



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS GEOTÉCNICO Y DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA CANTERA AN-110, DISTRITO CATAC, ANCASH, 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

**Autores:**

Jhon Anthony Huaylla Alcántara

Carlos Erlis Mantilla Mendoza

**Asesor:**

Ing. Mg. Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán.

Cajamarca - Perú

2022

## DEDICATORIA

La presente tesis la dedicamos a nuestras familias y amigos , principalmente a nuestros padres que han sido un pilar fundamental en nuestra formación académica como profesionales , por brindarnos toda la confianza , consejos , oportunidades, y los recursos para poder lograr nuestras metas , gracias a todos los mencionados por estar en los buenos y malos momentos brindándonos amor, comprensión y paciencia y por ultimo agradecer a nuestros verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años juntos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por habernos dado una familia, amigos y compañeros que, a lo largo de nuestra realización como profesionales en esta apasionante carrera de ingeniería de minas, siempre nos han dado ese aliento y apoyo para poder seguir adelante y nunca decaer.

Agradecemos también a nuestros maestros en especial consideración al Ing. Daniel Alva Huamán quien ha sido abierto a responder nuestras dudas académicas sacrificando su tiempo logrando que nos enamoremos de nuestras carreras.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>8</b>
I.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	8
I.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	10
I.3 OBJETIVOS. ....	10
I.3.1 <i>Objetivo General.</i> .....	10
I.3.2 <i>Objetivos Específicos.</i> .....	10
I.4 HIPÓTESIS. ....	10
I.4.1 <i>Hipótesis General.</i> .....	10
<b>CAPITULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
II.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	11
II.2 POBLACIÓN. ....	11
II.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS. ....	11
II.4 PROCEDIMIENTO. ....	13
II.4.1 <i>Etapa de Precampo.</i> .....	13
II.4.2 <i>Etapa de Campo.</i> .....	13
II.4.3 <i>Etapa de Procesamiento y Análisis de Datos.</i> .....	13
II.4.4 <i>Ubicación.</i> .....	17
<b>CAPITULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
III.1 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	18
<b>CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
IV.1 DISCUSIÓN. ....	50
IV.2 CONCLUSIONES. ....	51
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. FORMATO DE REGISTRO DE PIEZÓMETROS.....	12
TABLA 2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS CONFIABLES PIEZOMÉTRICOS. ....	25
TABLA 3. ORDEN DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO EN LA ZONA DE ESTUDIO DE ACUERDO CON LA GEOLOGÍA.....	29
TABLA 4. PROPIEDAD DE LOS MATERIALES.....	42
TABLA 5. VALORES DE COEFICIENTE HORIZONTAL MÁXIMO PARA LA ZONA DE ESTUDIO. ....	43
TABLA 6. RESULTADOS DEL FS PARA CADA ESCENARIO. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1. PROCESO PARA OBTENER MODELO 3D EN LEAPFROG.....	15
ILUSTRACIÓN 2. FLUJOGRAMA PARA LA OBTENCIÓN DE PERFILES DE ANÁLISIS.....	16
ILUSTRACIÓN 3. UBICACIÓN DEL PROYECTO DE ESTUDIO.....	17
ILUSTRACIÓN 4. MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	20
ILUSTRACIÓN 5. MODELO GEOLÓGICO 3D EN LEAPFROG.....	21
ILUSTRACIÓN 6. MAPA DE UBICACIÓN DE HITOS TOPOGRÁFICOS - PRISMAS.....	22
ILUSTRACIÓN 7. MAGNITUD Y DIRECCIÓN DEL MOVIMIENTO SEGÚN PRISMAS.....	23
ILUSTRACIÓN 8. MAPA DE UBICACIÓN DE PIEZÓMETROS E INCLINÓMETROS. ....	24
ILUSTRACIÓN 9. NIVELES DE AGUA DE LA ZONA ALTA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	26
ILUSTRACIÓN 10. NIVELES DE AGUA DE LA ZONA INTERMEDIA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	27
ILUSTRACIÓN 11. NIVELES DE AGUA DE LA ZONA BAJA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	28
ILUSTRACIÓN 12. SECCIONES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES PARA EL ANÁLISIS DE INSTRUMENTACIÓN. .....	30
ILUSTRACIÓN 13. SECCIÓN LONGITUDINAL A-A". ....	31
ILUSTRACIÓN 14. SECCIÓN LONGITUDINAL B-B". ....	32
ILUSTRACIÓN 15. SECCIÓN LONGITUDINAL C-C". ....	33
ILUSTRACIÓN 16. SECCIÓN LONGITUDINAL D-D". ....	34
ILUSTRACIÓN 17. SECCIÓN TRANSVERSAL 1-1". ....	35
ILUSTRACIÓN 18. GRÁFICO DE DEFORMACIÓN DEL INCLINÓMETRO SM1A. ....	36
ILUSTRACIÓN 19. SECCIÓN TRANSVERSAL 2-2". ....	37
ILUSTRACIÓN 20. GRÁFICO DE DEFORMACIÓN DEL INCLINÓMETRO SM14.....	38
ILUSTRACIÓN 21. SECCIÓN TRANSVERSAL 3-3". ....	39
ILUSTRACIÓN 22. GRÁFICO DE DEFORMACIÓN DEL INCLINÓMETRO S12A.....	40
ILUSTRACIÓN 23. PERFILES DE ANÁLISIS. ....	41
ILUSTRACIÓN 24. CÁLCULO DEL FS DEL PERFIL DE ANÁLISIS A-A".....	44
ILUSTRACIÓN 25. CÁLCULO DEL FS DEL PERFIL DE ANÁLISIS A-A", MODELO PSEUDOESTÁTICO. ....	45
ILUSTRACIÓN 26. CÁLCULO DEL FS DE PERFIL DE ANÁLISIS B-B". ....	46
ILUSTRACIÓN 27. CÁLCULO DEL FS DEL PERFIL DE ANÁLISIS A-A", MODELO PSEUDOESTÁTICO.....	47
ILUSTRACIÓN 28. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE VARIACIÓN DEL NIVEL DE AGUA PARA EL PERFIL A-A".....	49

## RESUMEN

Esta investigación tuvo por objetivo realizar el análisis geotécnico y del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de los taludes de la cantera AN-110, Distrito Catac, Ancash, 2021. La investigación fue aplicada, descriptiva y cuantitativa; los instrumentos utilizados fueron el formato geotécnico y de registros de instrumentación geotecnia. Según el análisis de estabilidad de talud en la zona del macizo rocoso aprovechable para la explotación de agregados se tiene un  $F_s$  como mínimo de 1.024 considerando el modelo Pseudoestático. Por otra parte, en la zona del deslizamiento histórico este llega hasta 0.97, pero no es un problema para la explotación de agregados debido a que en esa parte no se tiene una gran cantidad de recursos, pero si es importante realizar un diseño de drenaje.

Se recomienda la explotación de los recursos ubicados en la parte alta conformado de conglomerados y areniscas, pero para su ejecución es importante realizarlo de manera gradual desde la parte baja y hacer desquiches de la parte alta para que no haya un deslizamiento que pueda afectar a la maquinaria pesada a utilizar. Asimismo, es importante hacer un diseño de drenaje en forma de espina de pescado para que las aguas provenientes del bofedal no sobresaturen los poros de la roca y no influya en la estabilidad del talud.

**Palabras clave:** Chimeneas, estabilidad.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.

### I.1 Realidad Problemática.

En ocasiones se producen movimientos no deseables en el terreno que pueden afectar a un gran volumen de material, debidos a fenómenos naturales o a desmontes en obras civiles; y en otros casos, pequeñas inestabilidades del terreno tienen una gran repercusión por producirse en entornos urbanos. En ambas situaciones, el procedimiento para conocer y controlar estos movimientos debe incluir una fase preliminar que consistiría en una buena caracterización del subsuelo, capaz de proporcionar información geotécnica tanto del terreno en movimiento como del existente en su entorno, que permanece estable. Una vez caracterizado el terreno a controlar, será posible seleccionar la instrumentación más adecuada; los emplazamientos idóneos; y disponer de una precisión y un rango de medida acordes con la variación prevista (Rodríguez 2003).

