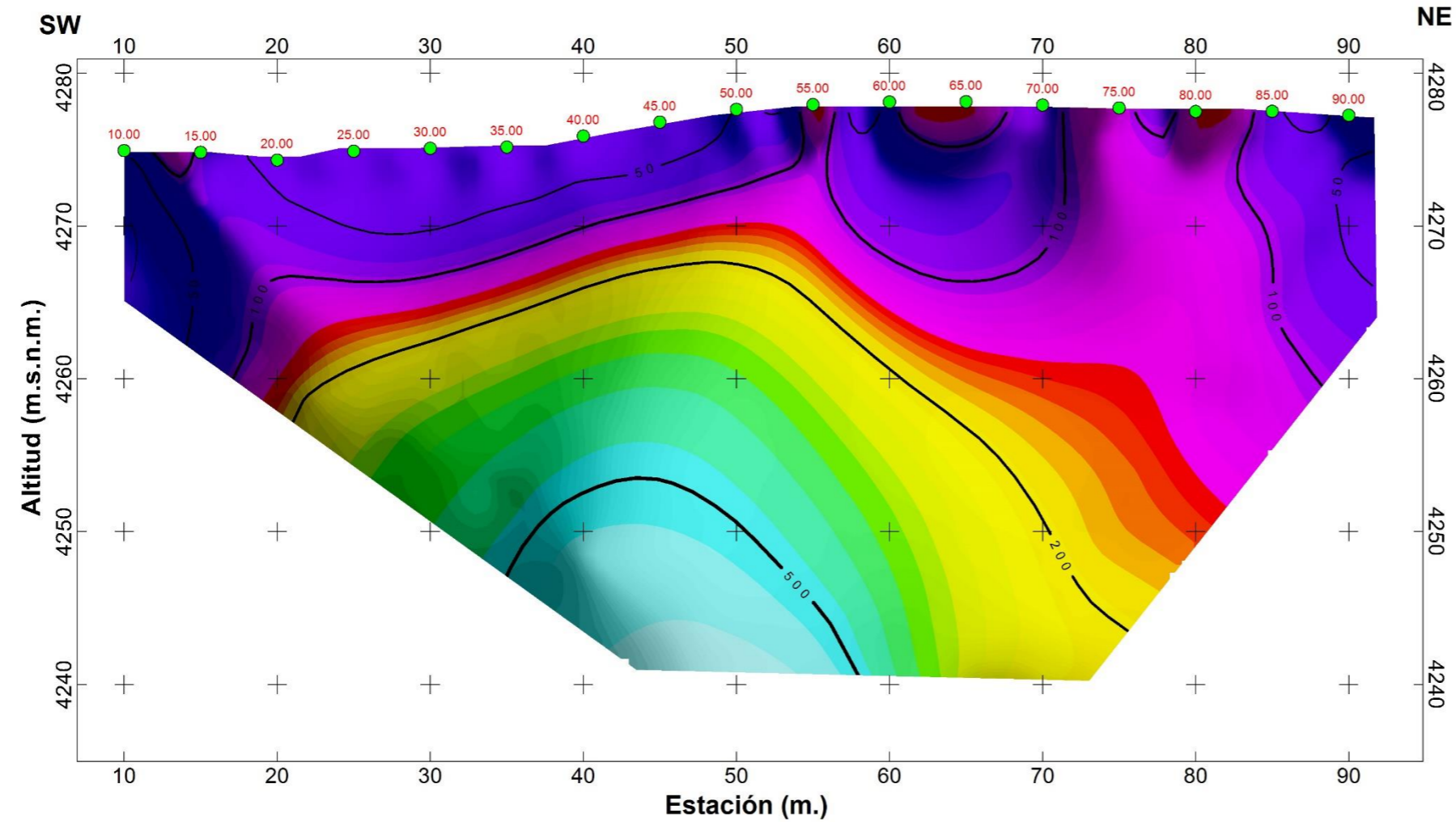
**PROYECTO ESPECIAL TACNA**

**EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION  
VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA  
Tomografía Eléctrica: L 600 (LGT - CV - 2B)**

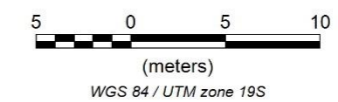
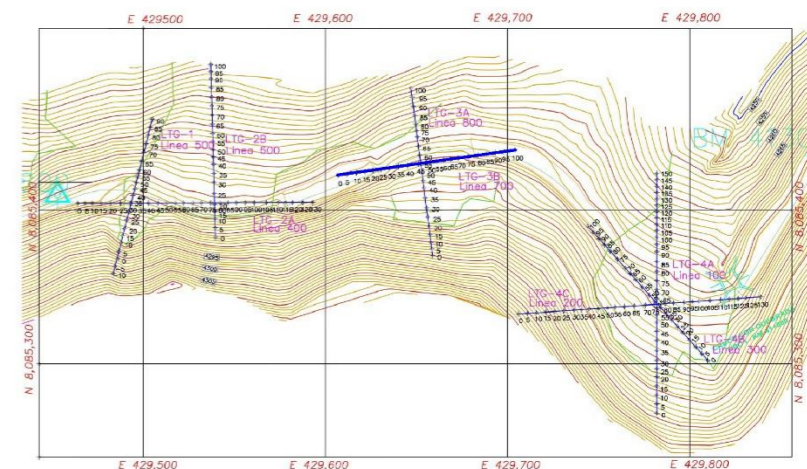
SECCION N°  
**06**



**GEOMAD E.I.R.L.**



**MAPA DE UBICACION DE LINEAS**



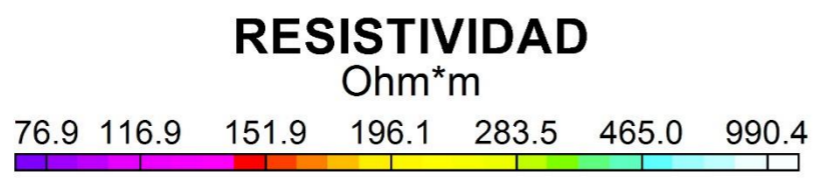
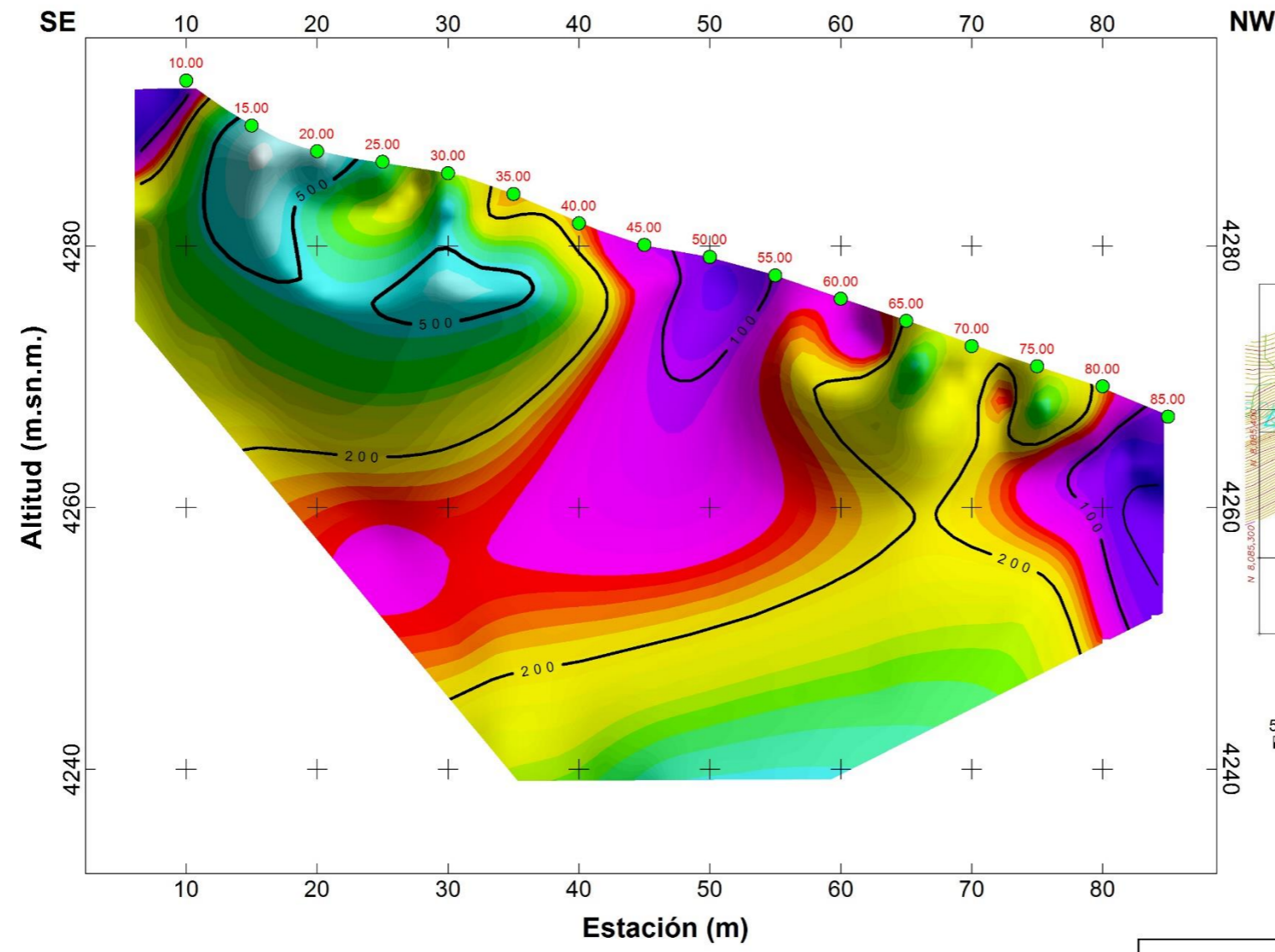
**PROYECTO ESPECIAL TACNA**

**EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION  
VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA  
Tomografía Eléctrica: L 700(LGT - CV - 3B)**

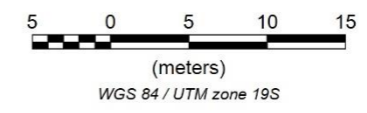
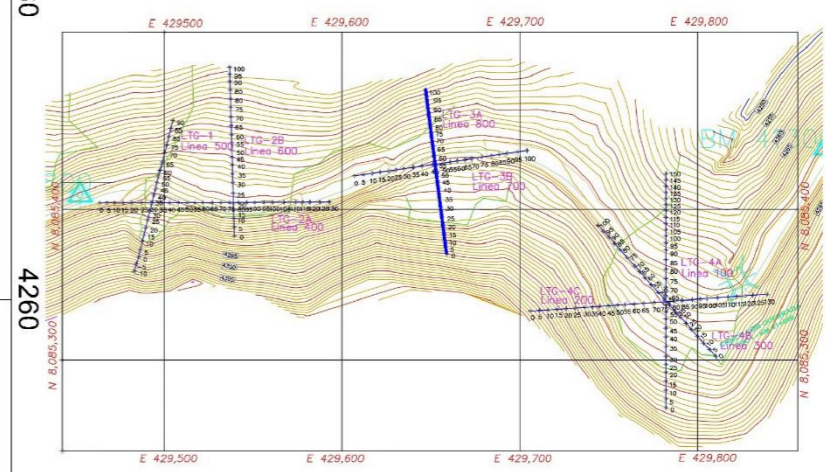
SECCION N°  
**07**



**GEOMAD E.I.R.L.**



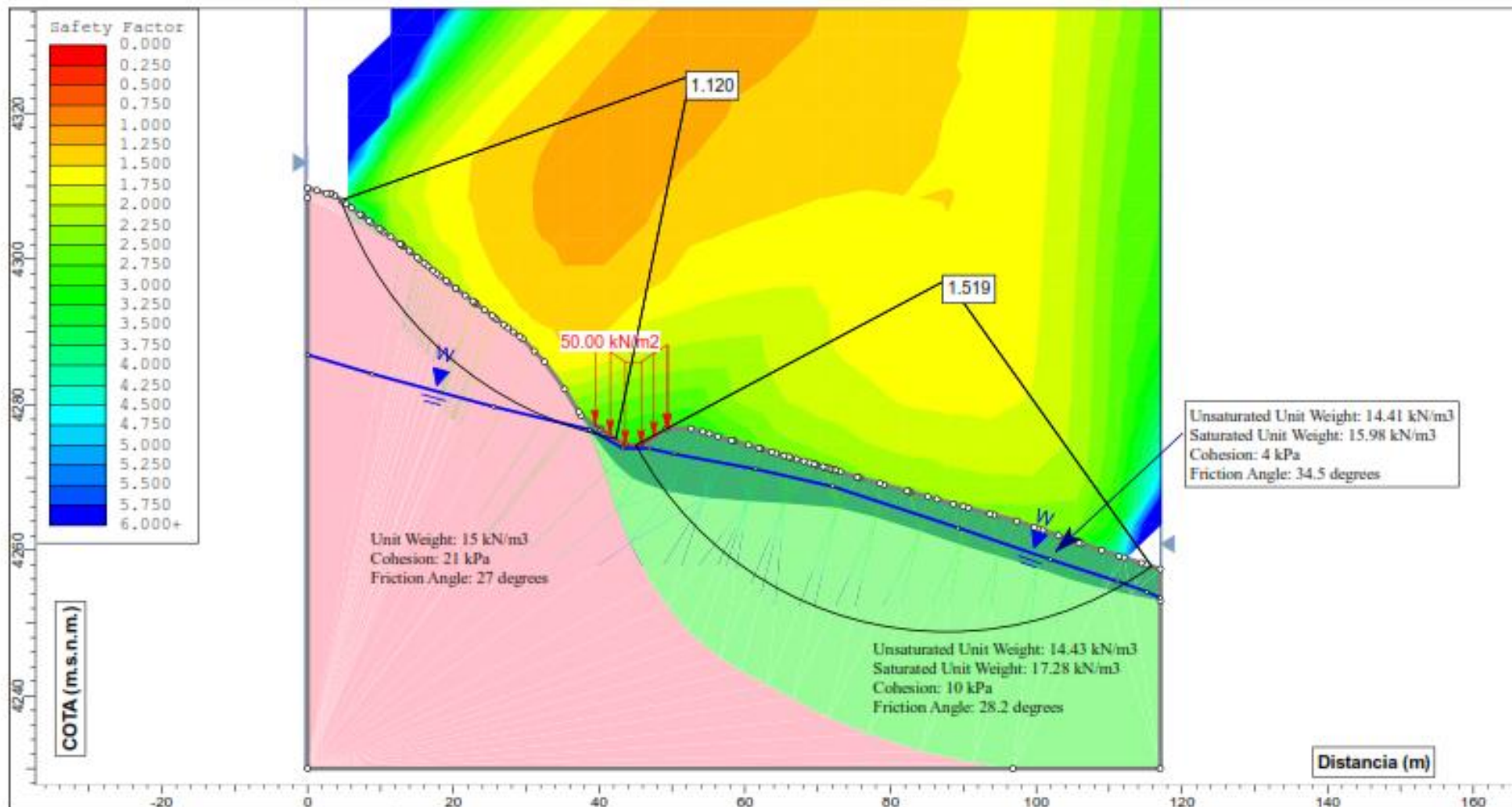
**MAPA DE UBICACION DE LINEAS**



<b>PROYECTO ESPECIAL TACNA</b>		
<b>EXPEDIENTE CANAL DE CONDUCCION VILACHAULLANI - CALACHACA-CHUAPALCA Tomografía Eléctrica: L 800 (LGT - CV - 3A)</b>		
SECCION N° <b>08</b>		<b>GEOMAD E.I.R.L.</b>