La instrumentación geotécnica es una herramienta empleada en ingeniería para el monitoreo y control de variaciones en parámetros propios del suelo de fundación o de la estructura durante su construcción o puesta en operación (Coronado y Ibagué, 2016).

Cisneros (2019) en su investigación geotécnica e instrumentación para el diseño de construcción e instalación de piezómetros y pozos de drenaje en la Mina Pierina, Ancash; concluye que, el monitoreo constante en la zona a través de la adquisición de un Datalogger, para el monitoreo automático de los sensores de cuerda vibrante, permite monitorear y detectar cualquier anomalía que podría darse en los reportes semanal o mensual; el cual, permitiría una mejor respuesta a cualquier evento que podría suscitarse.

Guadalupe et. al (2015) analizaron el deslizamiento e Leintz Gatzaga, España donde el registro de los datos Inclinómetros a lo largo de cinco años pone de manifiesto una relación directa entre las precipitaciones y el desplazamiento horizontal registrado. Se confirmó la existencia de un importante deslizamiento en la ladera estudiada, de unos 600 m de longitud, unos 300 m anchura y del orden de 20- 25 m de espesor, que se encuentra compartimentado en varias escamas de menor tamaño. Se trata de un deslizamiento metaestable (con factor de seguridad próximo a 1), que origina pequeños movimientos de componente mayoritariamente horizontal y cuya magnitud está asociada a la pluviometría de alta intensidad. Parece que, tras registrarse precipitaciones muy intensas, del mismo orden o superiores a los 400 mm/mes, se producen además movimientos prácticamente instantáneos de hasta 13mm. Los datos del único punto de control extensométrico existente revelan movimientos verticales poco significativos en profundidad (2-3 mm en dos años) con sentido ascendente por debajo del plano de movimiento y descendente por encima.

Cabrera (2018) en su investigación de análisis del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de la presa de relaves, Unidad Minera Yauricocha”, concluye que la presa de relaves tiene un comportamiento estable; sin embargo, se comprueba que es necesario contar con un sistema de monitoreo basado en la instrumentación geotécnica, a través del cual se logre óptimo control y monitoreo de la estabilidad de la presa de relaves; el que a la vez debe ejecutarse de manera continua en función del tiempo operativo de la mina.

Rea W. (2017) en su trabajo de Implementación del sistema de monitoreo geotécnica integral para evaluar el comportamiento de taludes en la mina Antapaccay Región Cusco”, donde integró los datos de los sensores de monitoreo como radares, estaciones totales, piezómetros, estaciones meteorológicas, con la finalidad de centralizarlos en una sola base de datos procesarlos y analizarlos, concluye que debe

instalarse sensores de monitoreo geotécnico desde el inicio de las operaciones mineras, las cuales deben cumplir determinadas características como la confiabilidad, robustez y funcionamiento a largo plazo.

## **I.2 Formulación del Problema.**

¿Cuál es el resultado del análisis geotécnico y del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de los taludes de la cantera AN-110, Distrito Catac, Ancash, 2021?

## **I.3 Objetivos.**

### **I.3.1 Objetivo General.**

- Realizar el análisis geotécnico y del sistema de monitoreo para el control de estabilidad de los taludes de la cantera AN-110, Distrito Catac, Ancash, 2021.

### **I.3.2 Objetivos Específicos.**

- Describir la geología local de la zona de investigación.
- Creación de perfiles de análisis según la instrumentación geotécnica.
- Conocer la estabilidad de los perfiles de análisis y su seguridad para la explotación de agregados.
- Interpretación de la instrumentación geotécnica (inclinómetros, piezómetros y prismas) para el adecuado análisis de estabilidad, y su relación con la evolución geológica.

## **I.4 Hipótesis.**

### **I.4.1 Hipótesis General.**

Al realizar el análisis geotécnico y del sistema de monitoreo se podrá establecer el control de estabilidad de los taludes de la cantera AN-110, Distrito Catac, Ancash, 2021

## **CAPITULO II. METODOLOGÍA.**

### **II.1 Tipo de Investigación.**

La investigación es aplicada, por su alcance es correlacional, porque estudió la relación de influencia entre las dos variables, y, por el enfoque la investigación es cuantitativa, ya que midió parámetros geotécnicos y procesó datos numéricos

El diseño es no experimental, debido a que no se manipularon las variables y de corte transversal, ya que, los datos serán tomados en un solo momento.

### **II.2 Población.**

La población son los datos de análisis de instrumentación geotécnica de todas las canteras AN-110.

### **II.3 Técnicas e Instrumentación de Recolección y Análisis de Datos.**

La técnica viene a ser la observación directa, y análisis documental sobre información previa de la zona y trabajos similares.

Para la recopilación de la data de instrumentación geotécnica se utilizó una base de datos en Access.

Tabla 1. Formato de Registro de Piezómetros.

<b>INSTRUMENTACIÓN CARRETERA RUTA AN110</b> <b>REPORTE DE PIEZÓMETRO DE CUERDA VIBRANTE (VW PIEZOMETER)</b> <b>Piezómetro S12A</b> <b>Data</b>							
<b>Marca:</b>	<b>Geokon</b>	<b>Fecha Lectura Inicial:</b>	<b>22-set-03</b>				
<b>Tipo:</b>	<b>VW Piezometer</b>	<b>Lectura R0 Inicial:</b>	<b>9553</b>	<b>digit</b>			
<b>Serie:</b>	<b>03-24878</b>	<b>Lectura T0 Inicial:</b>	<b>22.2</b>	<b>°C</b>			
<b>Modelo:</b>	<b>4500S-150</b>	<b>Elevación de Instalación:</b>	<b>4356.79</b>	<b>m</b>			
<b>Rango:</b>	<b>145</b>	<b>Fecha de Instalación:</b>	<b>22-set-03</b>				
<b>Coordenadas UTM y Elevación:</b>		<b>Elev. Profundidad Total de Perf.</b>	<b>m</b>				
<b>Boca del Sondeo</b>		<b>Factor G:</b>	<b>0.04109</b>	<b>psi/digit</b>			
<b>Norte (m):</b>	<b>8529673.76</b>	<b>Factor K:</b>	<b>-0.01331</b>	<b>psi/°C</b>			
<b>Este (m):</b>	<b>535177.475</b>	<b>Factor F:</b>	<b>0</b>				
<b>Elevación (m):</b>	<b>4456.439</b>	<b>Factor de Conversión U:</b>	<b>0.70432</b>	<b>psi-m H2O</b>			
<b>Cto. Suelo/Roca (m):</b>	<b>4451.439</b>	<b><math>P = ((R0-R1)G'U + (T1-T0)K'U)</math></b>					
LECTURA	FECHA	R1 (digital)	T1 (°C)	(R0-R1) G'U	(T1-T0) K'U	P (M H2O)	Nivel Agua (m H2O)
1	22/09/2020	7438.6	8.2	61.1918	0.1312	61.3231	4418.11
2	24/09/2020	6581.7	8.2	85.9909	0.1312	86.1222	4442.91
3	26/09/2020	7534.8	8.2	58.4077	0.1312	58.539	4415.33
4	11/10/2020	7579.7	8.2	57.1083	0.1312	57.2395	4414.03
5	17/10/2020	7588.5	8.1	56.8536	0.1312	56.9858	4413.77
6	22/10/2020	7594.0	8.2	56.6945	0.1312	56.8257	4413.61
7	05/11/2020	7606.8	8.2	56.324	0.1312	56.4553	4413.24
8	12/11/2020	7564.9	8.2	57.5366	0.1312	57.6679	4414.46
9	22/11/2020	7589.9	8.2	56.8131	0.1312	56.9444	4413.73
10	30/11/2020	7609.8	8.2	56.2372	0.1312	56.3684	4413.16
11	19/12/2020	7573.4	8.2	57.2906	0.1312	57.4219	4414.21
12	30/12/2020	7590.1	8.2	56.8073	0.1312	56.9386	4413.73
13	18/01/2020	7603.0	8.2	56.434	0.1312	56.5652	4413.35
14	09/02/2020	7604.3	8.2	56.3964	0.1312	56.5276	4413.32
15	25/02/2020	7601.5	8.2	56.4774	0.1312	56.6086	4413.4
16	05/03/2020	7605.7	8.2	56.3559	0.1312	56.4871	4413.28
17	21/03/2020	7600.6	8.2	56.5034	0.1312	56.6347	4413.42
18	01/04/2020	7594.3	8.2	56.6858	0.1312	56.817	4413.61
19	19/04/2020	7594.5	8.2	56.6800	0.1312	56.8112	4413.60
20	05/05/2020	7602	8.2	56.4629	0.1312	56.5942	4413.38
21	29/05/2020	7602.9	8.2	56.4369	0.1312	56.5681	4413.36

## **II.4 Procedimiento.**

### **II.4.1 Etapa de Precampo.**

Esta etapa consiste en realizar una investigación documental para profundizar en el enfoque teórico de nuestras variables, para ello se hará una revisión en prestigiosas revistas a nivel mundial como Science Direct, Springer, Redalyc, considerando que las investigaciones encontradas estén relacionadas directamente con nuestras variables y que hayan sido publicadas en los últimos diez años.

### **II.4.2 Etapa de Campo.**

Se procedió al reconocimiento de las formaciones geológicas y su descripción.

Se ubicaron los hitos topográficos – Prismas.

Se instalaron los piezómetros e inclinómetros.

### **II.4.3 Etapa de Procesamiento y Análisis de Datos.**

Se utilizó el software ArcGIS para elaborar el mapa geológico y Leapfrog para el modelamiento 3D.

Se procesó la data de los prismas en ArcGIS para determinar la magnitud y dirección de movimientos.

Para el análisis del nivel piezométrico se realizó la sectorización en tres zonas: alta, intermedia, y baja, de acuerdo con la altitud. Pero, antes de realizar las series temporales de la variación piezométrica, se hizo un análisis estadístico, con la finalidad de obtener datos confiables, y eliminar valores atípicos, para ello, se realizó en primera instancia la limpieza de valores atípicos, seguido de ello, se buscó transformar los datos para normalizarlos y según Box-Cox

la mejor transformación para nuestros datos es el  $\ln(x)$ , y se mejoró el gráfico de probabilidad, y se obtuvo datos normalizados.

Con el procedimiento mencionado, se procedió a realizar la interpretación del nivel piezométrico de la zona de estudio.

Se elaboraron los perfiles de análisis de acuerdo con la topografía que se tiene de la zona de estudio con el análisis de la instrumentación.

Para ello, primero se conoció las líneas de máxima pendiente de acuerdo con la topografía y al uso de gota de agua en el Civil 3D.

Luego se comenzó con el análisis de los prismas, y considerando la ubicación de los piezómetros e inclinómetros.

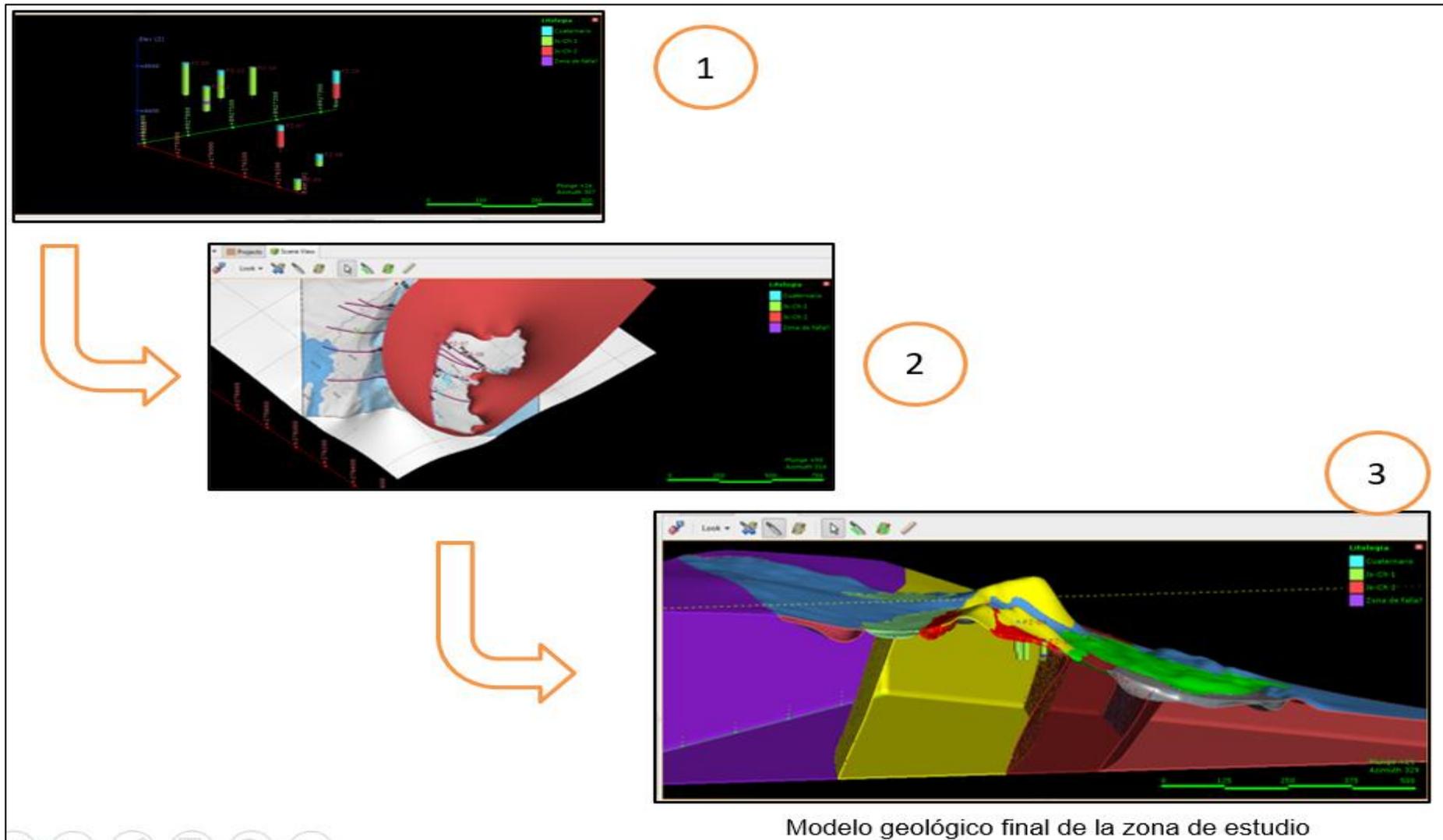


Ilustración 1. Proceso para Obtener modelo 3D en Leapfrog.