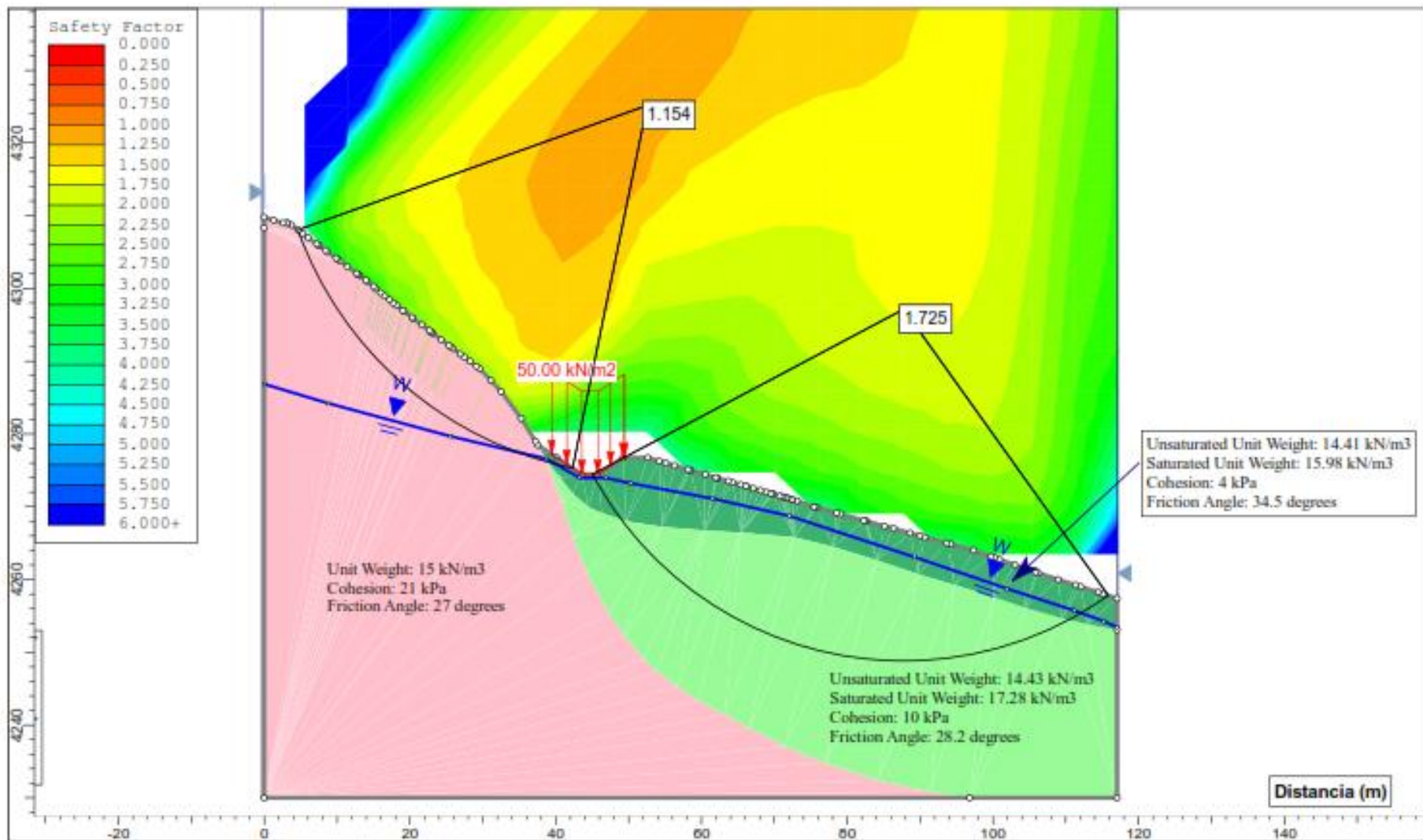
**ANEXO – C**  
**ESTABILIDAD DE TALUDES ANÁLISIS**  
**ESTÁTICO**

---

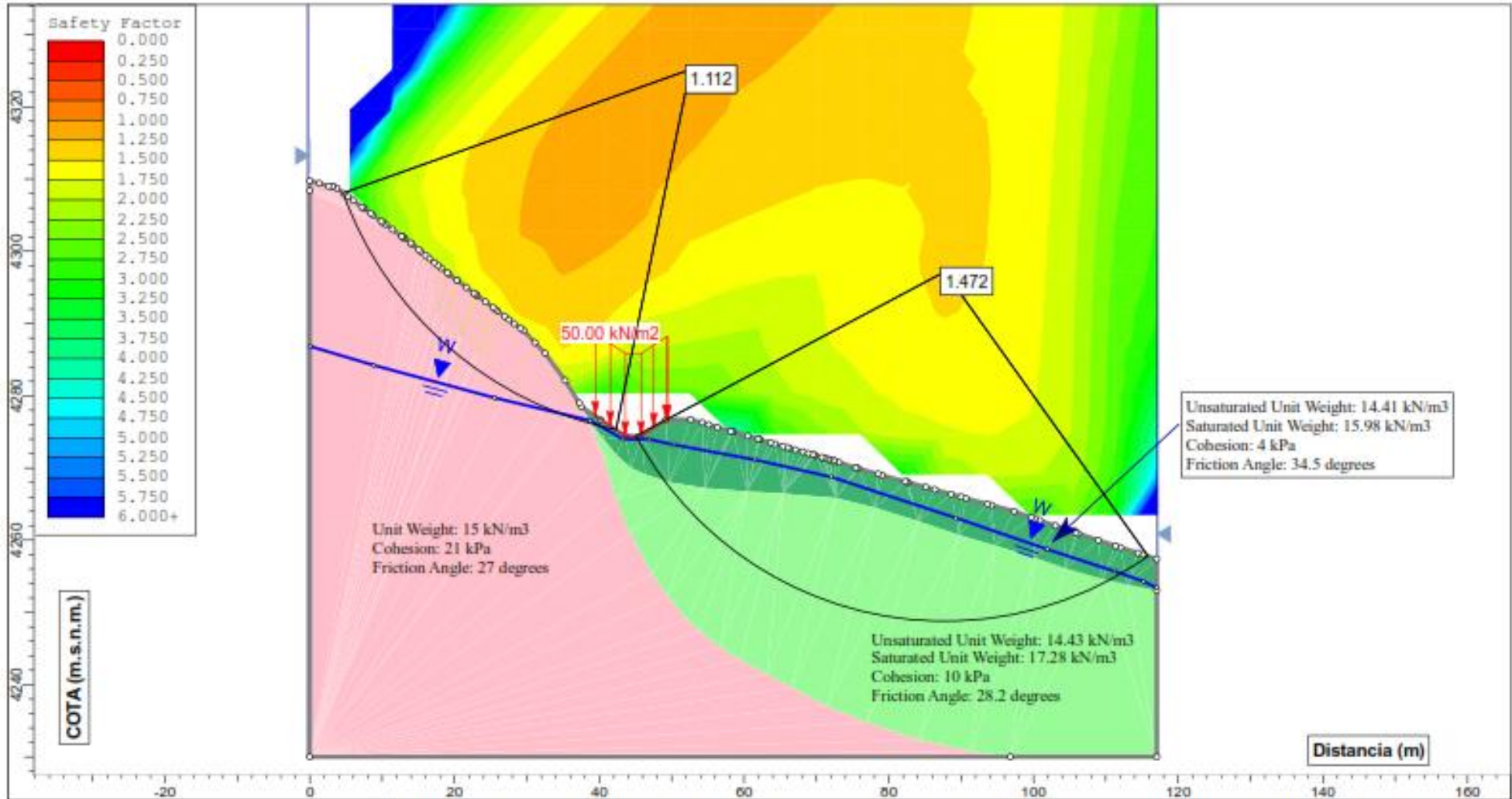


EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA

Análisis: <b>ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS</b>			
Revisado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala:	1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo:	ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBI Sector 1, Perfil A - A'



	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: <b>ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO</b>		
	Realizado por: <b>Bach. Jony Olgún P.</b>	Escala: <b>1:750</b>	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBG
	Fecha: <b>Junio, 2018</b>	Archivo: <b>Sector 1, Perfil A - A'</b>	

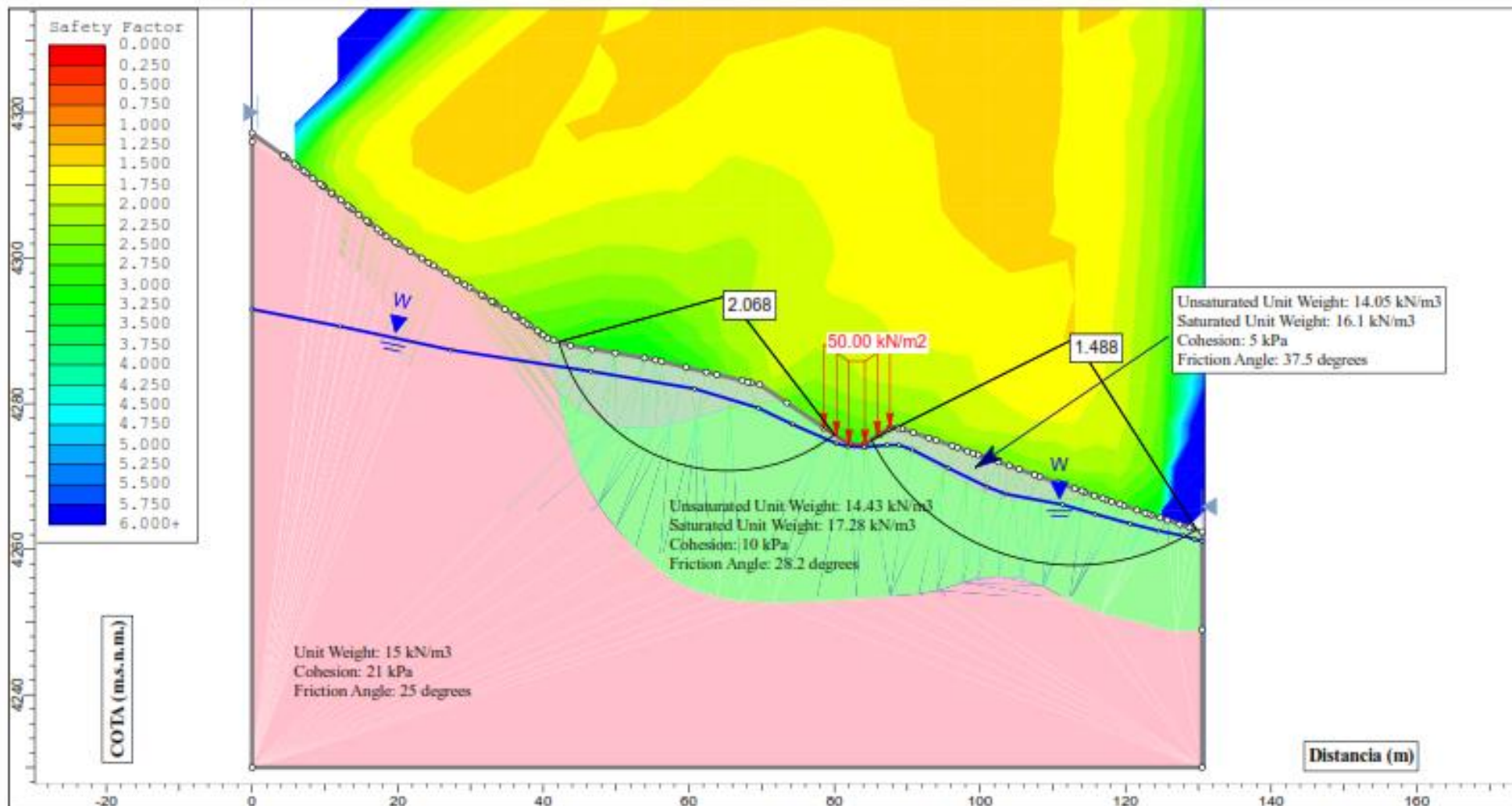



EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA

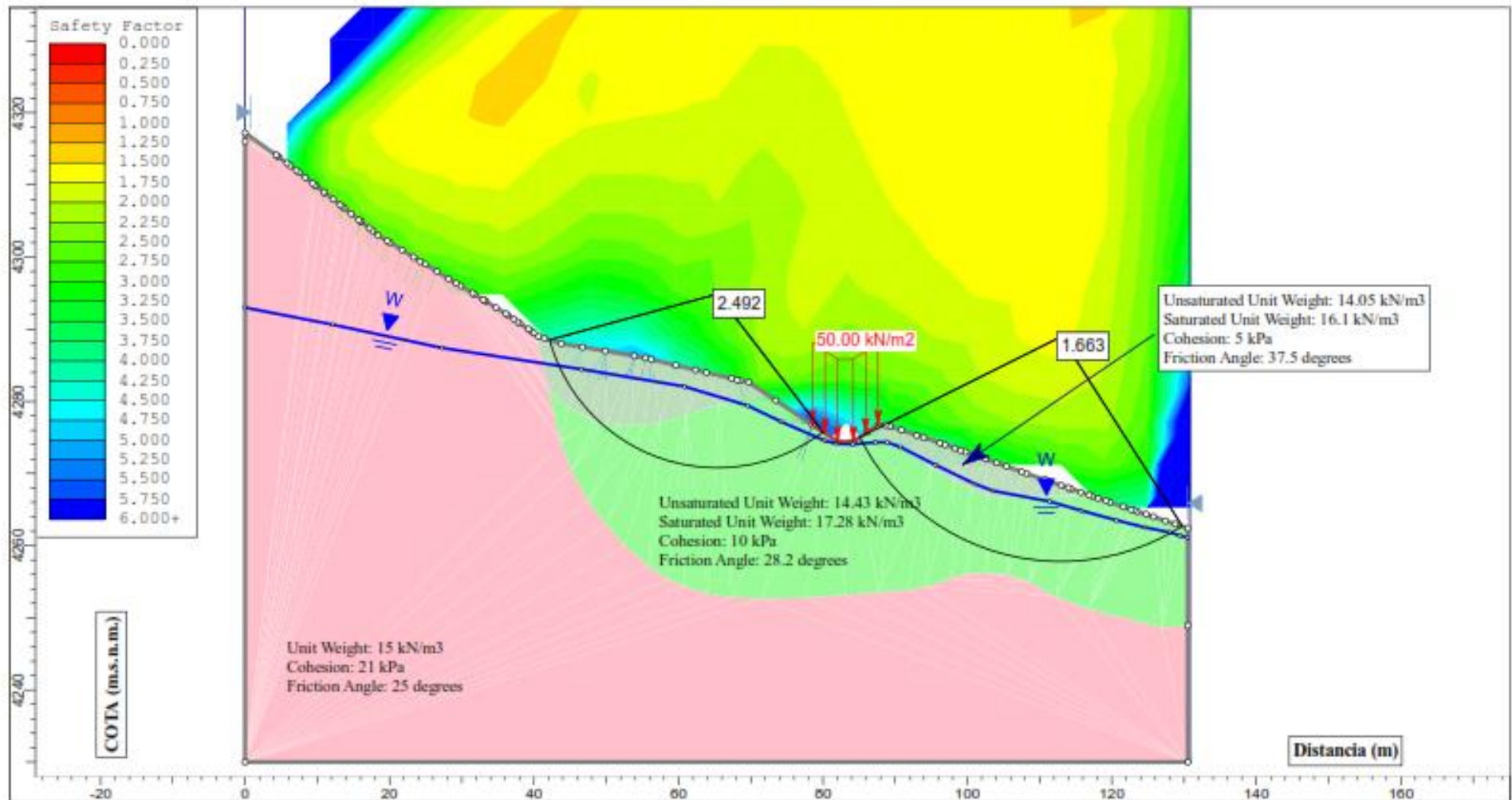
Análisis: **ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE JANBU**


Realizado por: **Bach. Jony Olguin P.** Escala: **1:750** ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBG

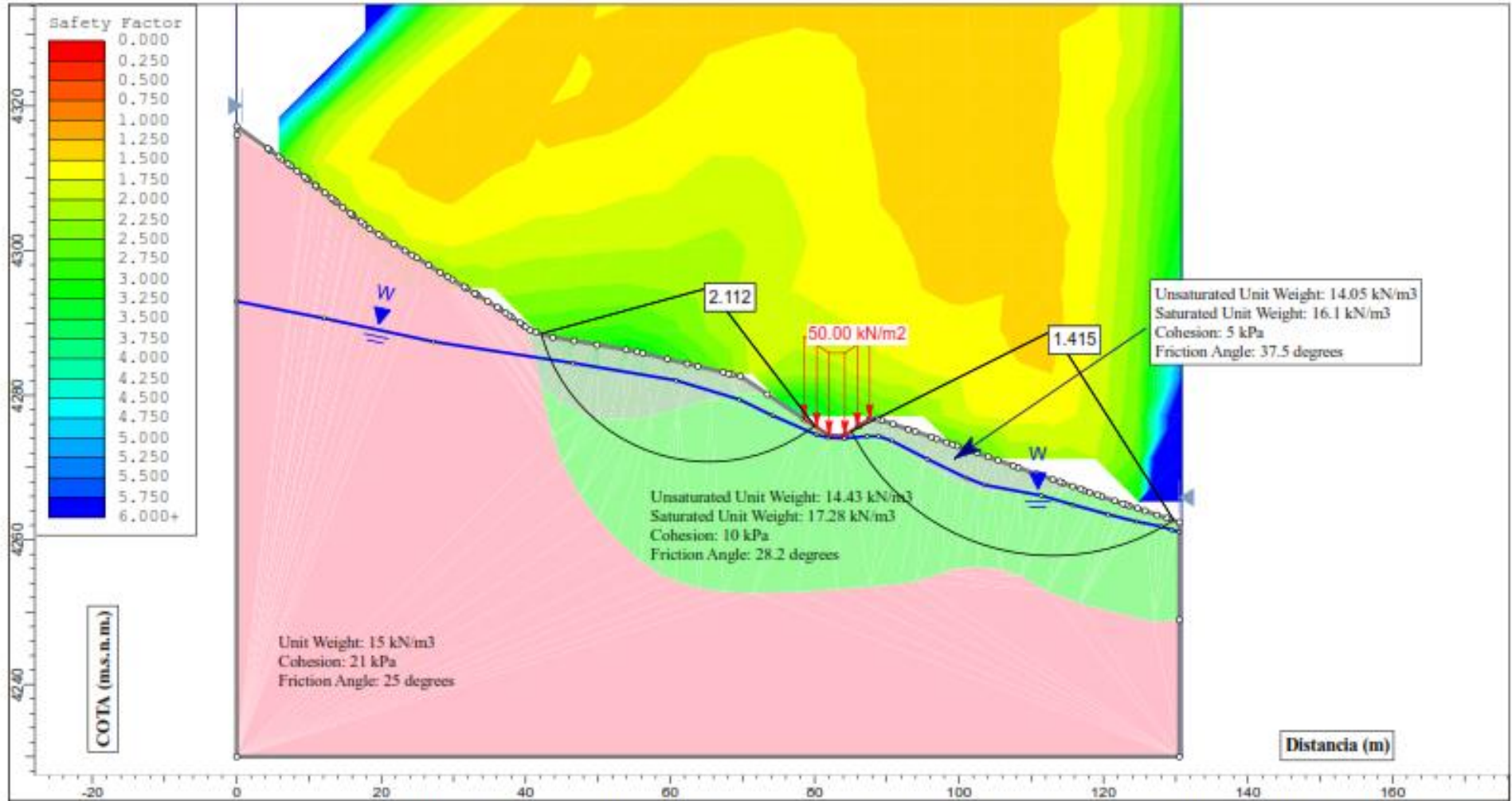
Fecha: **Junio, 2018** Archivo: **Sector 1, Perfil A - A'**