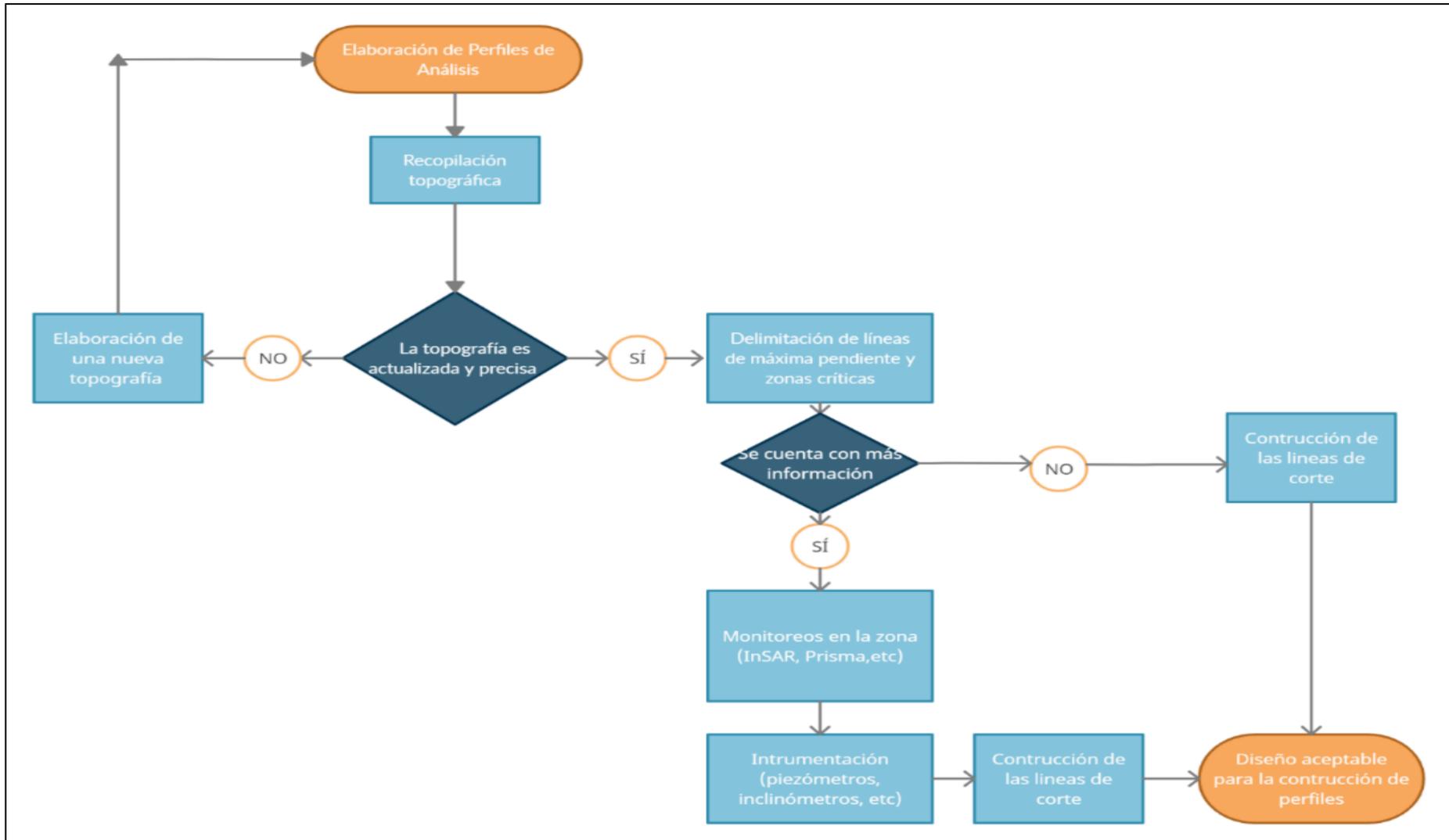


Ilustración 2. Flujograma para la Obtención de Perfiles de Análisis

#### II.4.4 Ubicación.

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Catac	Recuay	Ancash

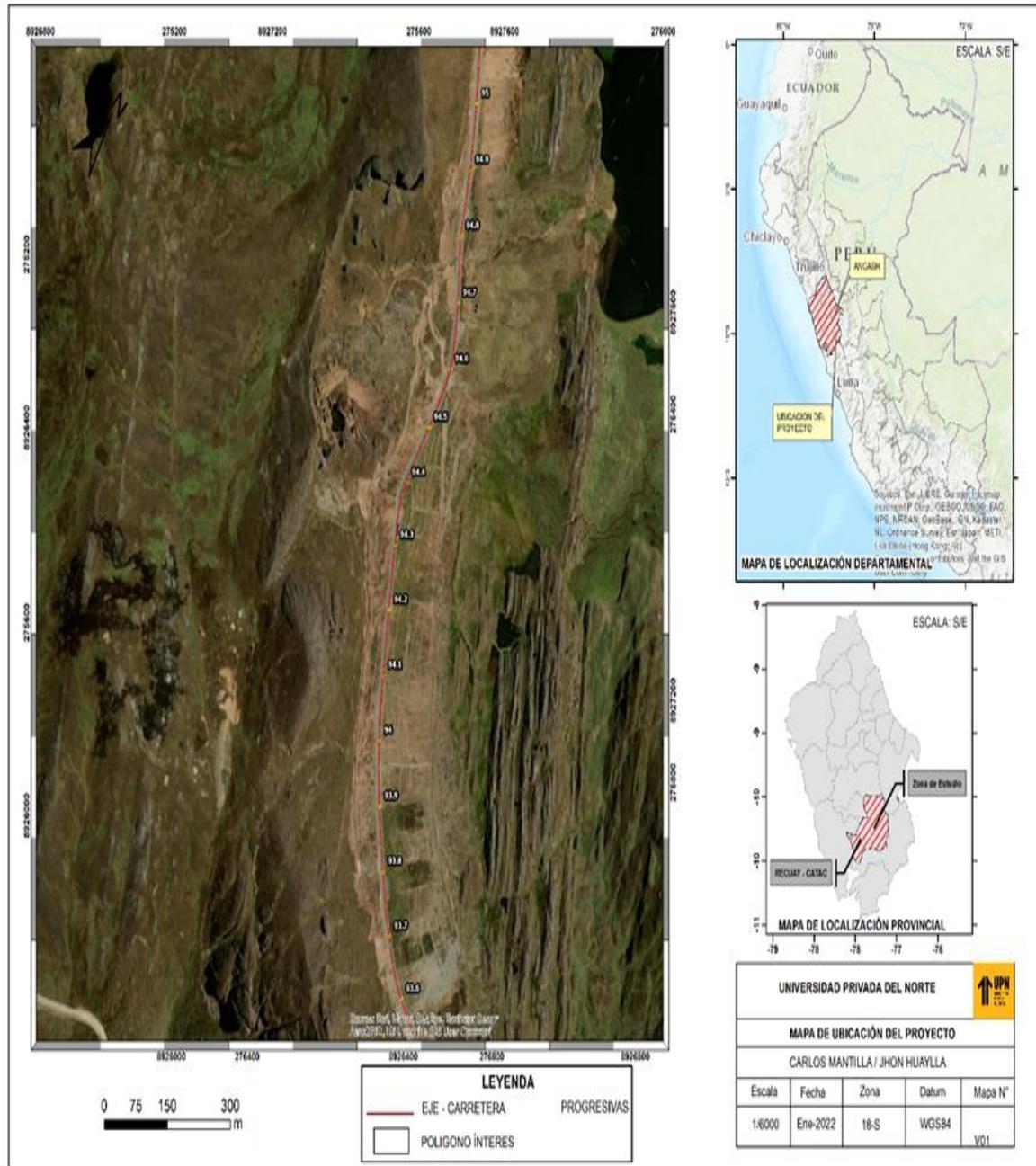


Ilustración 3. Ubicación del Proyecto de Estudio.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### III.1 Geología de la Zona de Estudio.

En la zona donde se encuentra la cantera, se realizó un mapeo geológico en una escala a detalle de 1/5,000, para conocer la evolución geológica de la zona y su modelamiento en el tiempo hasta su aspecto actual. Lo más importante de este mapeo, es que, nos permitió conocer los niveles estratigráficos de la zona, y correlacionar la interpretación de la instrumentación geotécnica con las formaciones geológicas.

La geología de la zona de estudio está basada principalmente en la Formación Chicama del Jurásico Superior, que está dividida en tres miembros principales:

#### ***Formación Chicama (Js-Ch)***

Compuesta de roca arenisca cuarcítica intercalada con horizontes de carbón.

#### ***Formación Chicama 1 (Js-Ch1)***

Conglomerado gris blanquecino de cuarcita en matriz arenosa. Esta miembro es muy importante por su origen deltaico, y es una excelente roca para obtener agregados para la construcción y asfaltado.

#### ***Formación Chicama 2 (Js-Ch2)***

Capas rojas de areniscas intercaladas con horizontes de limolita y cuarcita blanco a marrón pálido. Esta formación por los horizontes de material fino es importante realizar un análisis de estabilidad, ya que es propensa a inestabilizar el talud y se puede obtener deslizamientos con superficie no circular.

#### ***Depósito Coluvial (Qh-Co)***

Está formado por material grueso de gravas y bloques principalmente, su formación se debe al deslizamiento histórico que se tiene en la zona, tiene profundidades de hasta 12 metros.

### ***Deposito Coluvial 1 (Qh-Co1)***

También formado por material grueso de gravas y bloques, su espesor es de 1 m hasta los 4 m de profundidad.

### ***Depósito Glaciar (Qh-GI)***

Acumulación de bloques, subangulosos, con matriz de limos y arcillas.

Posterior a obtener el mapeo en 2D, se procedió a crear un modelo 3D, con el software Leapfrog Geo, para conocer las formaciones geológicas en profundidad, y poder sacar nuestras secciones de rotura para posterior, introducirlo en el Slide.

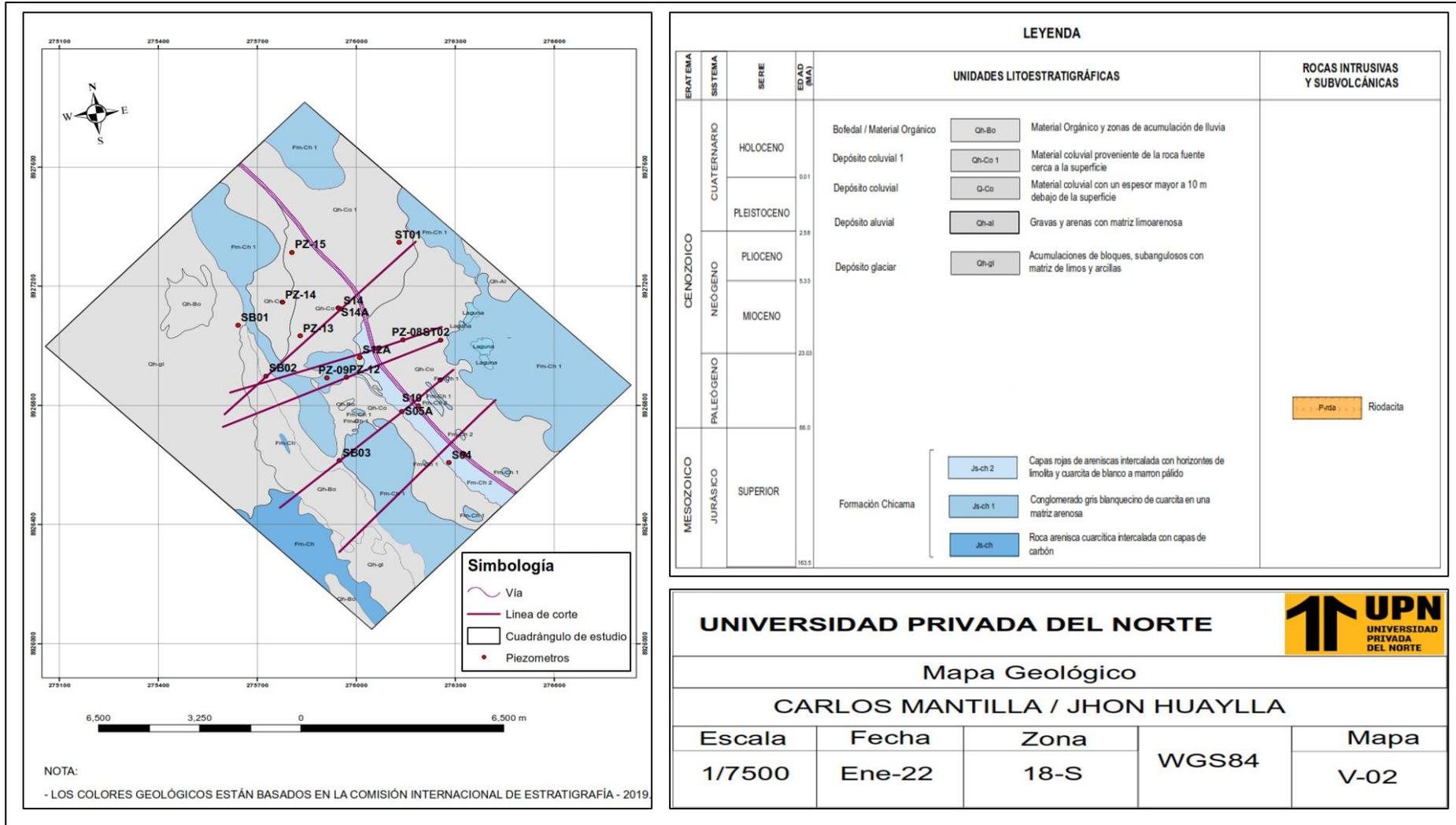


Ilustración 4. Mapa Geológico de la Zona de Estudio.