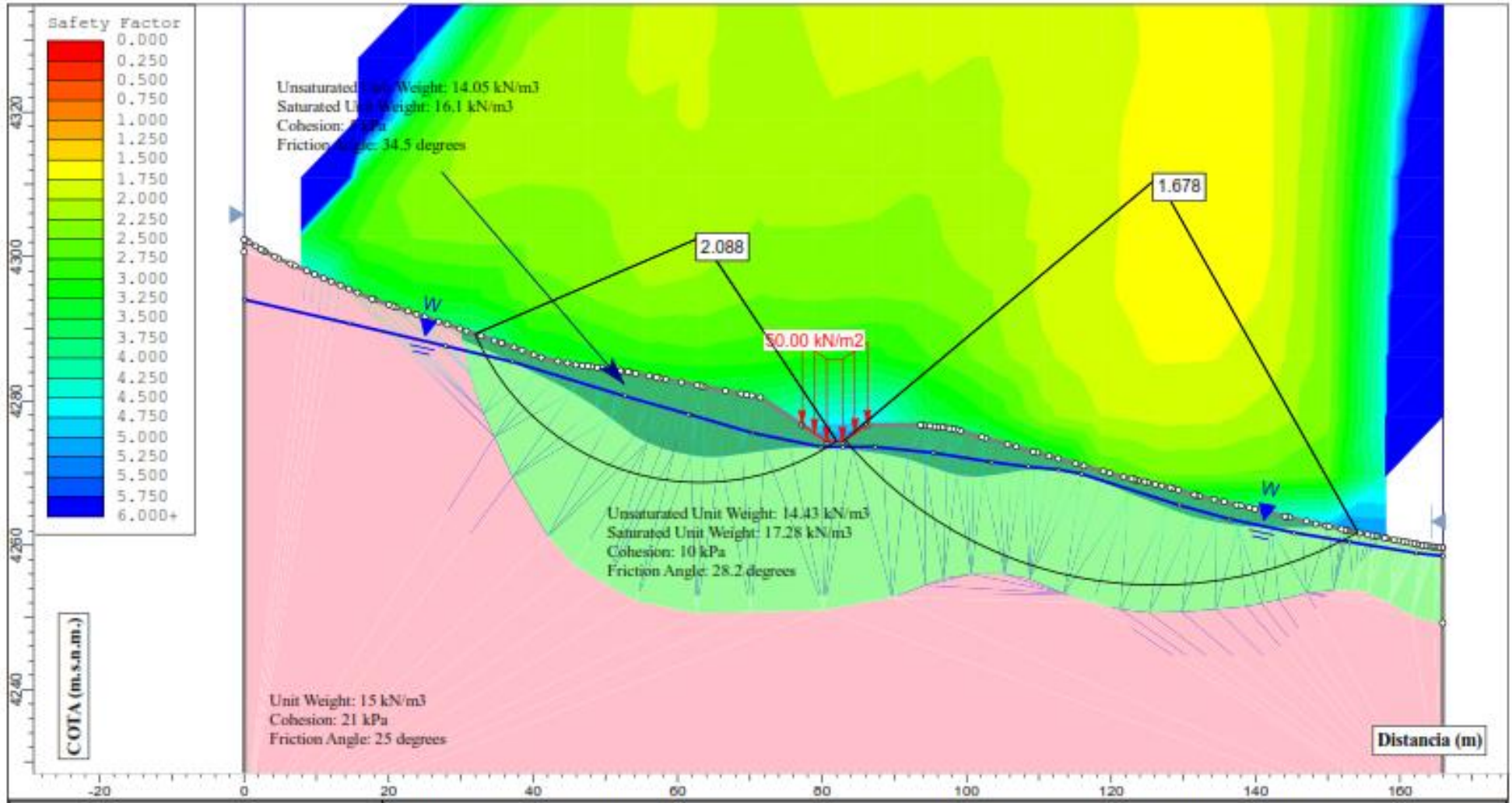
	<b>EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA</b>		
	<b>Análisis: ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS</b>		
	Realizado por: Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTÉCNICA - UNIBO
	Fecha: Junio, 2018	Archivo:	Sector 2, Perfil B - B'




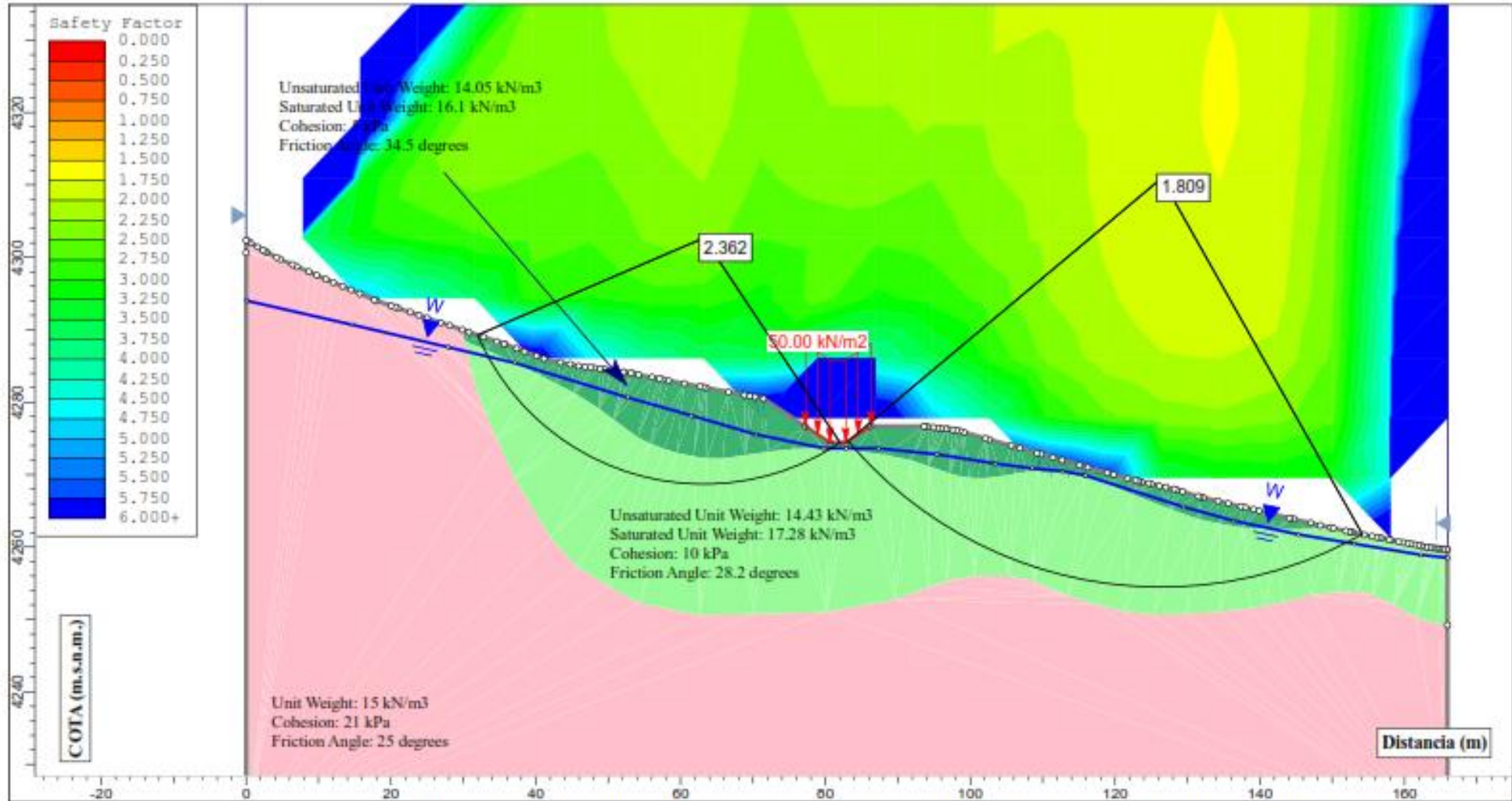
	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUJAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: <b>ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO</b>		
	Realizado por: Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBG
	Fecha: Junio, 2018	Archivo:	Sector 2, Perfil B - B'



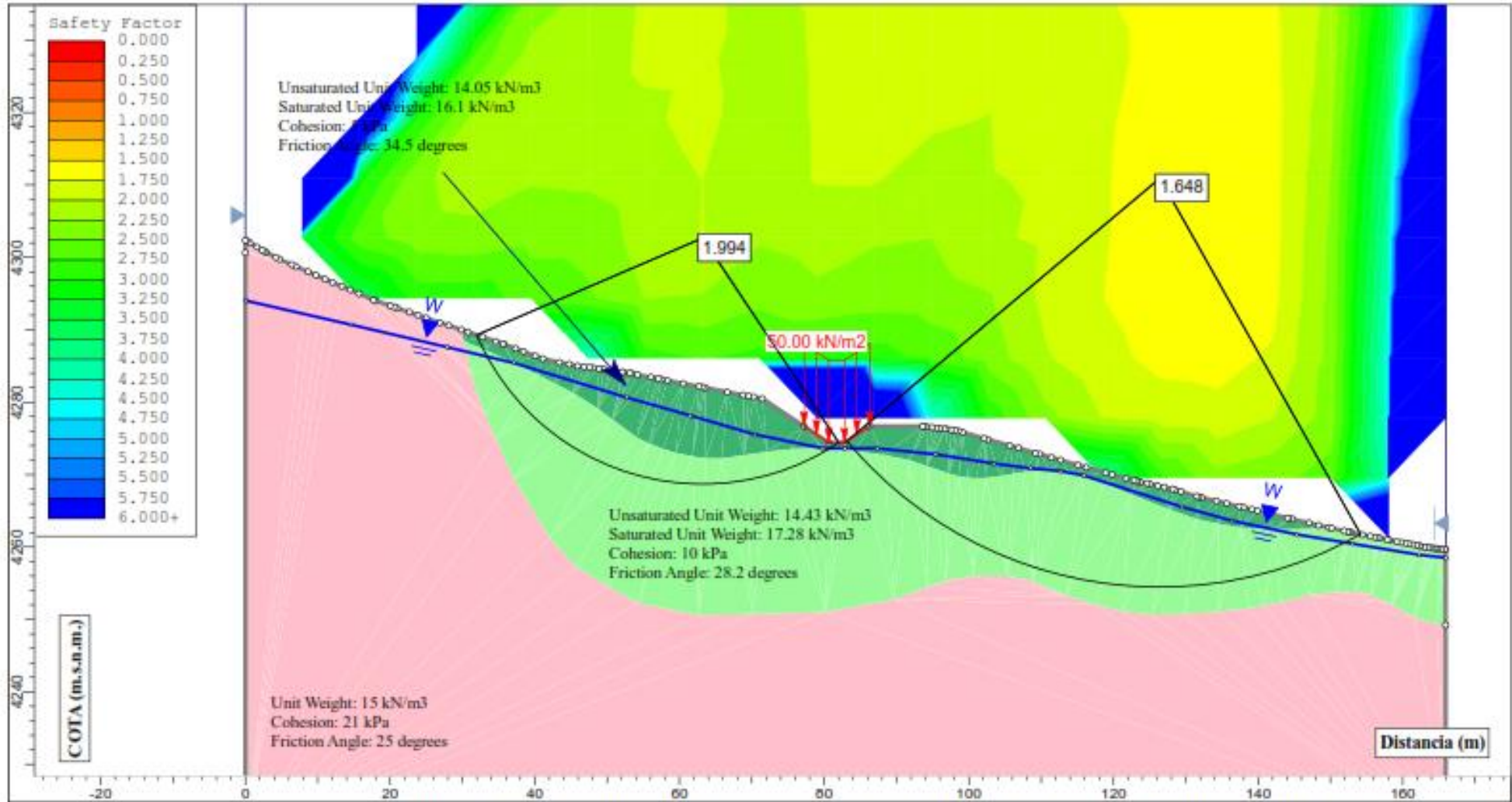
	<b>EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA</b>		
	<b>Análisis: ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE JANBU</b>		
	<b>Realizado por:</b> Bach. Jory Olguin P.	<b>Escala:</b> 1:750	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTÉCNICA - UNIBG
	<b>Fecha:</b> Junio, 2018	<b>ArNo:</b>	Sector 2, Perfil B - B'



	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: <b>ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS</b>		
	Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750
	Fecha:	Junio, 2018	Archivo: Sector 3, Perfil C - C'



EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA			
Análisis: <b>ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO</b>			
Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala:	1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo:	ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTÉCNICA - UNIBG Sector 3, Perfil C - C'



EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA

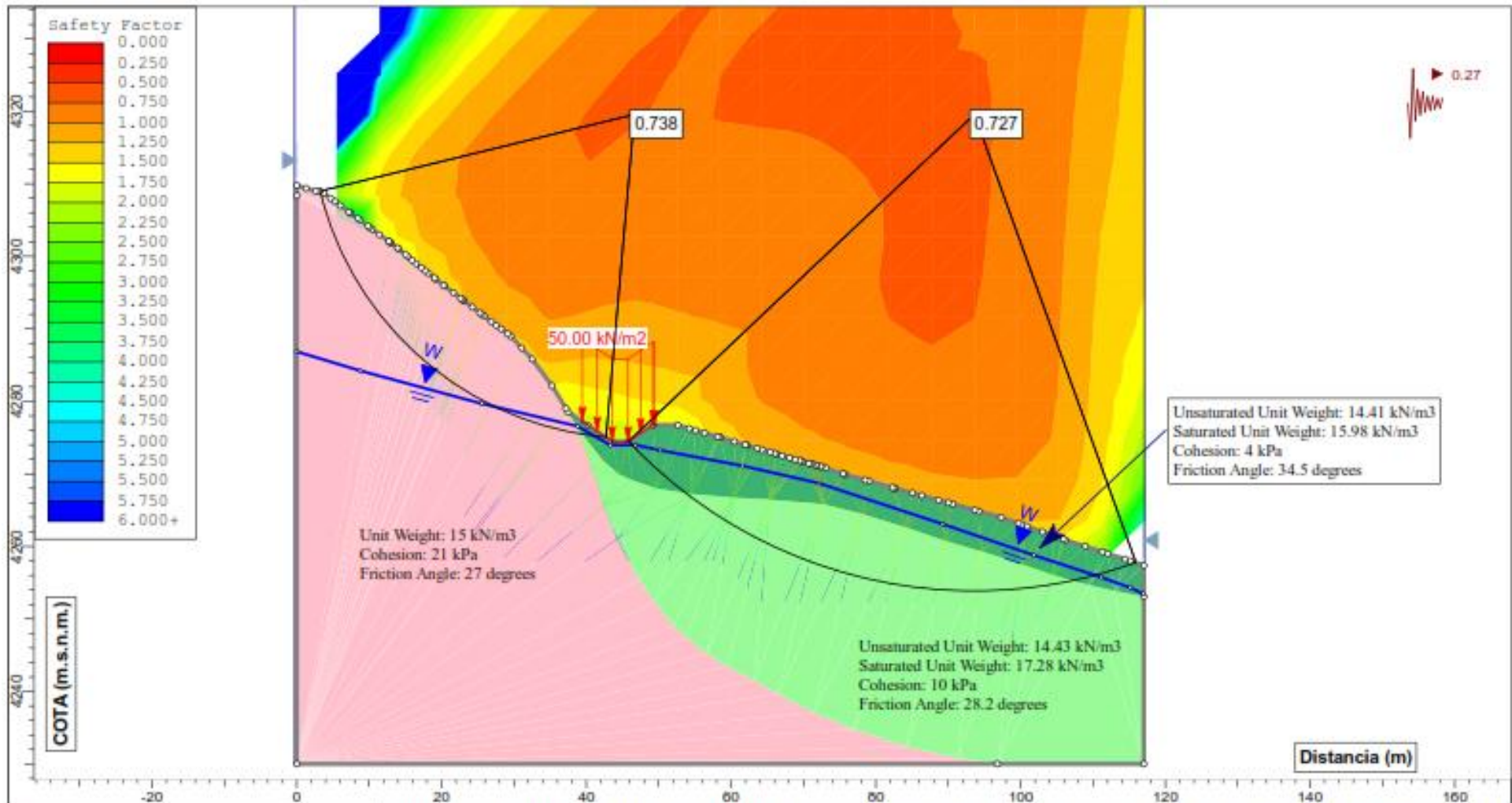
Análisis: **ANÁLISIS ESTÁTICO POR EL MÉTODO DE JANBU**

Realizado por: **Bach. Jony Olguin P.**      Escala: **1:750**      ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTÉCNICA - UNIBG

Fecha: **Junio, 2018**      Archivo: **Sector 3, Perfil C - C'**

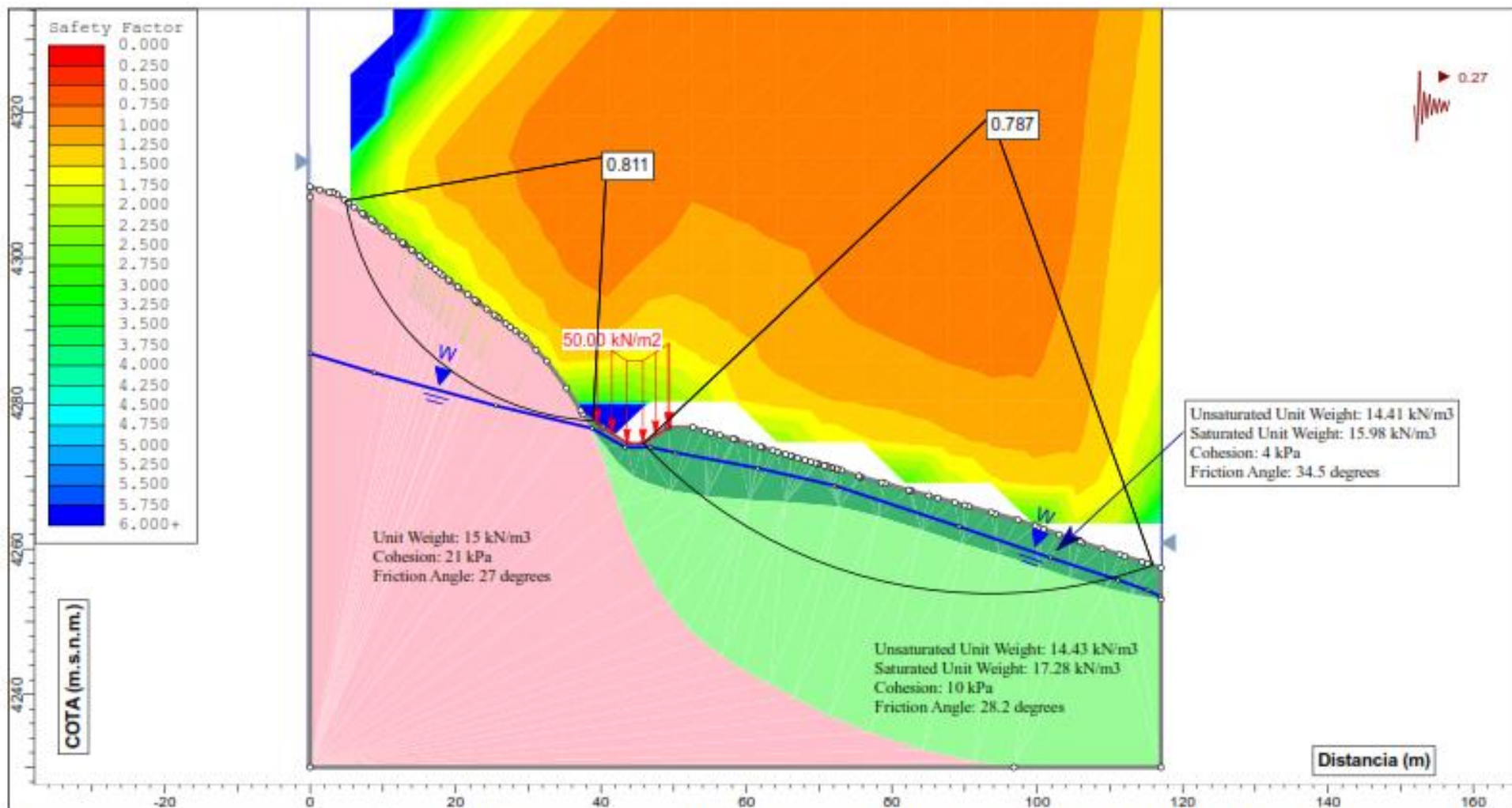
**ANEXO – D**  
**ESTABILIDAD DE TALUDES ANÁLISIS**  
**PSEUDOESTÁTICO**

---

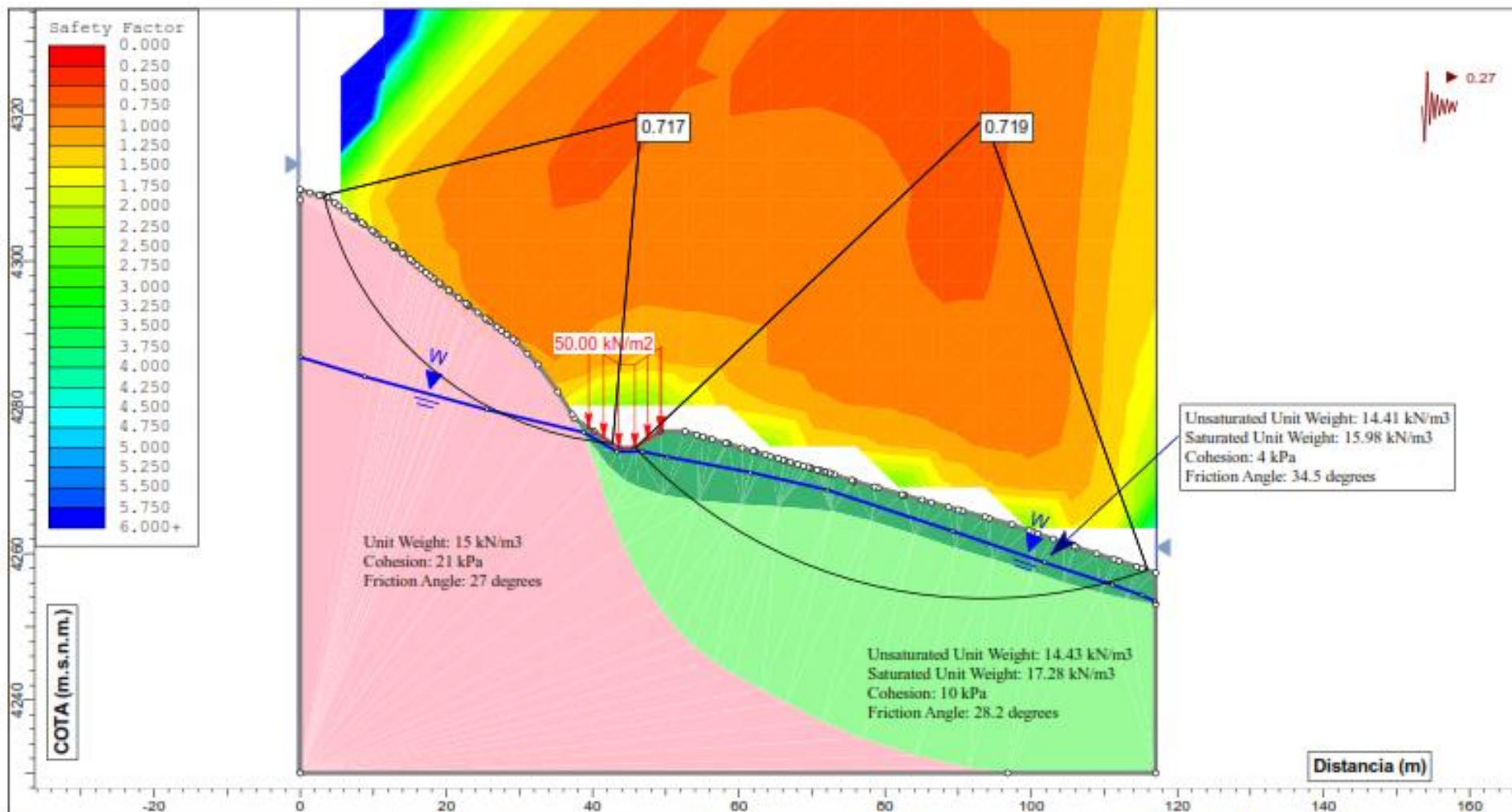


	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: <b>ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS</b>		
	Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750
	Fecha:	Junio, 2018	Activo:
			ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO
			Sector 1, Perfil A - A'

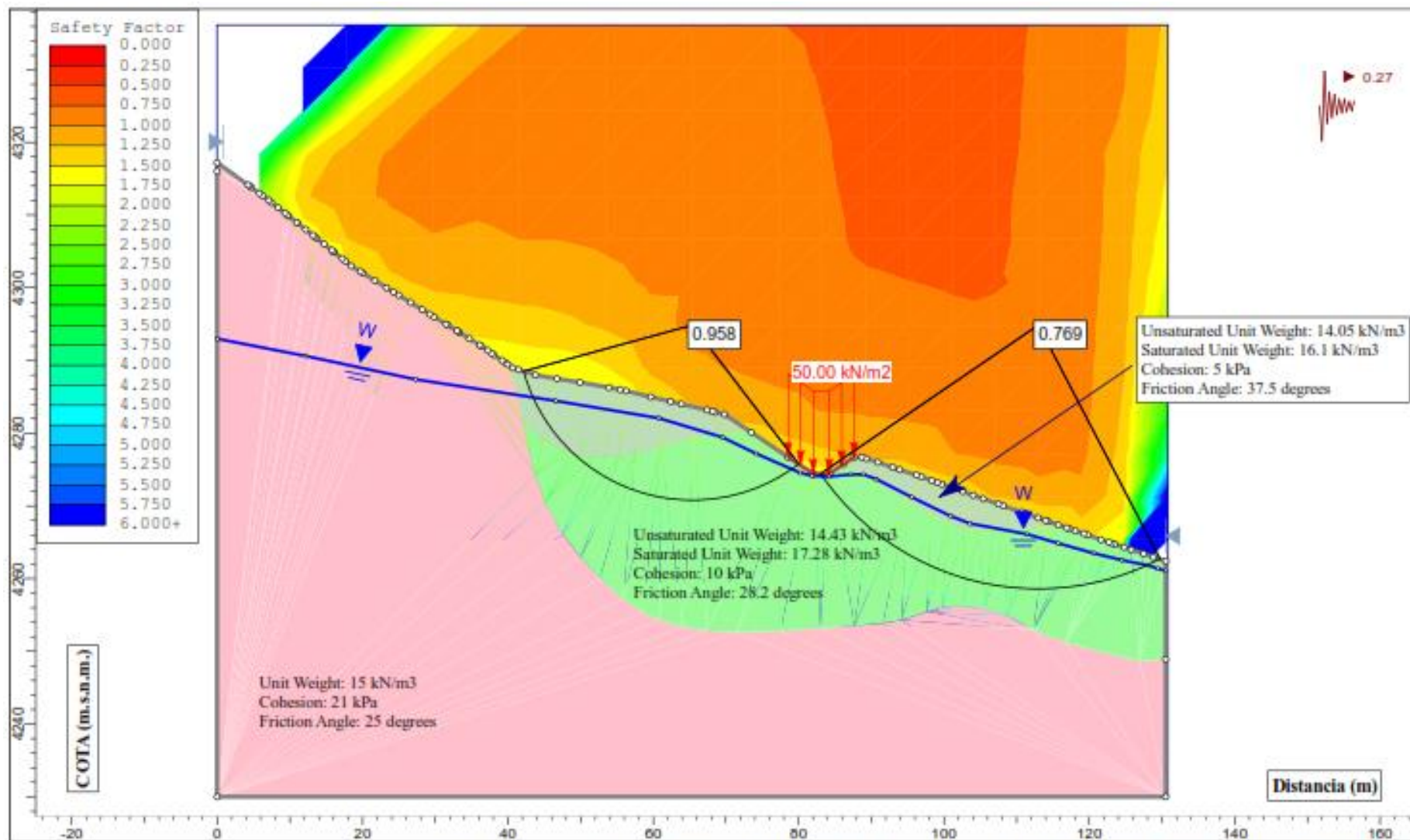
SLIDINTERPRET 8.000



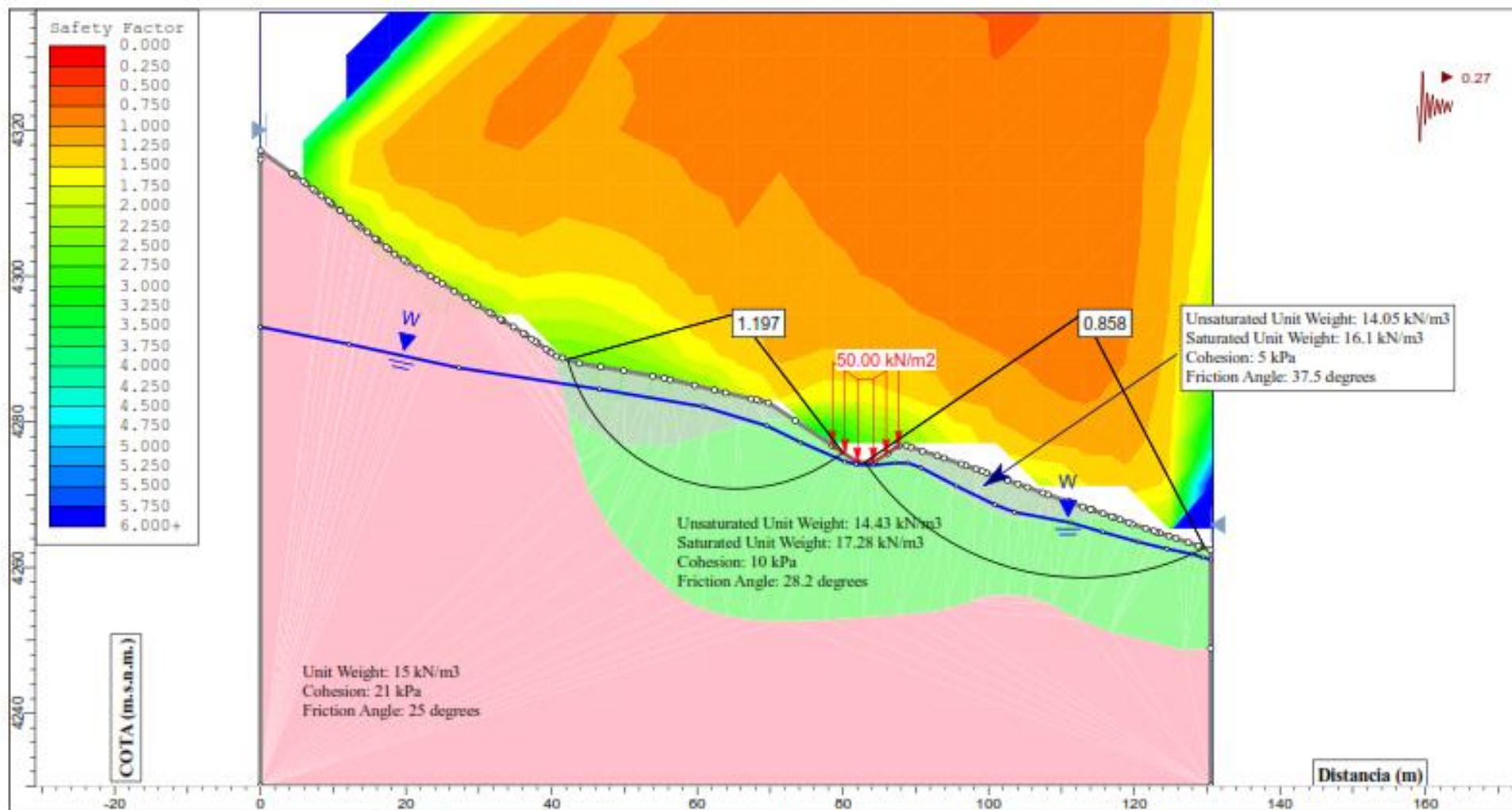
EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI TARATA - TACNA			
Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO			
Realizado por:	Bach. Jony Olguín P.	Escala:	1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo:	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO Sector 1, Perfil A - A'




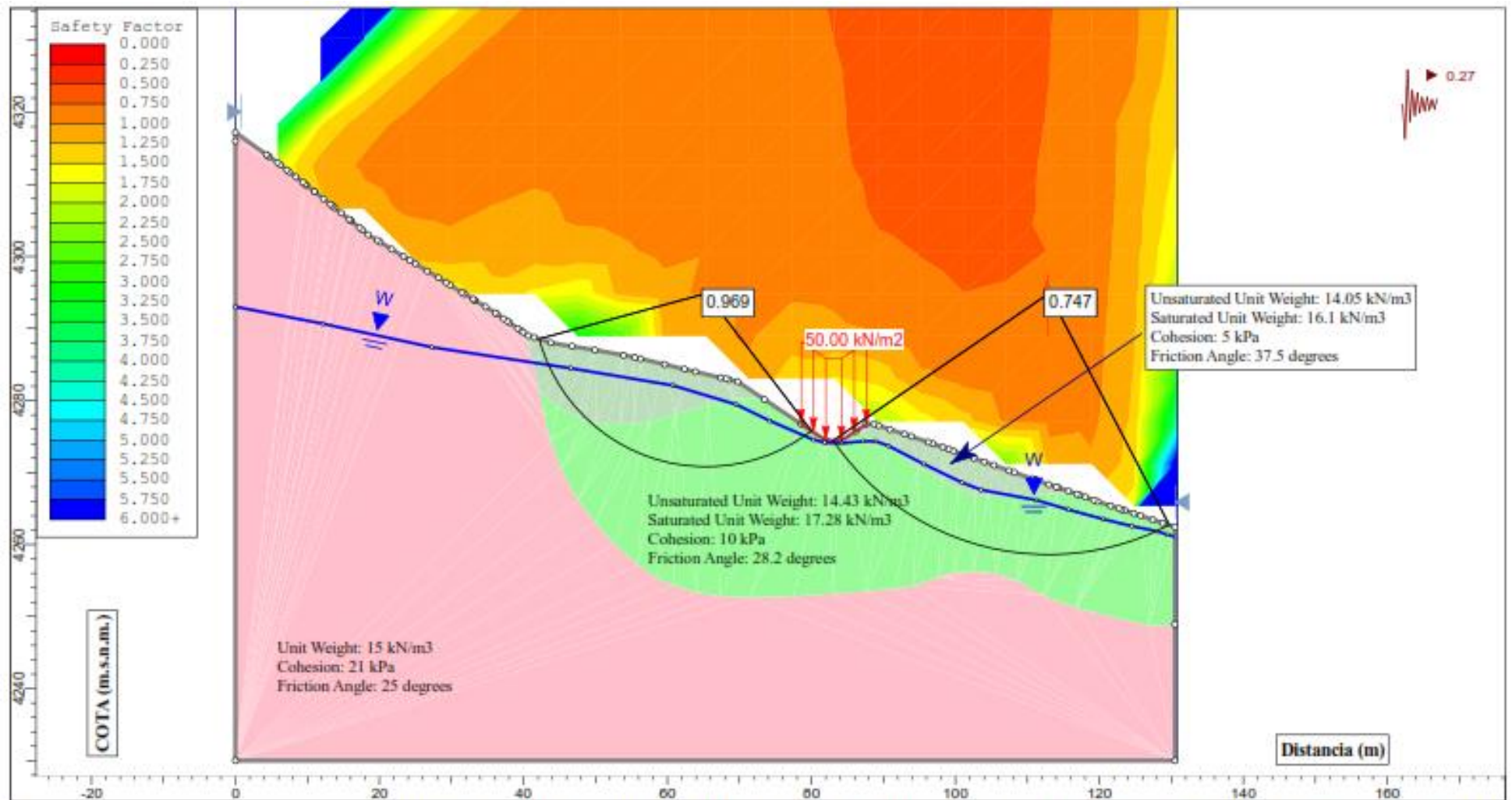
EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA – TACNA			
Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE JANBU			
Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala:	1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo:	ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO
		Sector 1, Perfil A - A'	

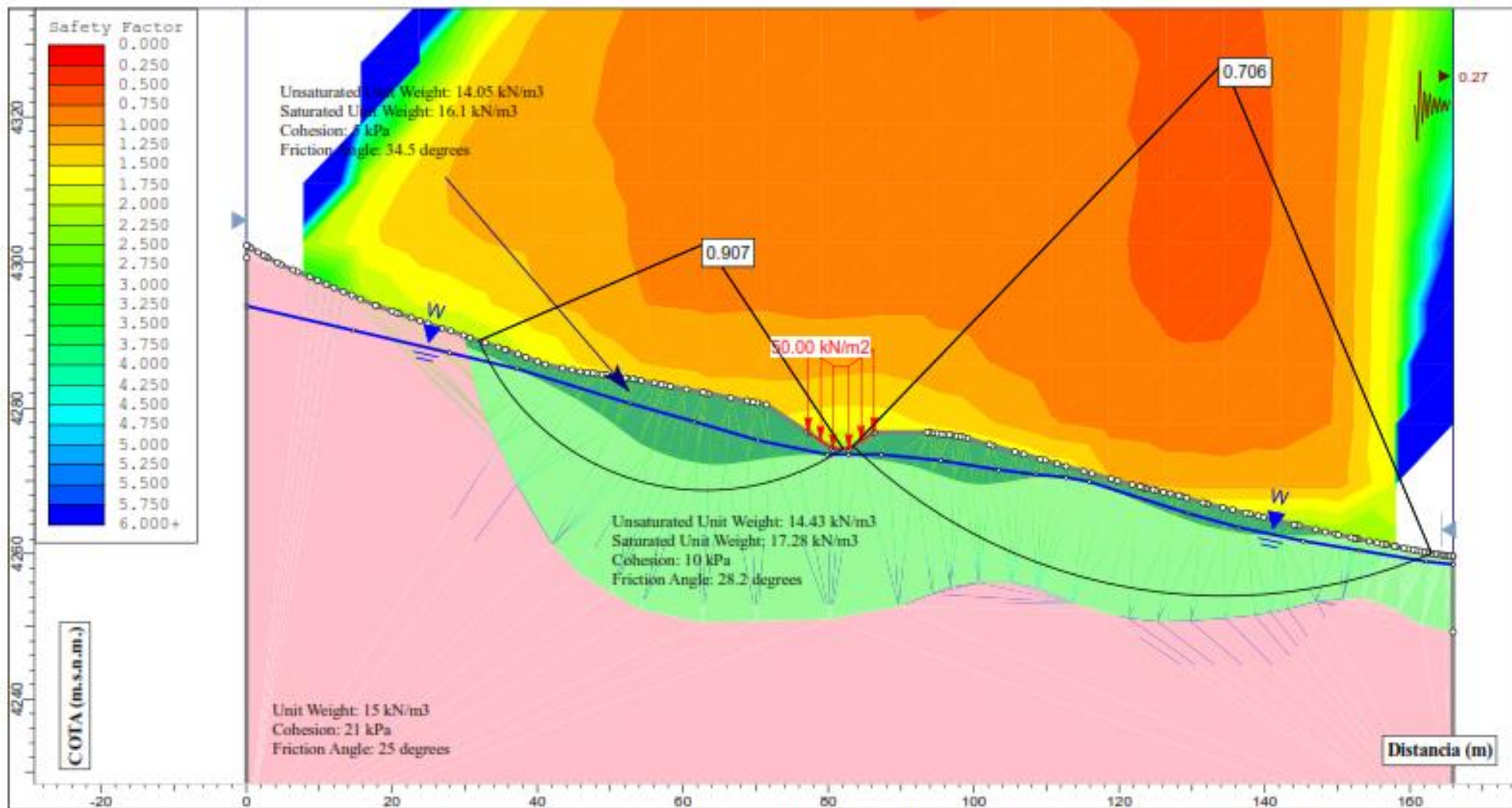


	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCION VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS		
	Realizado por:	Bach. Jony Olgún P.	Escala: 1:750
	Fecha:	Junio, 2018	Archivo: Sector 2, Perfil B - B'
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO			