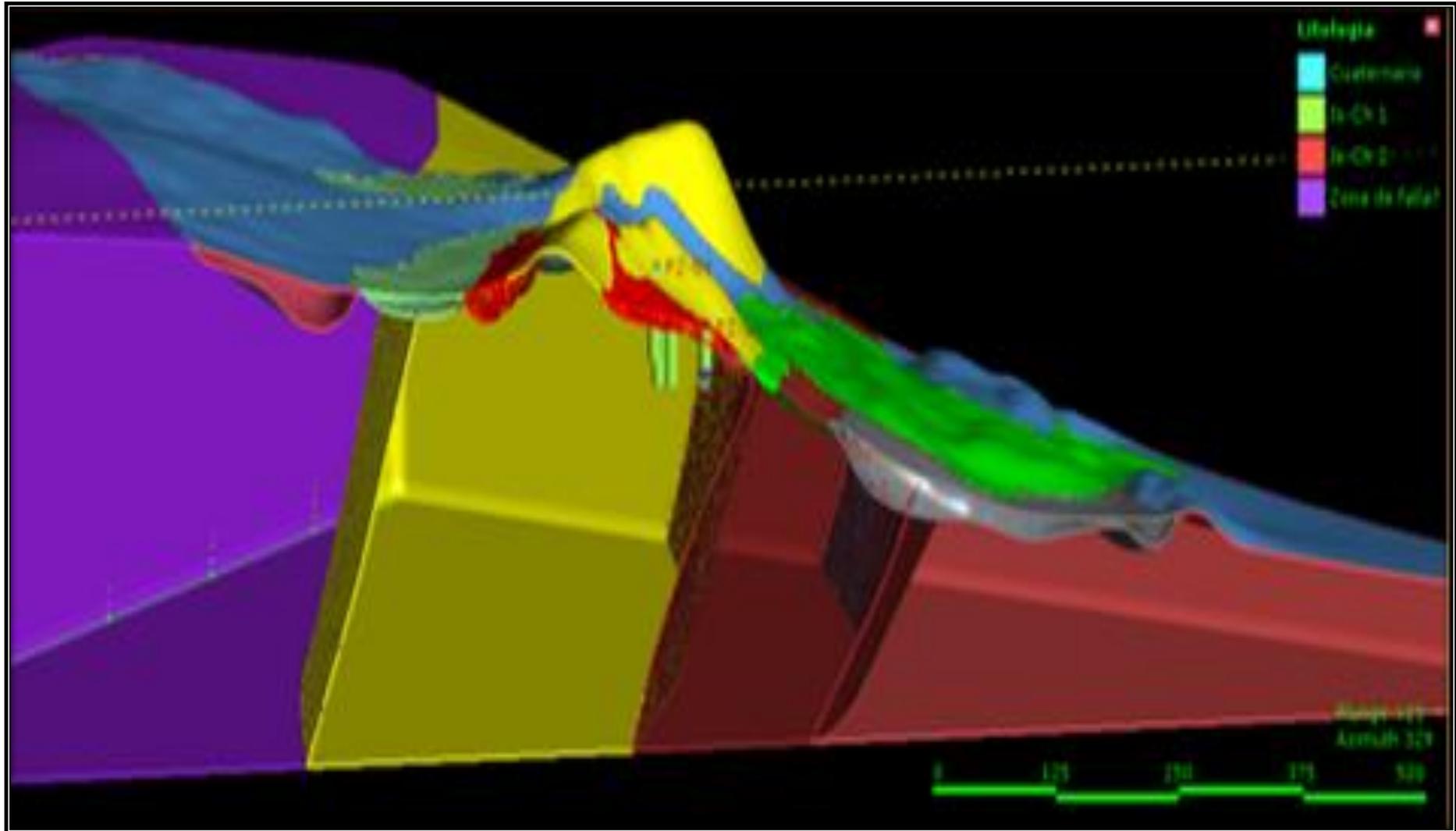
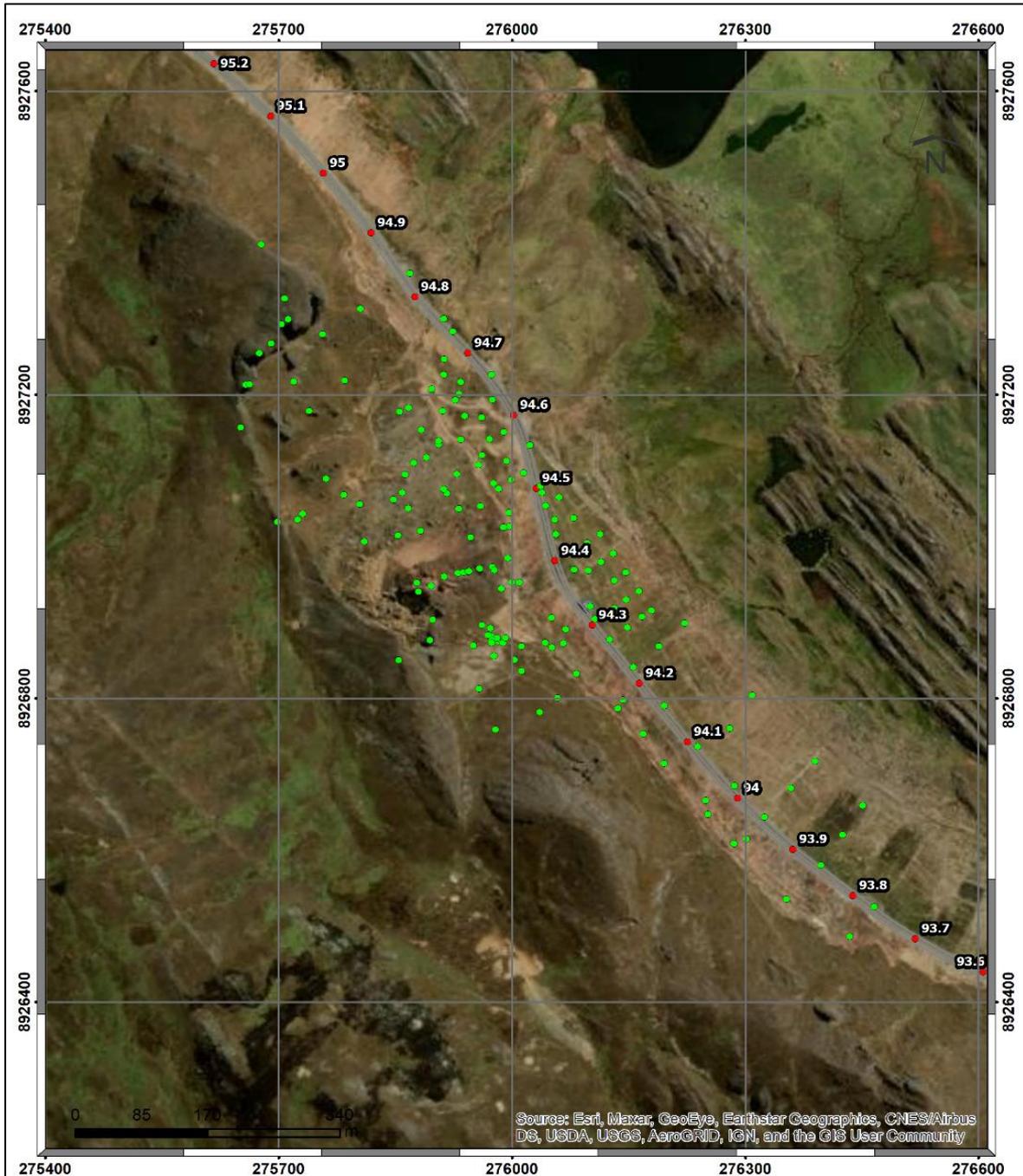


Ilustración 5. Modelo Geológico 3D en Leapfrog

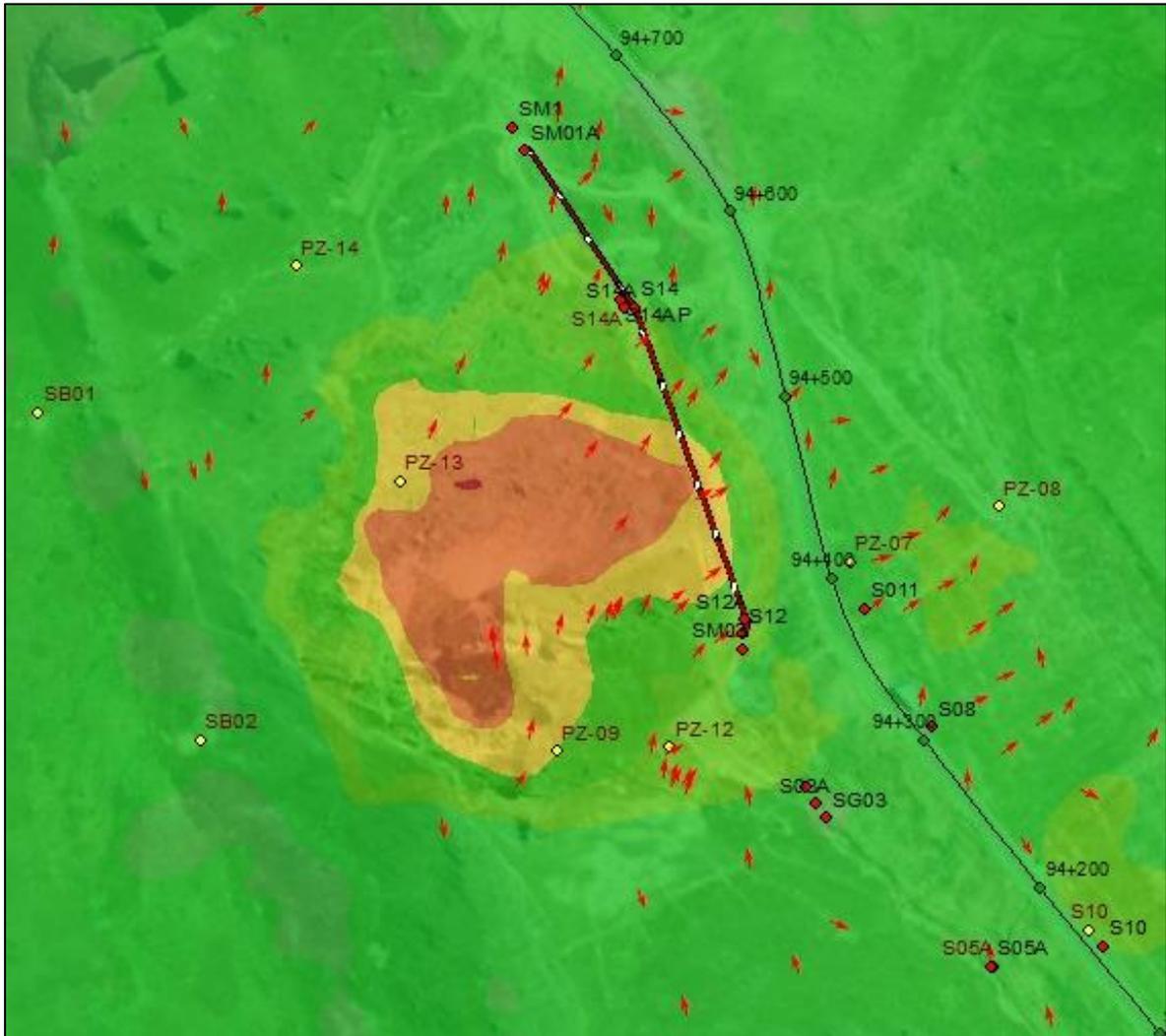


LEYENDA	
<span style="color: red;">●</span>	Progresivas
—	Vía
Instrumentación	
<span style="color: green;">●</span>	Hitos

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE				
<b>MAPA DE UBICACIÓN DE HITOS TOPOGRÁFICOS</b>				
CARLOS MANTILLA / JHON HUAYLLA				
Escala	Fecha	Zona	Datum	Mapa N°
1/6000	Ene-2022	18-S	WGS84	V02

Ilustración 6. Mapa de Ubicación de Hitos Topográficos - Prismas.