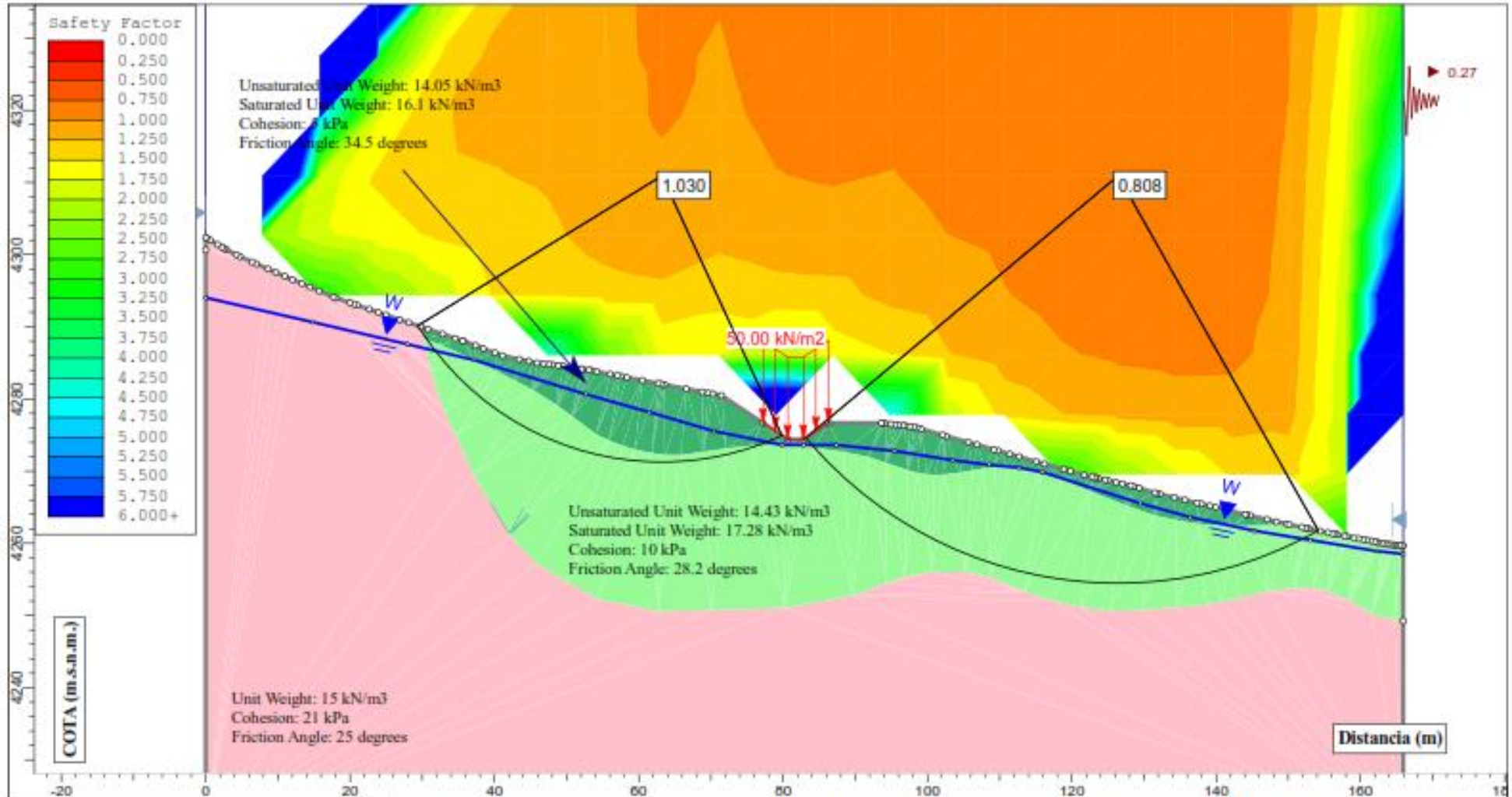
	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITJAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO		
	Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750
	Fecha:	Junio, 2018	Archivo: Sector 2, Perfil B - B'



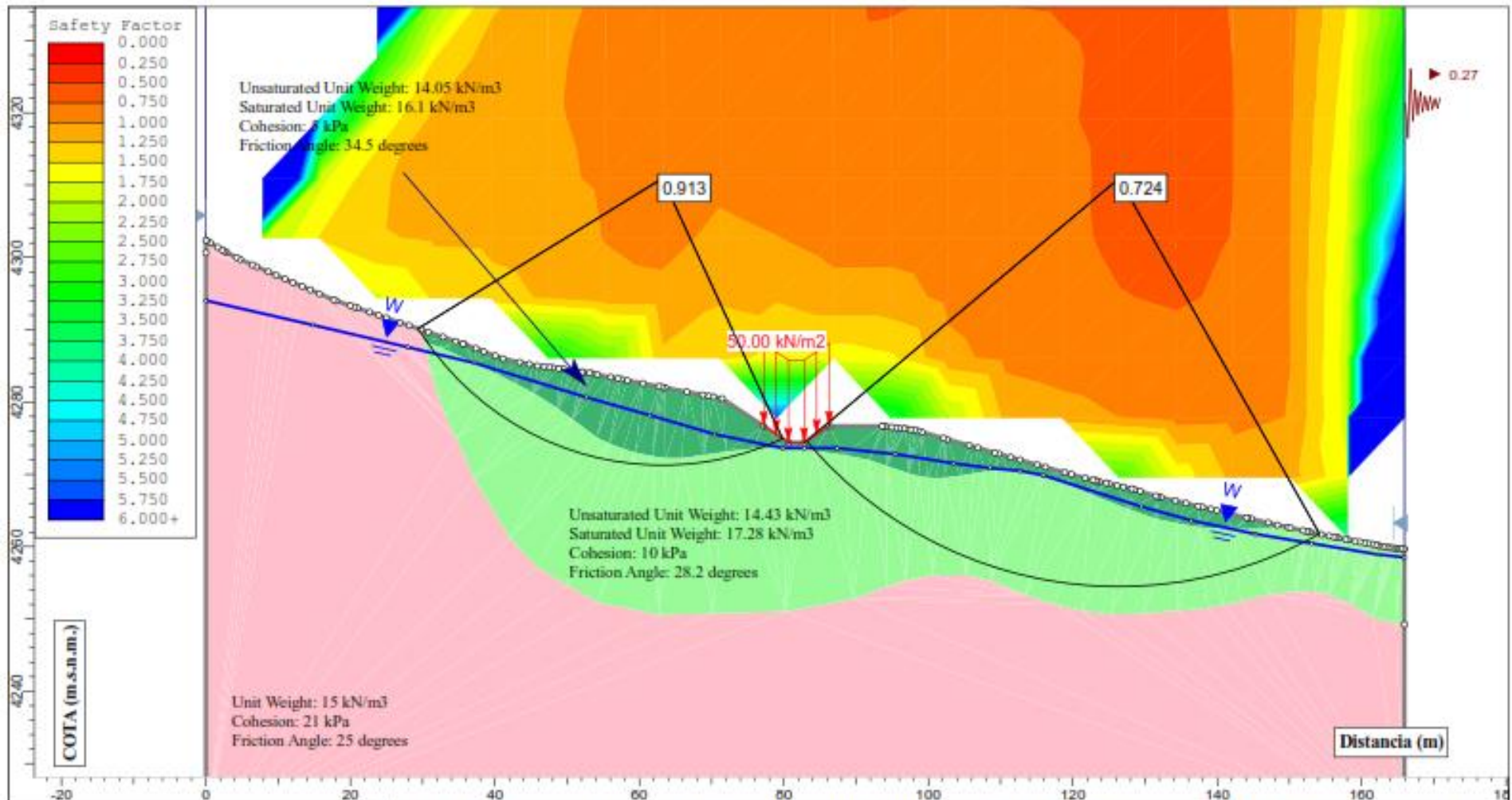


SLIDENET 6.021

EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA		
Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE FELLENIUS		
Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Fecha: 1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo: ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO
		Sector 3, Perfil C - C'



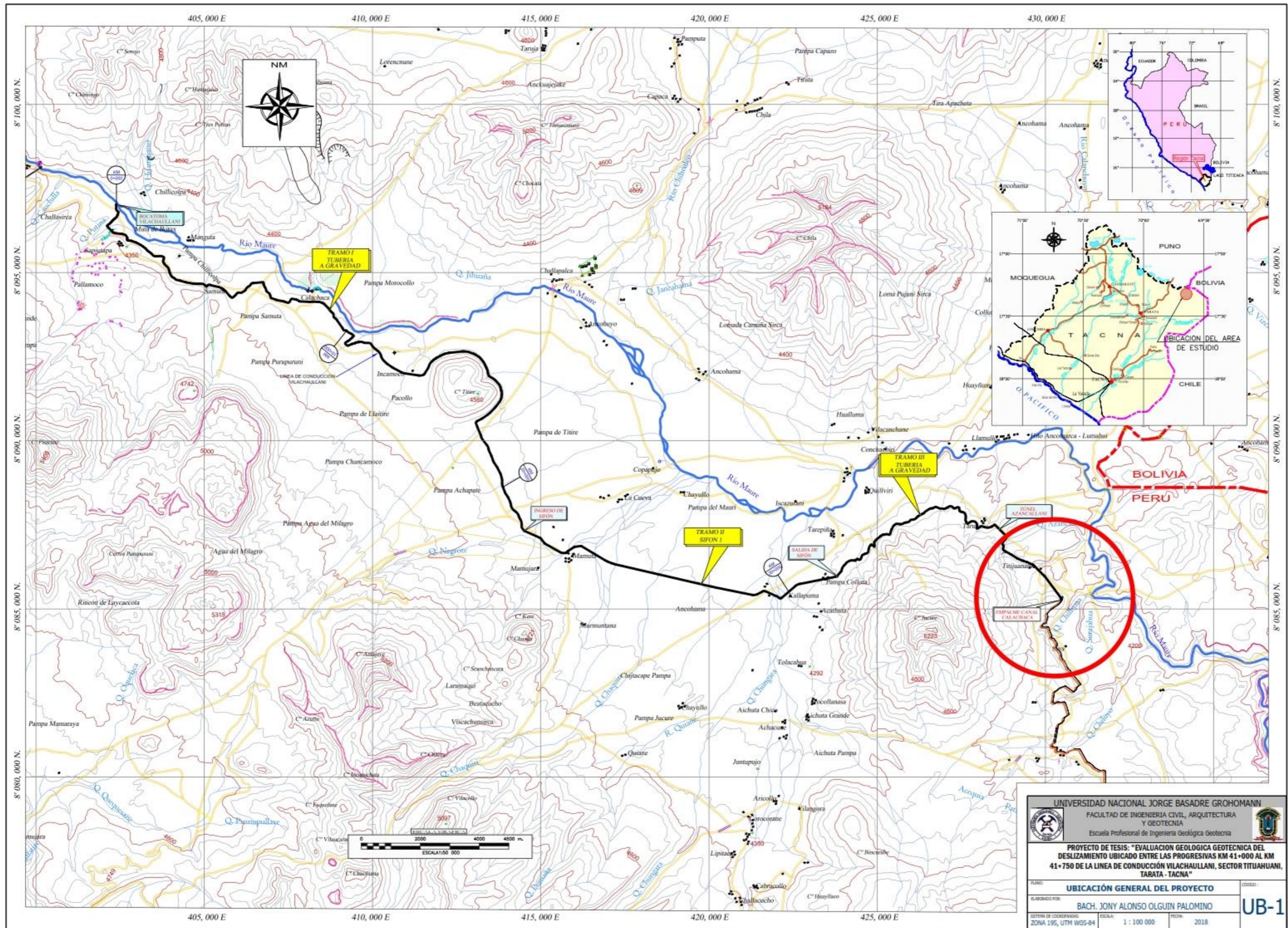
EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITJAHUANI, TARATA - TACNA			
Análisis: <b>ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO</b>			
Realizado por:	Bach. Jony Olguin P.	Escala:	1:750
Fecha:	Junio, 2018	Archivo:	Sector 3, Perfil C - C'



	EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA		
	Análisis: ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO POR EL MÉTODO DE JANBU		
	Realizado por: Bach. Jony Olguin P.	Escala: 1:750	ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA GEOTECNIA - UNIBO
	Fecha: Junio, 2018	Activo: Sector 3, Perfil C - C'	

**ANEXO – E**  
**PLANOS**

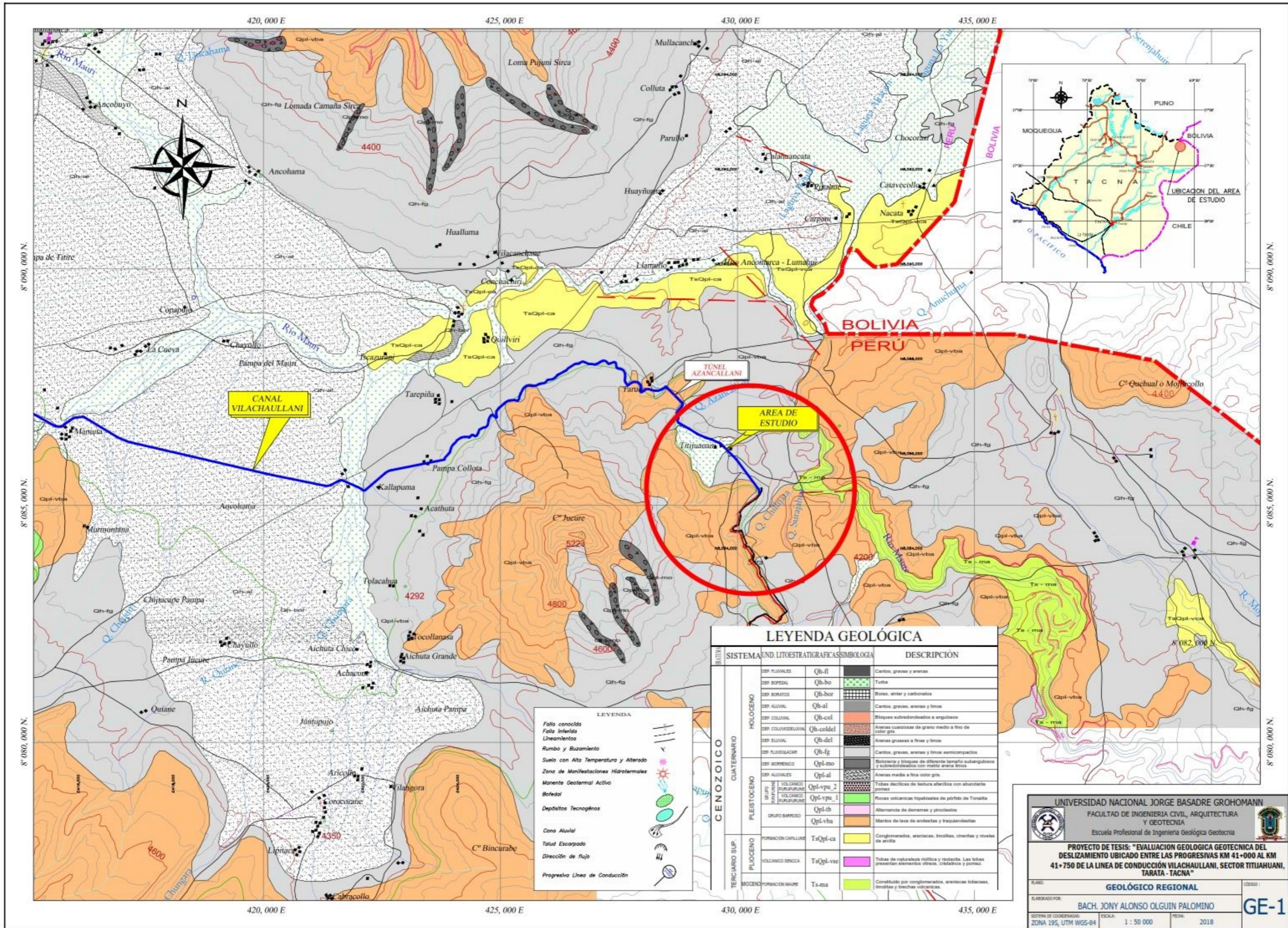
---



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHAUILLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA"**

TÍTULO: UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO		COORDENADO POR: UB-1
ELABORADO POR: BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO		
SISTEMA DE COORDENADAS: ZONA 19S, UTM WGS-84	ESCALA: 1 : 100 000	FECHA: 2018



### LEYENDA GEOLÓGICA

ERA	SISTEMA	UND.	LITOESTRATIGRAFICA	ASSIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	DEP. FLUVIALES	Qh-fl	Carreos, gravas y arenas
			DEP. BOPEDAL	Qh-bo	Tufo
			DEP. BORATOS	Qh-bor	Borax, saler y carbonatos
			DEP. ALUVIAL	Qh-al	Carreos, gravas, arenas y limas
			DEP. COLUVIAL	Qh-col	Bloques subredondados a angulosos
			DEP. COLUVEOLIVIAL	Qh-coldel	Arenas cuarcosas de grano medio a fino de color gris
			DEP. ELUVIAL	Qh-del	Arenas gruesas a finas y limas
			DEP. FLUVOGLACIAR	Qh-fg	Carreos, gravas, arenas y limas semicompactos
			DEP. MORFENICO	Qpl-mor	Bolores y bloques de diferente tamaño subangulosos y subredondados con matriz arena limas
			DEP. ALUVIALES	Qpl-al	Arenas media a fina color gris
PLEISTOCENO	GRUPO SARPEZO	VOLCANICO (PULPUPURAS)	Qpl-vpu_2	Tobas de naturaleza ríoflúvia y riodelta. Las tobas presentan elementos vitreos, cristales y ponzas.	
		VOLCANICO (PULPUPURAS)	Qpl-vpu_1	Tobas volcánicas hipocristalinas de pórfido de Tarata	
		VOLCANICO (PULPUPURAS)	Qpl-vb	Alambrado de demarcas y piroclastos	
TERCIARIO SUP.	PLUOCENO	FORMACION CAPILLAN	TsOpl-ca	Conglomerados, areniscas, limolitas, chertitas y niveles de arcilla	
		VOLCANICO SENCA	TsOpl-vsc	Tobas de naturaleza ríoflúvia y riodelta. Las tobas presentan elementos vitreos, cristales y ponzas.	
		FORMACION MAURE	Ts-ma	Constituido por conglomerados, areniscas tobacicas, limolitas y brechas volcánicas.	