Se realizó el análisis de los prismas, que nos permitió conocer las zonas con mayores movimientos y cuál es su dirección de movimiento, en la zona alta es donde se tienen los mayores movimientos, las coloraciones rojas tienen movimientos de hasta 40 mm/año, según la escala de Barnes (1996), son movimientos muy lentos. Asimismo, en esa zona se notó que el movimiento tiene un azimut de  $N47^\circ$ .



*Ilustración 7. Magnitud y Dirección del Movimiento Según Prismas.*

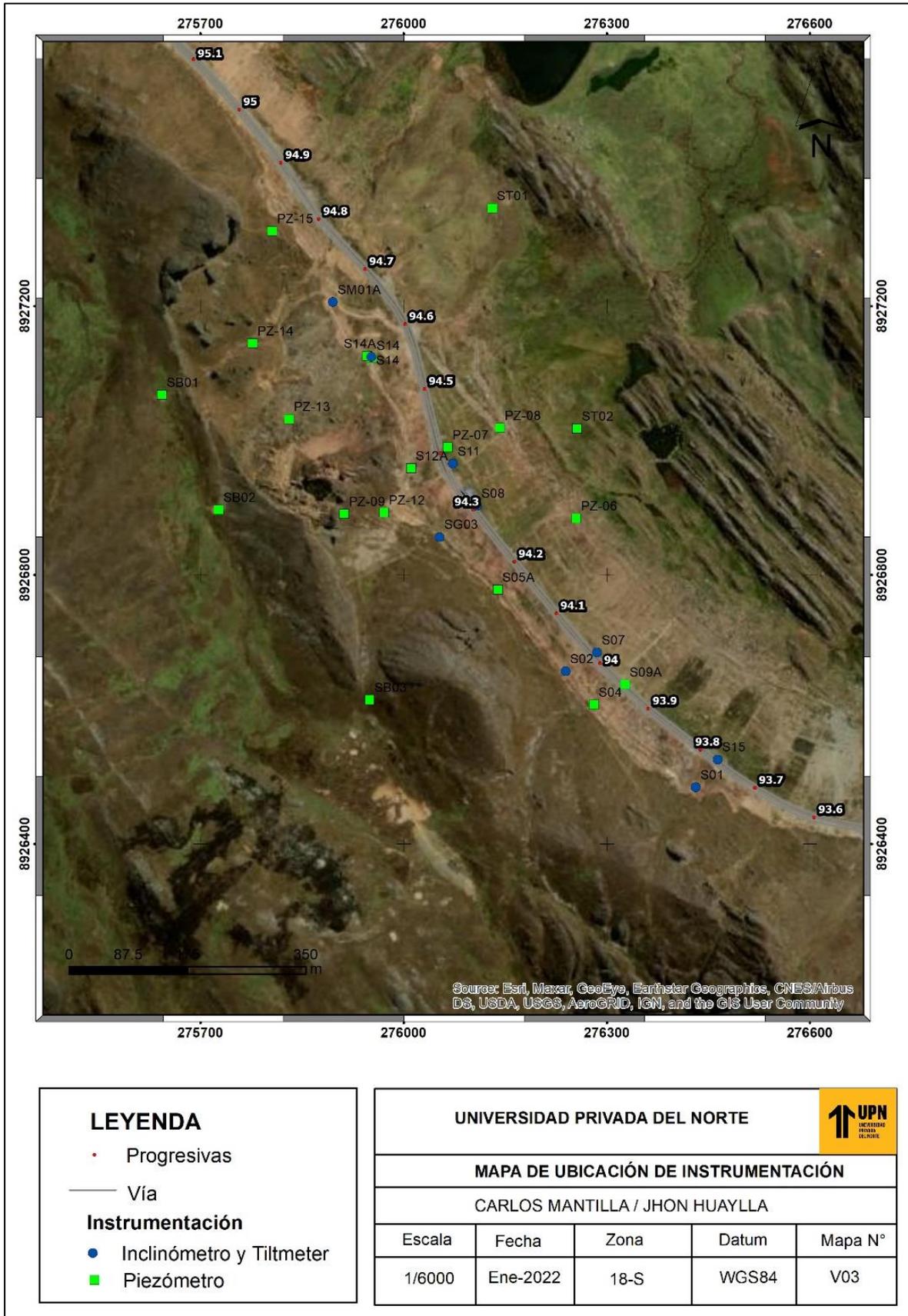
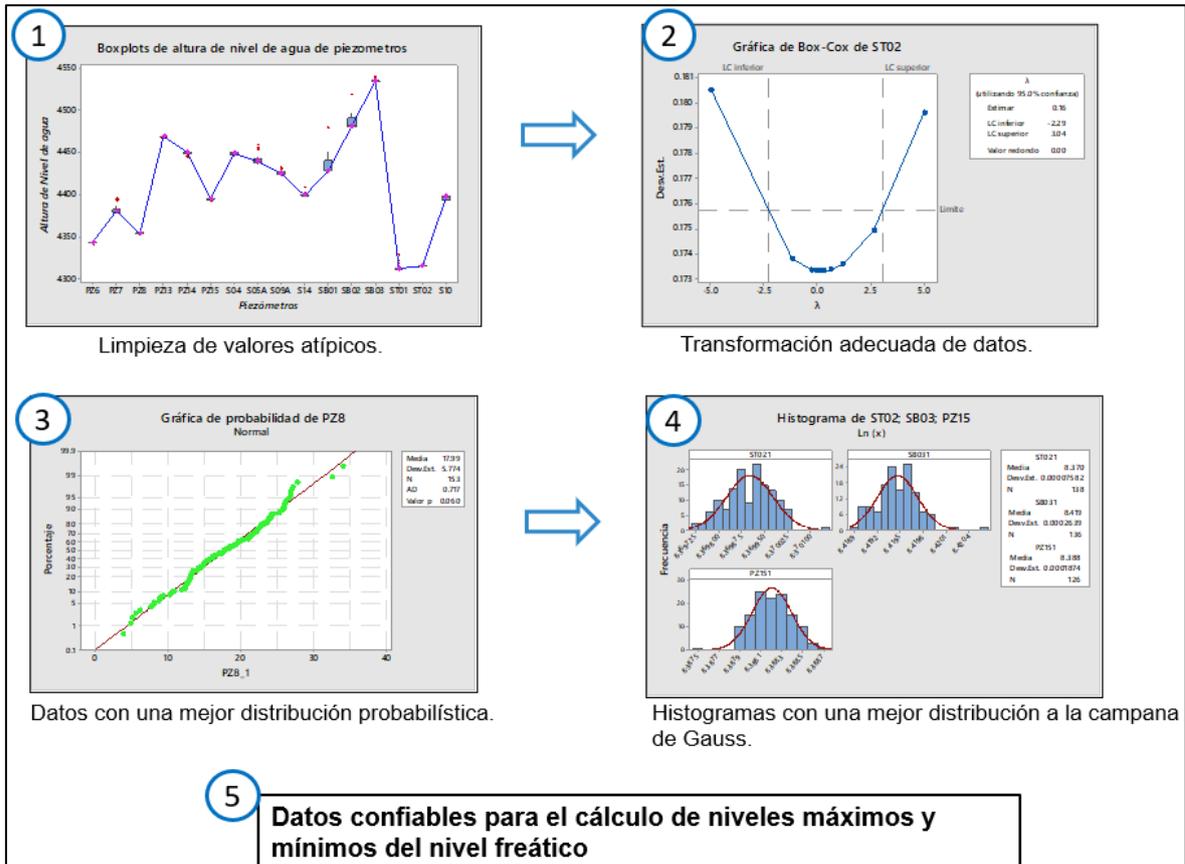


Ilustración 8. Mapa de Ubicación de Piezómetros e Inclinómetros.