#### LEYENDA

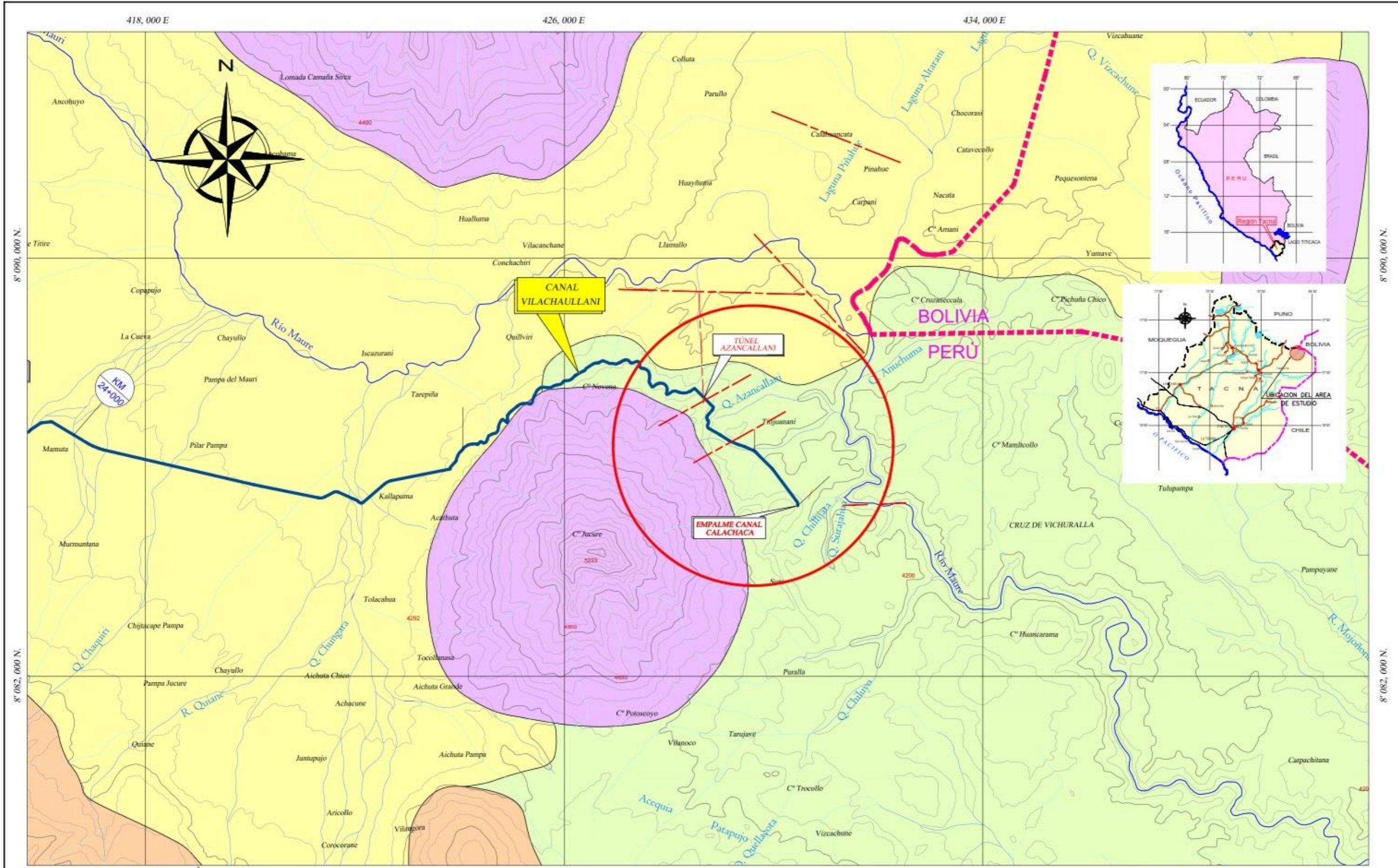
Faja conoidal  
 Faja lineal  
 Lineamiento  
 Rumbo y buzamiento  
 Suelo con Alta Temperatura y Alterado  
 Zona de Manifestaciones Hídrotermales  
 Manente Geotermal Activo  
 Borotal  
 Depósitos Tecnogénos  
 Cono Aluvial  
 Talud Escarpado  
 Dirección de flujo  
 Progresiva Línea de Conductión

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotécnica

**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHAULLANI, SECTOR TITIJAHUANI, TARATA - TACNA"**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**  
 SISTEMA DE COORDENADAS: ZONA 19S, UTM WGS-84  
 ESCALA: 1 : 50 000  
 FECHA: 2018

GE-1



**LEYENDA TOPOGRÁFICA**

- Eje del Canal
- Río
- Quebrada
- Curvas de Nivel cada 200m.
- Curvas de Nivel cada 50m.
- Límite Internacional
- Carretera
- Fallas

**LEYENDA GEOMORFOLÓGICA**

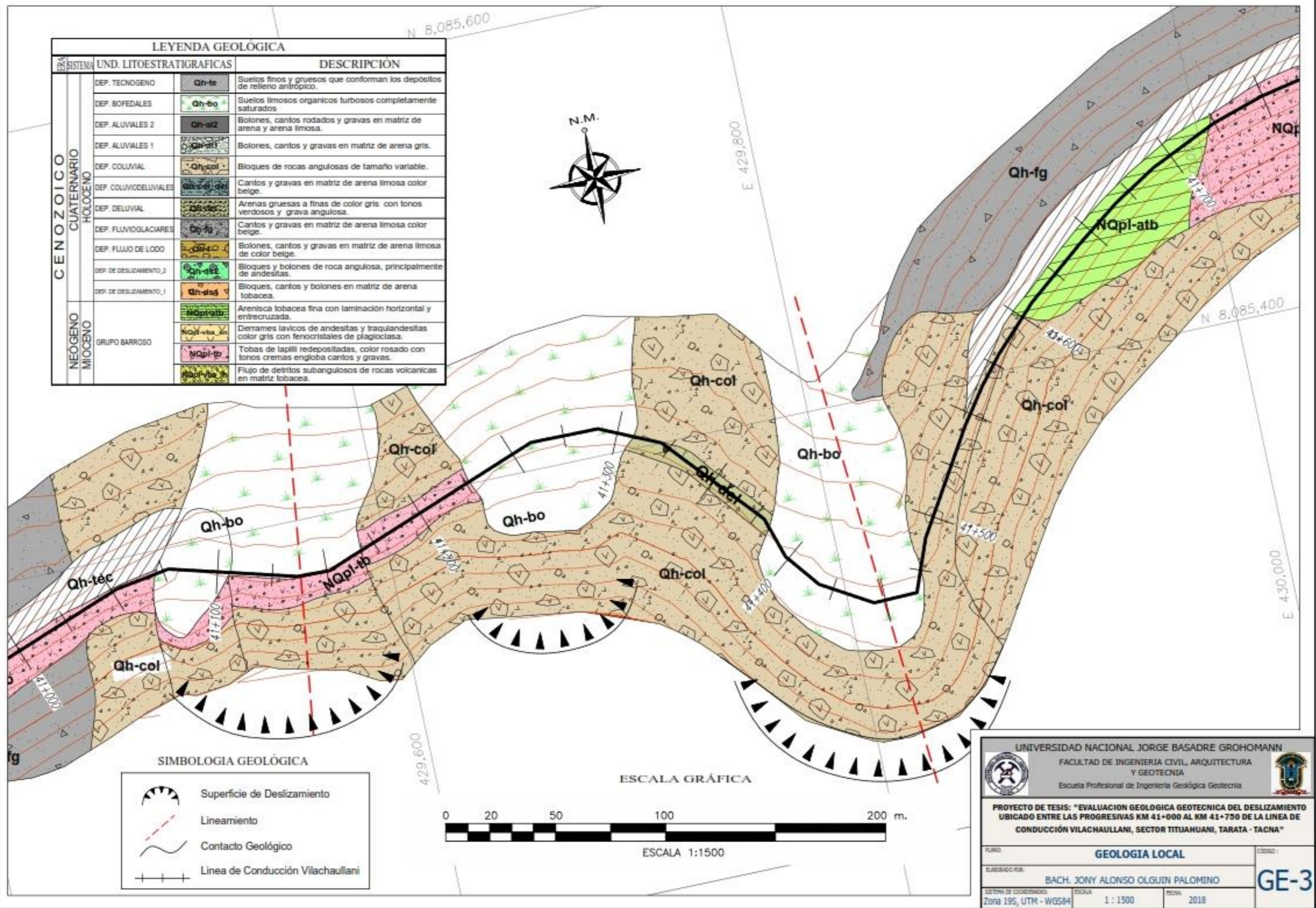
- CORDILLERA OCCIDENTAL
  - PLANICIES
  - LOMADAS
  - ZONA DE CONOS VOLCÁNICOS
- ALTIPLANO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN**  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

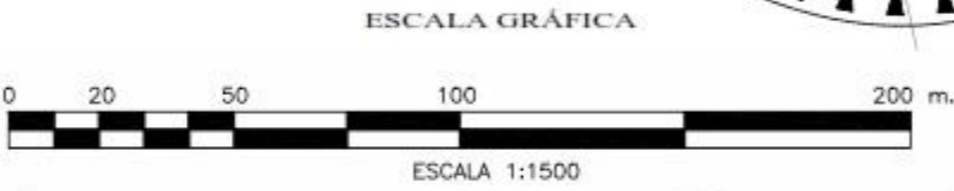
**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"**

TÍTULO:	<b>GEOMORFOLÓGICO</b>	CÓDIGO:
ELABORADO POR:	BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO	<b>GE-2</b>
SISTEMA DE COORDENADAS:	ZONA 19S, UTM WGS-84	
ESCALA:	1 : 50 000	FECHA:
		2018

LEYENDA GEOLÓGICA				
SISTEMA	UND. LITOESTRATIGRAFICAS	DESCRIPCION		
CENOZOICO CUATERNARIO HOLOCENO	DEP. TECNOGENO	Qh-te	Suelos finos y gruesos que conforman los depósitos de relleno antrópico.	
	DEP. BOFEDALES	Qh-bo	Suelos limosos orgánicos turbosos completamente saturados	
	DEP. ALUVIALES 2	Qh-al2	Bolones, cantos rodados y gravas en matriz de arena y arena limosa.	
	DEP. ALUVIALES 1	Qh-al1	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena gris.	
	DEP. COLUVIAL	Qh-col	Bloques de rocas angulosas de tamaño variable.	
	DEP. COLUVIDELUVIALES	Qh-cl	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.	
	DEP. DELUVIAL	Qh-de	Arenas gruesas a finas de color gris con tonos verdosos y grava angulosa.	
	DEP. FLUVIDGLACIARES	Qh-fg	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.	
	DEP. FLUJO DE LODO	Qh-fl	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena limosa de color beige.	
	DEP. DE DESLIZAMIENTO 2	Qh-ds2	Bloques y bolones de roca angulosa, principalmente de andesitas.	
	DEP. DE DESLIZAMIENTO 1	Qh-ds1	Bloques, cantos y bolones en matriz de arena tobacea.	
	NEÓGENO MIOCENO	GRUPO BARROSO	NQpl-atb	Arenisca tobacea fina con laminación horizontal y entrecruzada.
			NQpl-va_in	Derrames lavicos de andesitas y traquiandesitas color gris con fenocristales de plagioclasa.
		NQpl-tb	Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.	
		NQpl-va	Flujo de detritos subangulosos de rocas volcánicas en matriz tobacea.	



SIMBOLOGIA GEOLÓGICA	
	Superficie de Deslizamiento
	Lineamiento
	Contacto Geológico
	Linea de Conducción Vilachauillani



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHAUILLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"

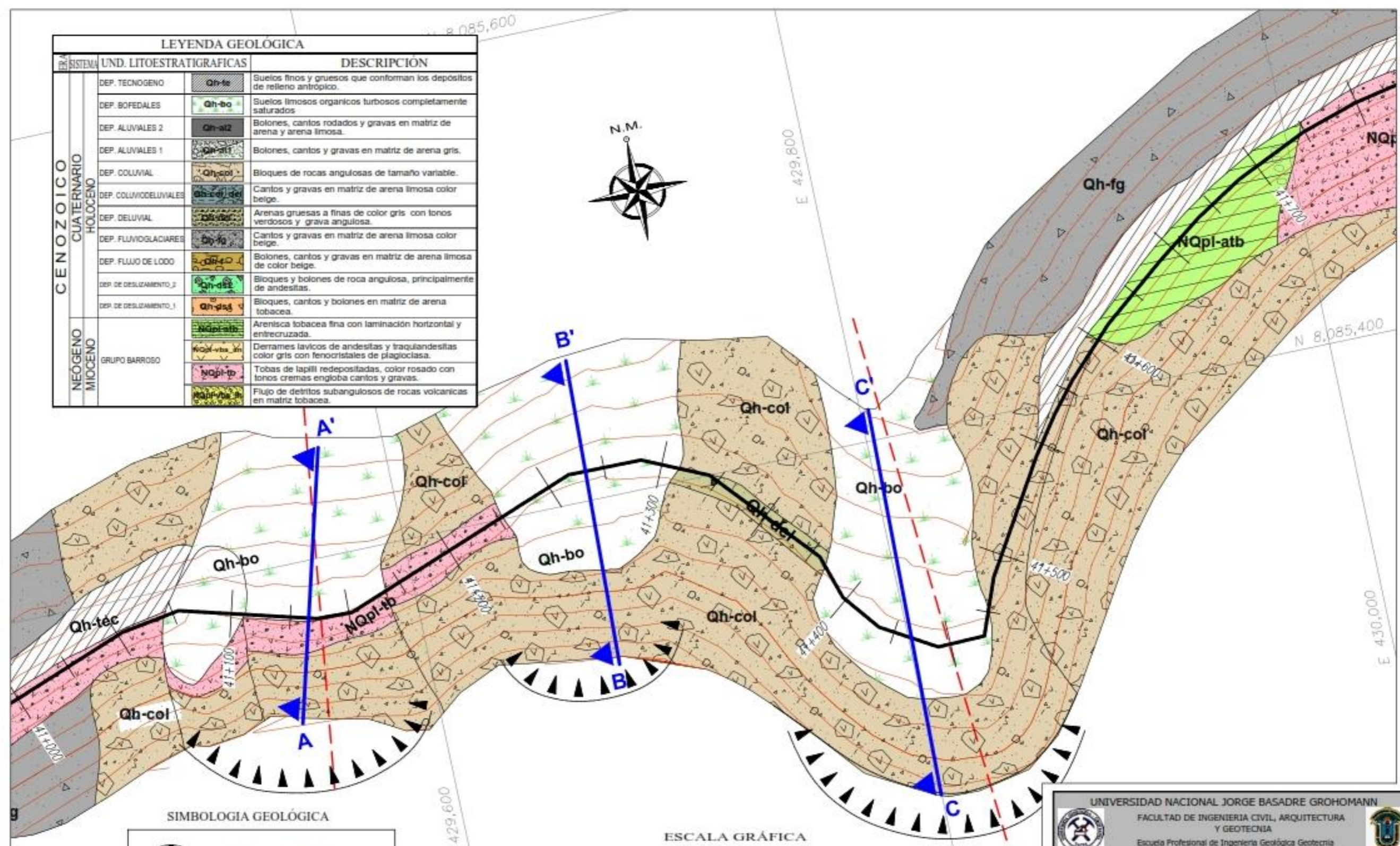
TÍTULO: **GEOLOGIA LOCAL**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

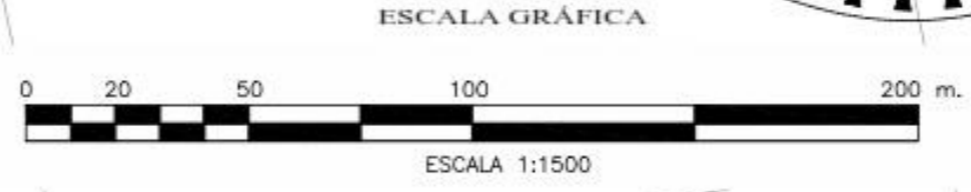
SISTEMA DE COORDENADAS: Zona 19S, UTM - WGS84 | ESCALA: 1 : 1500 | FECHA: 2018

**GE-3**

LEYENDA GEOLÓGICA			
SISTEMA	UND. LITOSTRATIGRAFICAS	DESCRIPCIÓN	
CENOZOICO CUATERNARIO HOLOCENO	DEP. TECNÓGENO	Qh-te	Suelos finos y gruesos que conforman los depósitos de relleno antrópico.
	DEP. BOFEDALES	Qh-bo	Suelos limosos orgánicos turbosos completamente saturados.
	DEP. ALUVIALES 2	Qh-al2	Bolones, cantos rodados y gravas en matriz de arena y arena limosa.
	DEP. ALUVIALES 1	Qh-al1	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena gris.
	DEP. COLUVIAL	Qh-col	Bloques de rocas angulosas de tamaño variable.
	DEP. COLUVIOCOLUVIALES	Qh-col-de	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.
	DEP. DELUVIAL	Qh-del	Arenas gruesas a finas de color gris con tonos verdosos y grava angulosa.
	DEP. FLUVIOGLACIARES	Qh-fl	Cantos y gravas en matriz de arena limosa color beige.
	DEP. FLUJO DE LODO	Qh-fl-l	Bolones, cantos y gravas en matriz de arena limosa de color beige.
	DEP. DE DESLIZAMIENTO 2	Qh-ds2	Bloques y bolones de roca angulosa, principalmente de andesitas.
DEP. DE DESLIZAMIENTO 1	Qh-ds1	Bloques, cantos y bolones en matriz de arena tobacea.	
NEOGENO MIOCENO	NQpl-atb	Arenisca lobacea fina con laminación horizontal y entrecruzada.	
	NQpl-vta_3m	Derrames lavicos de andesitas y traquiandesitas color gris con fenocristales de plagioclasa.	
	NQpl-tb	Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.	
	NQpl-vta_3m	Flujo de detritos subangulosos de rocas volcánicas en matriz tobacea.	



SIMBOLOGÍA GEOLÓGICA	
	Superficie de Deslizamiento
	Lineamiento
	Contacto Geológico
	Sección Geológica



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

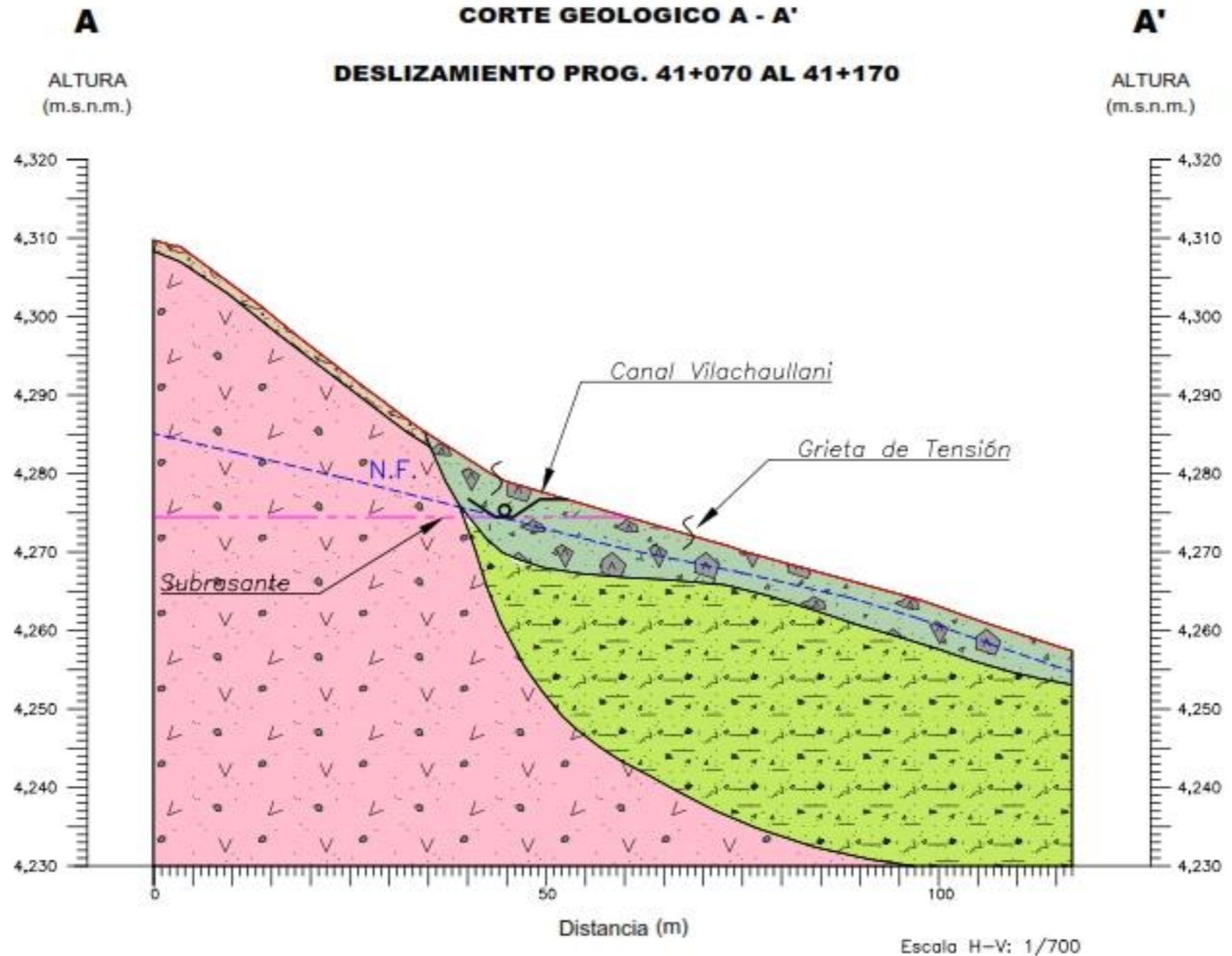
PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"

TÍTULO: **UBICACIÓN DE CORTES GEOLÓGICOS**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

SISTEMA DE COORDENADAS: Zona 19S, UTM - WGS84 | ESCALA: 1 : 1500 | FECHA: 2018

**GE-4**



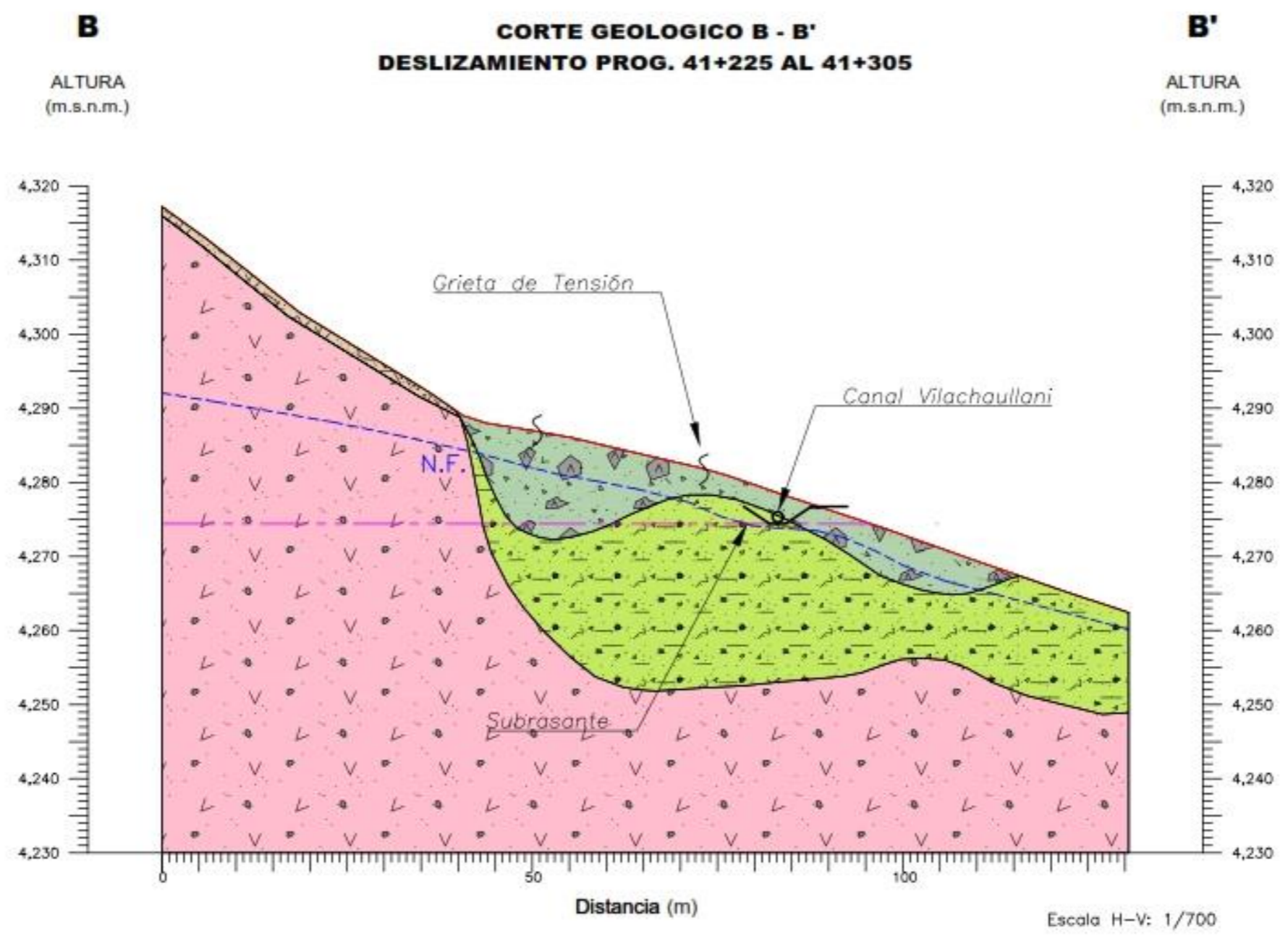
LEYENDA GEOLÓGICA		
SISTEMA	UND. LITOESTRATIGRAFICAS	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	DEP. BOFEDALES	<b>Qh-bo</b> Suelos limosos organicos turbosos completamente saturados
	DEP. COLUVIAL	<b>Qh-col</b> Bloques de roca andesitica de la formación Barroso de formas angulosas y variable tamaño
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_2	<b>Qh-ds2</b> Bloques cantos y bolones de roca angulosa principalmente de andesitas en matriz de arena y limos.
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_1	<b>Qh-ds1</b> Arena limosa de compacidad media, ligera presencia de cantos y grava con alto contenido de humedad
NEOGENO	DEP. PIROCLÁSTICO	<b>NQpl-tb</b> Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN VILACHAUILLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"**

TÍTULO: <b>CORTE GEOLÓGICO A- A'</b>	CÓDIGO:	
ELABORADO POR: <b>BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO</b>		
CAD: J.A.O.P.	ESCALA: INDICADA	FECHA: 2018

GE-5

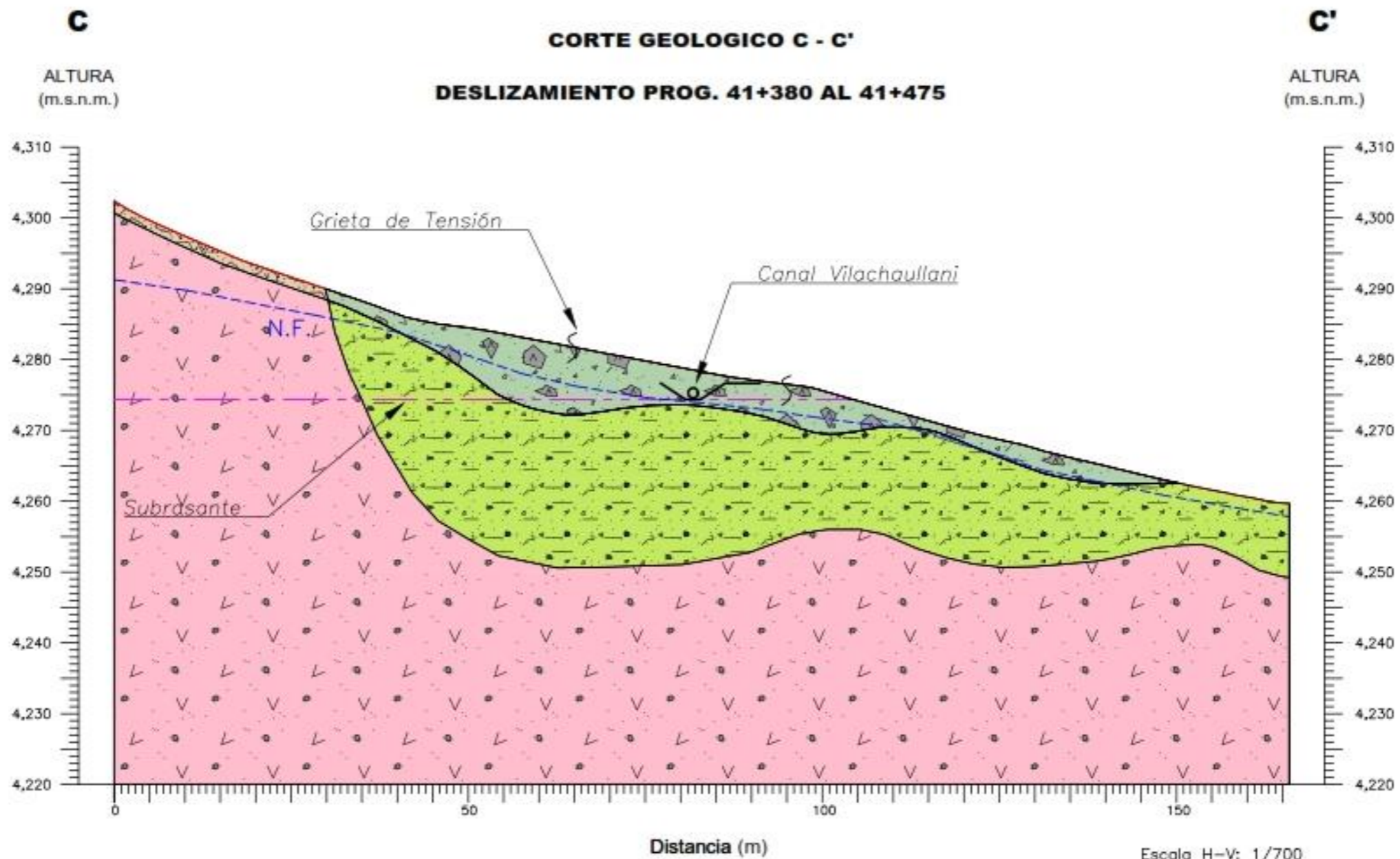


LEYENDA GEOLOGICA			
SISTEMA	UND. LITOESTRATIGRAFICAS		DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	DEP. BOFEDALES	Qh-bo	Suelos limosos organicos turbosos completamente saturados
	DEP. COLUVIAL	Qh-col	Bloques de roca andesitica de la formación Barroso de formas angulosas y variable tamaño
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_2	Qh-ds2	Bloques cantos y bolones de roca angulosa principalmente de andesitas en matriz de arena y limos.
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_1	Qh-ds1	Arena limosa de compacidad media, ligera presencia de cantos y grava con alto contenido de humedad
NEOGENO	DEP. PIROCLASTICO	Nqpl-tb	Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN VILACHAUILLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA"**

TITULO: <b>CORTE GEOLOGICO B - B'</b>		CODIGO:
ELABORADO POR: <b>BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO</b>		<b>GE-6</b>
DIA: 1.A.O.P.	ESCALA: INDICADA	FECHA: 2018



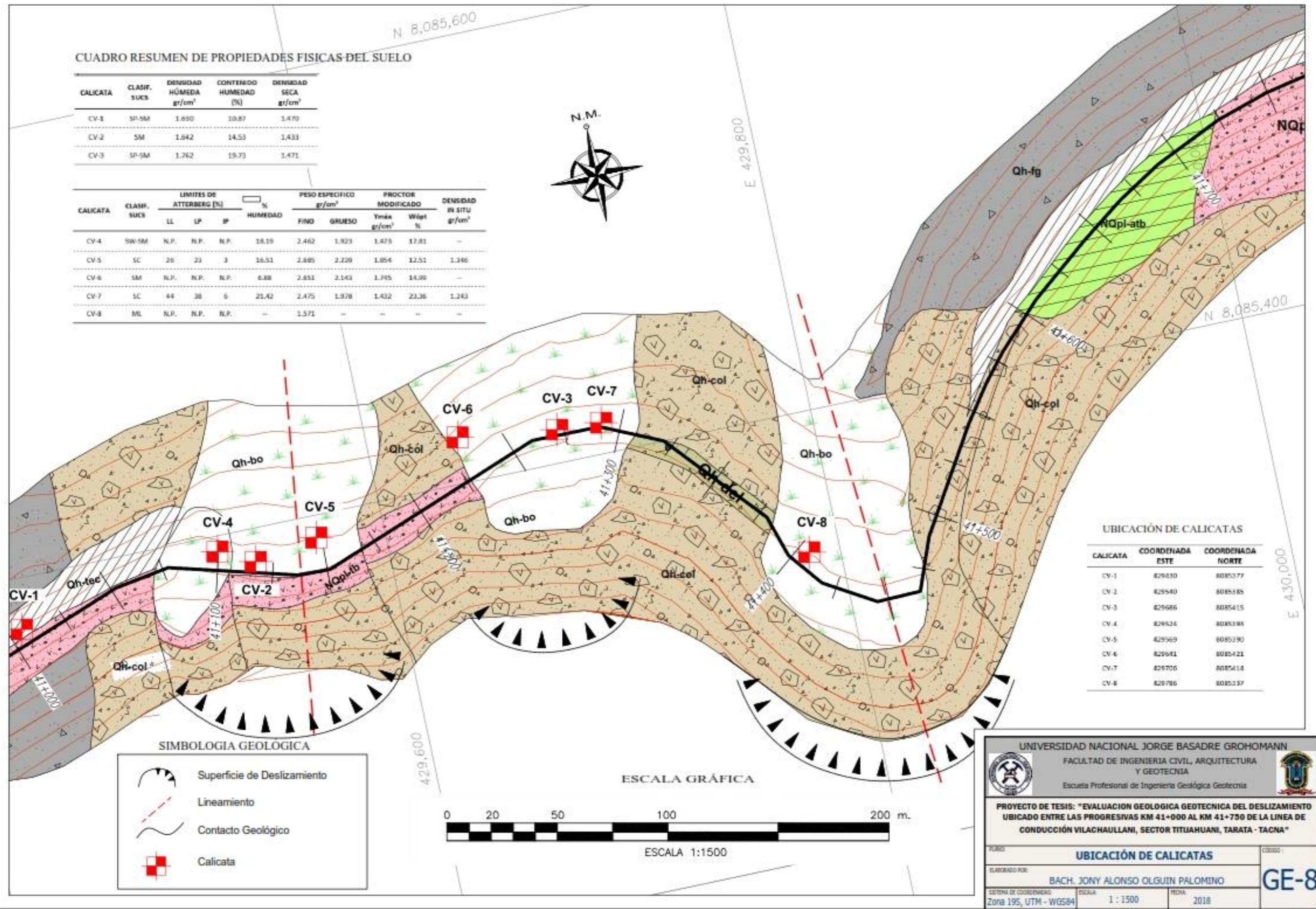
LEYENDA GEOLÓGICA			
SISTEMA	UND. LITOESTRATIGRAFICAS		DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	DEP. BOFEDALES	Qh-bo	Suelos limosos organicos turbosos completamente saturados
	DEP. COLUMIAL	Qh-col	Bloques de roca andesitica de la formación Barroso de formas angulosas y variable tamaño
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_2	Qh-ds2	Bloques cantos y bolones de roca angulosa principalmente de andesitas en matriz de arena y limos.
	DEP. DE DESLIZAMIENTO_1	Qh-ds1	Arena limosa de compacidad media, ligera presencia de cantos y grava con alto contenido de humedad
NEOGENO	DEP. PIROCLÁSTICO	NQpl-tb	Tobas de lapilli redepositadas, color rosado con tonos cremas engloba cantos y gravas.

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN	
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA	
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia	
<b>PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA"</b>	
TÍTULO:	<b>CORTE GEOLÓGICO C - C'</b>
ELABORADO POR:	BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO
FECHA:	1.A.O.P. ESCALA: INDICADA FECHA: 2018
<b>GE-7</b>	

CUADRO RESUMEN DE PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

CALICATA	CLASIF. SUCS	DENSIDAD HÚMEDA gr/cm <sup>3</sup>	CONTENIDO HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA gr/cm <sup>3</sup>
CV-1	SP-SM	1.630	10.87	1.470
CV-2	SM	1.642	14.53	1.433
CV-3	SP-SM	1.762	19.73	1.471

CALICATA	CLASIF. SUCS	LÍMITES DE ATTERBERG (%)			PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>	PROCTOR MODIFICADO		DENSIDAD IN SITU gr/cm <sup>3</sup>		
		LL	LP	IP		Y <sub>máx</sub> gr/cm <sup>3</sup>	W <sub>ópt</sub> %			
CV-4	SW-SM	N.P.	N.P.	N.P.	18.19	2.462	1.923	1.473	17.81	-
CV-5	SC	26	23	3	16.51	2.685	2.239	1.854	12.51	1.346
CV-6	SM	N.P.	N.P.	N.P.	6.88	2.851	2.143	1.765	14.99	-
CV-7	SC	44	38	6	21.42	2.475	1.978	1.432	23.36	1.243
CV-8	ML	N.P.	N.P.	N.P.	-	1.571	-	-	-	-



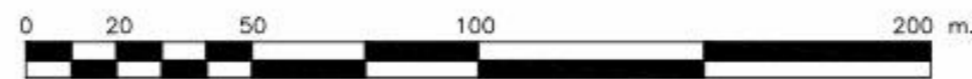
UBICACIÓN DE CALICATAS

CALICATA	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
CV-1	829430	8085377
CV-2	829540	8085385
CV-3	829686	8085415
CV-4	829624	8085396
CV-5	829569	8085390
CV-6	829641	8085421
CV-7	829706	8085414
CV-8	829786	8085337

SIMBOLOGIA GEOLÓGICA

	Superficie de Deslizamiento
	Lineamiento
	Contacto Geológico
	Calicata

ESCALA GRÁFICA



ESCALA 1:1500

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

PROYECTO DE TESIS: "EVALUACIÓN GEOLÓGICA GEOTÉCNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA"

TÍTULO: **UBICACIÓN DE CALICATAS**

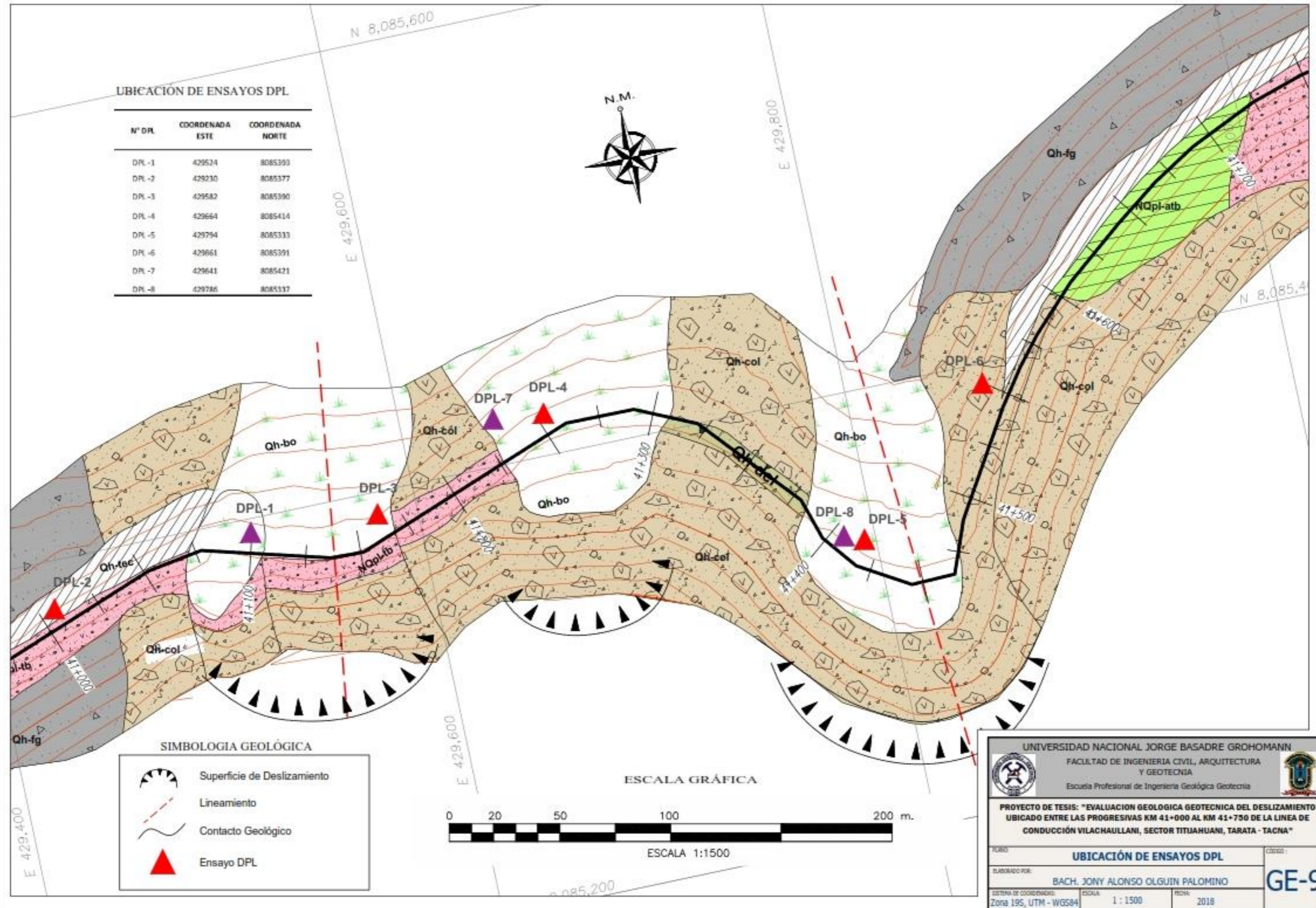
ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

SISTEMA DE COORDENADAS: Zona 19S, UTM - WGS84 | ESCALA: 1 : 1500 | FECHA: 2018

**GE-8**

UBICACION DE ENSAYOS DPL

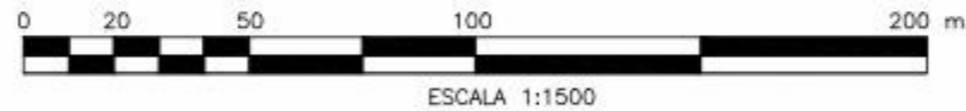
N° DPL	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE
DPL-1	429524	8085393
DPL-2	429230	8085377
DPL-3	429582	8085390
DPL-4	429664	8085414
DPL-5	429794	8085333
DPL-6	429661	8085391
DPL-7	429641	8085421
DPL-8	429786	8085337



SIMBOLOGIA GEOLÓGICA

	Superficie de Deslizamiento
	Lineamiento
	Contacto Geológico
	Ensayo DPL

ESCALA GRÁFICA



ESCALA 1:1500

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"

TÍTULO: **UBICACIÓN DE ENSAYOS DPL**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

ESCALA: 1 : 1500

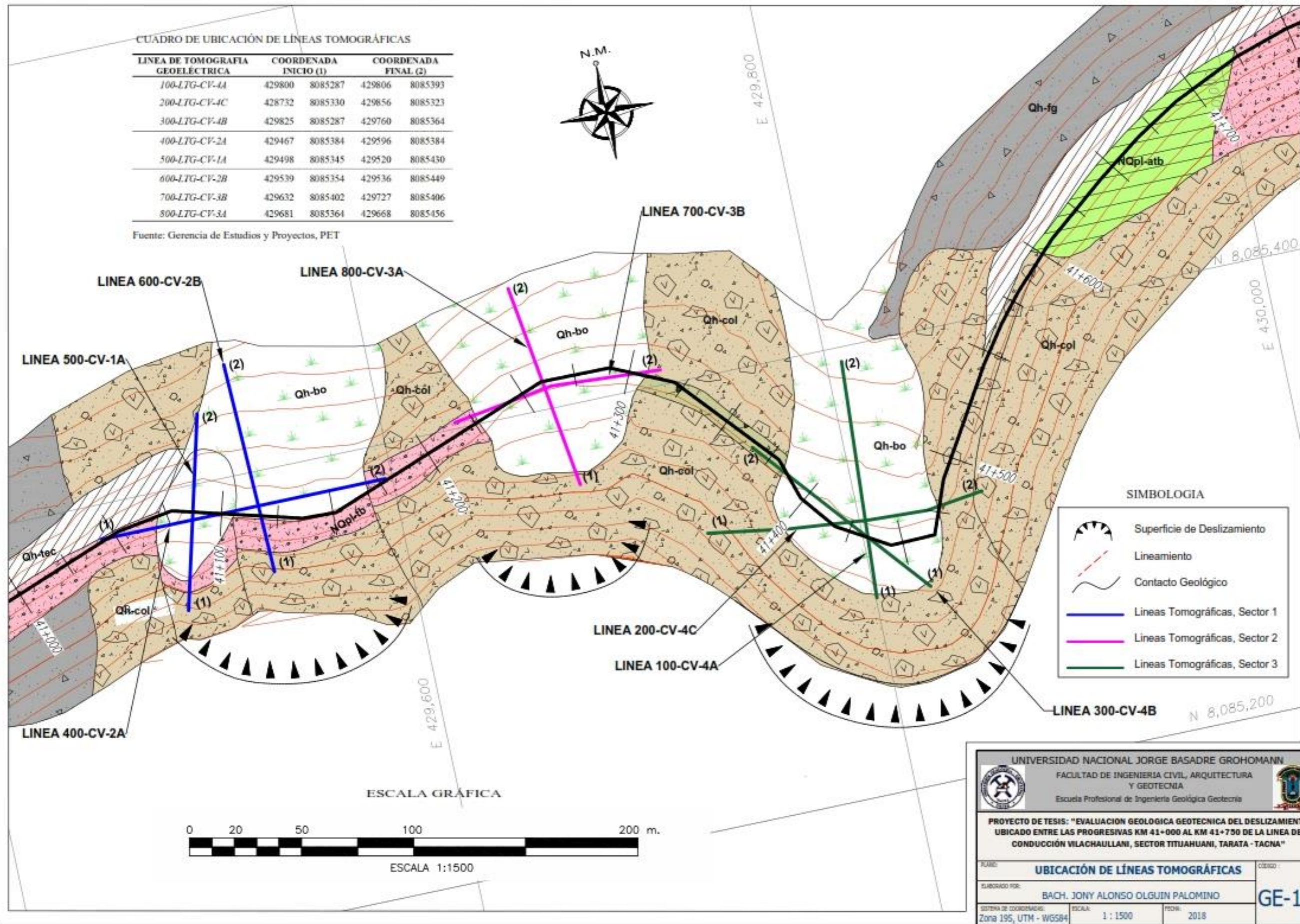
FECHA: 2018

**GE-9**

CUADRO DE UBICACIÓN DE LÍNEAS TOMOGRÁFICAS

LÍNEA DE TOMOGRAFIA GEOELÉCTRICA	COORDENADA INICIO (1)		COORDENADA FINAL (2)	
100-LTG-CV-4A	429800	8085287	429806	8085393
200-LTG-CV-4C	428732	8085330	429856	8085323
300-LTG-CV-4B	429825	8085287	429760	8085364
400-LTG-CV-2A	429467	8085384	429596	8085384
500-LTG-CV-1A	429498	8085345	429520	8085430
600-LTG-CV-2B	429539	8085354	429536	8085449
700-LTG-CV-3B	429632	8085402	429727	8085406
800-LTG-CV-3A	429681	8085364	429668	8085456

Fuente: Gerencia de Estudios y Proyectos, PET



**SIMBOLOGIA**

- Superficie de Deslizamiento
- Lineamiento
- Contacto Geológico
- Líneas Tomográficas, Sector 1
- Líneas Tomográficas, Sector 2
- Líneas Tomográficas, Sector 3



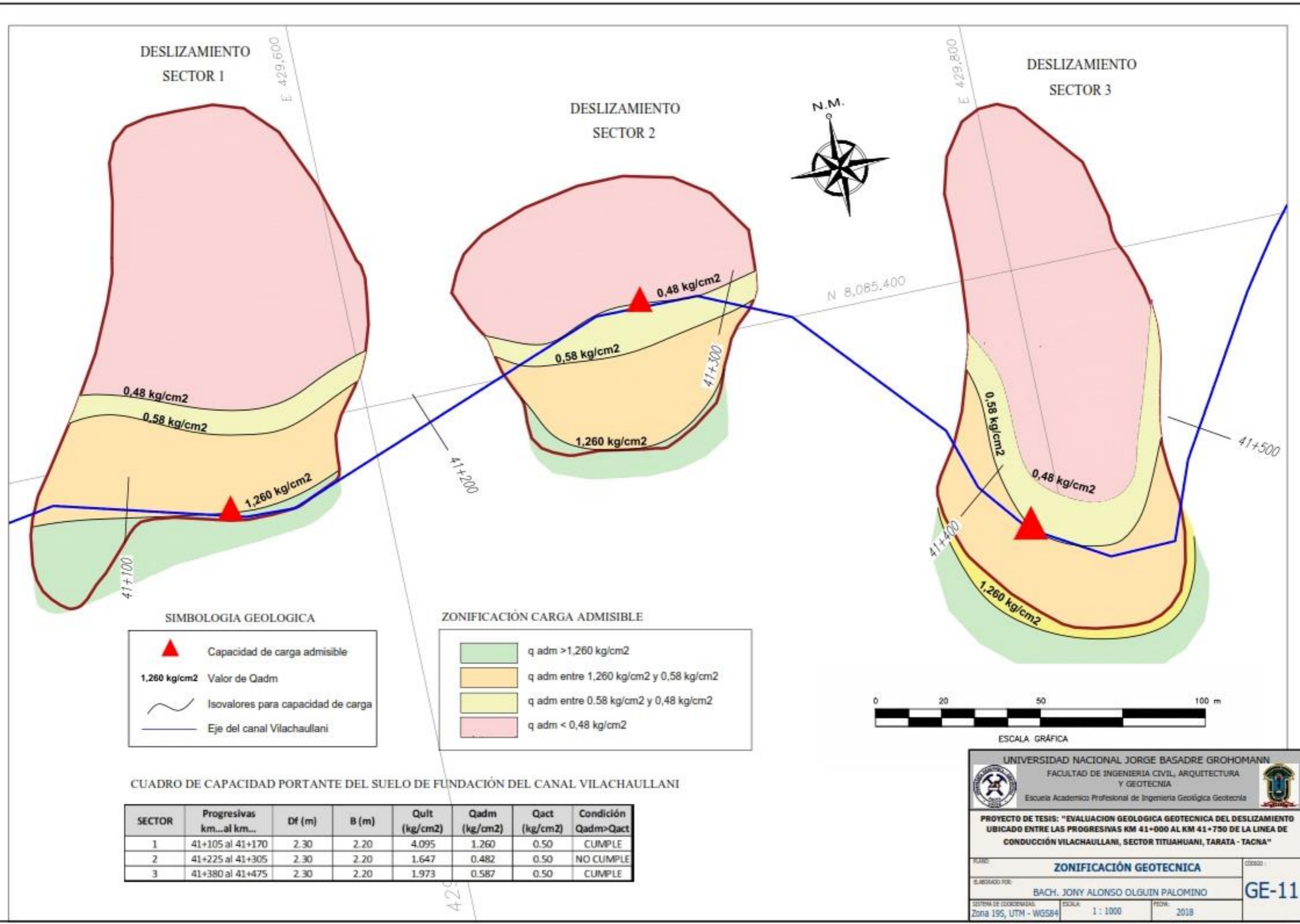
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

**PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCION WILACHAULLANI, SECTOR TITUAHUANI, TARATA - TACNA"**

TÍTULO: **UBICACIÓN DE LÍNEAS TOMOGRÁFICAS** CÓDIGO: **GE-10**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

SISTEMA DE COORDENADAS: Zona 19S, UTM - WGS84 ESCALA: 1 : 1500 FECHA: 2018



**SIMBOLOGIA GEOLOGICA**

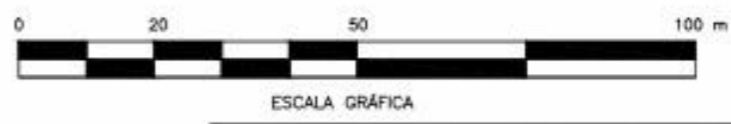
- Capacidad de carga admisible
- 1,260 kg/cm<sup>2</sup>** Valor de Qadm
- Isovalores para capacidad de carga
- Eje del canal Vilachaulani

**ZONIFICACIÓN CARGA ADMISIBLE**

- q adm > 1,260 kg/cm<sup>2</sup>
- q adm entre 1,260 kg/cm<sup>2</sup> y 0,58 kg/cm<sup>2</sup>
- q adm entre 0,58 kg/cm<sup>2</sup> y 0,48 kg/cm<sup>2</sup>
- q adm < 0,48 kg/cm<sup>2</sup>

**CUADRO DE CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO DE FUNDACIÓN DEL CANAL VILACHAULLANI**

SECTOR	Progresivas km...al km...	Df (m)	B (m)	Quit (kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (kg/cm <sup>2</sup> )	Qact (kg/cm <sup>2</sup> )	Condición Qadm>Qact
1	41+105 al 41+170	2.30	2.20	4.095	1.260	0.50	CUMPLE
2	41+225 al 41+305	2.30	2.20	1.647	0.482	0.50	NO CUMPLE
3	41+380 al 41+475	2.30	2.20	1.973	0.587	0.50	CUMPLE



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia

PROYECTO DE TESIS: "EVALUACION GEOLOGICA GEOTECNICA DEL DESLIZAMIENTO UBICADO ENTRE LAS PROGRESIVAS KM 41+000 AL KM 41+750 DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN VILACHAULLANI, SECTOR TITIAHUANI, TARATA - TACNA"

TÍTULO: **ZONIFICACIÓN GEOTECNICA**

ELABORADO POR: **BACH. JONY ALONSO OLGUIN PALOMINO**

SISTEMA DE COORDENADAS: Zona 19S, UTM - WGS84 | ESCALA: 1 : 1000 | FECHA: 2018

**GE-11**