## Normalización de datos de piezómetros

Tabla 2. Procedimiento para la Obtención de Datos Confiables Piezométricos.



De la zona alta, se visualiza que la mayoría de los piezómetros el nivel de agua está muy cerca al nivel del terreno, esto es debido a que los piezómetros se encuentran próximos a una bofedal que durante todo el año mantiene su volumen. La oscilación del nivel de agua de esta zona está entre 3.3 m a 4 m. Es importante mencionar que, en el piezómetro SB01 se registra el nivel de la base del pozo, esto es debido principalmente a que el piezómetro de cuerda vibrante no está funcionando adecuadamente.

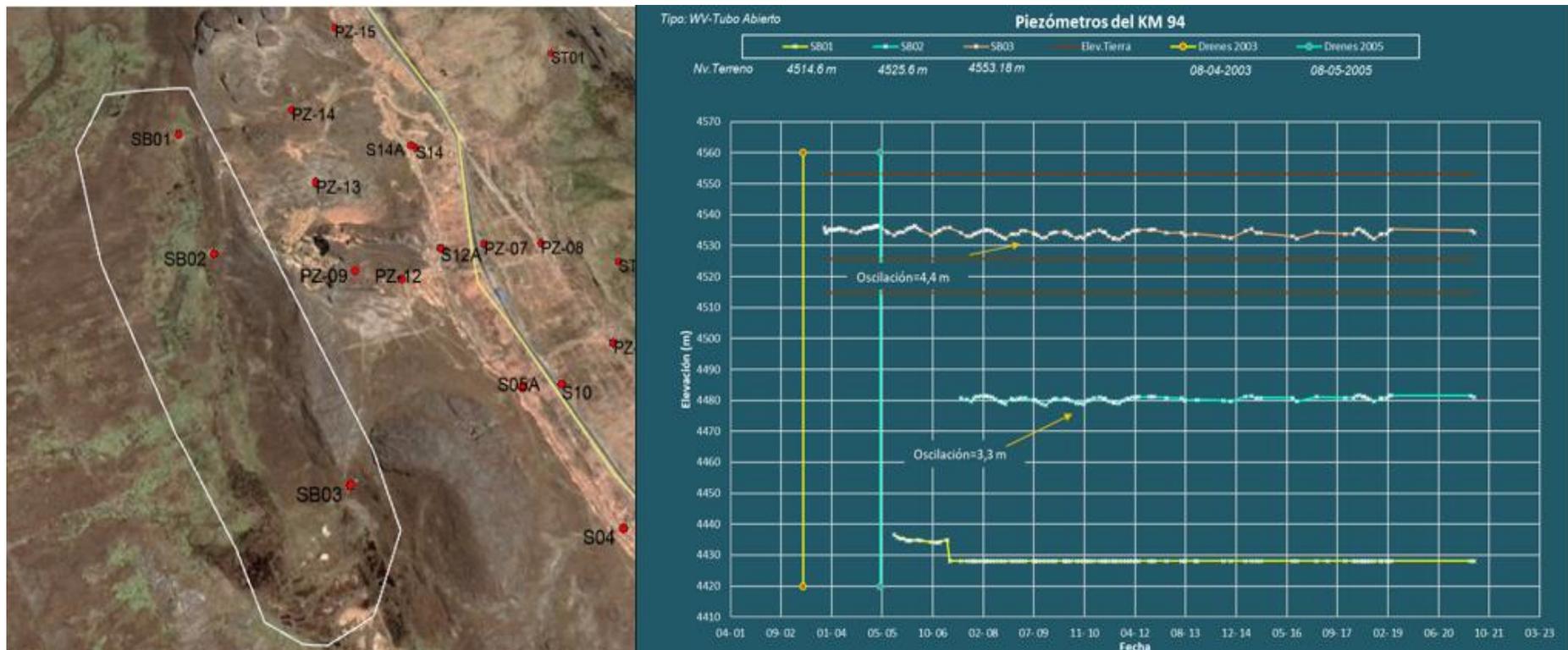


Ilustración 9. Niveles de Agua de la Zona Alta de la Zona de Estudio.

En la zona intermedia, donde los piezómetros están ubicados en la zona de interés, la oscilación del nivel de agua va desde los 2.68 m hasta 9.48m, debido a que está influenciada por la época de lluvia y seca en las zonas altoandinas, y la recarga de la parte alta en el bofedal. Los piezómetros PZ13 y PZ14 son las que tiene una mayor variación debido a que están ubicados en el sector por donde descienden las aguas directamente del bofedal. No se incluyó en la gráfica al PZ09, debido a que es un piezómetro de tubo abierto y sus ranuras han sufrido una obstrucción por material fino.

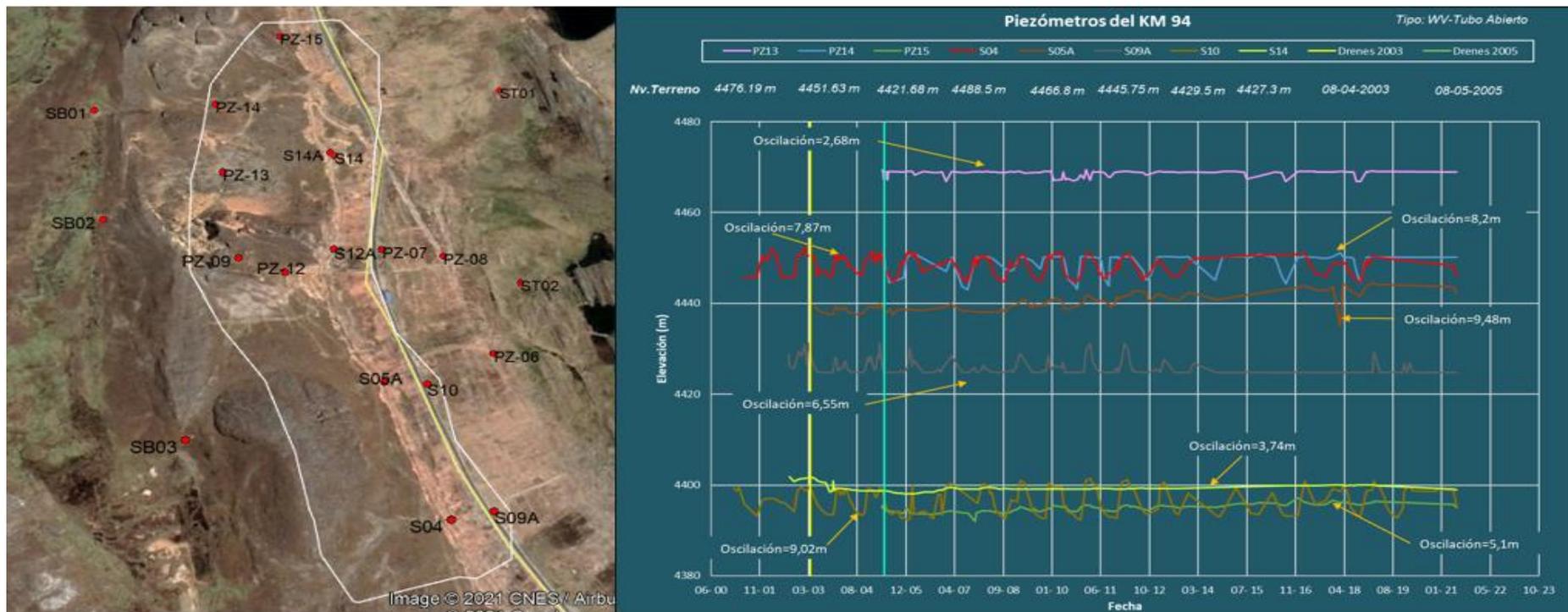


Ilustración 10. Niveles de Agua de la Zona Intermedia de la Zona de Estudio.

En la zona baja, la oscilación del nivel de agua tiene una variación que va desde 1.2 m a 6.45 m., mayormente los piezómetros ST01, ST02, el nivel de agua lo tiene próxima al nivel del terreno, debido a su cercanía con las lagunas.

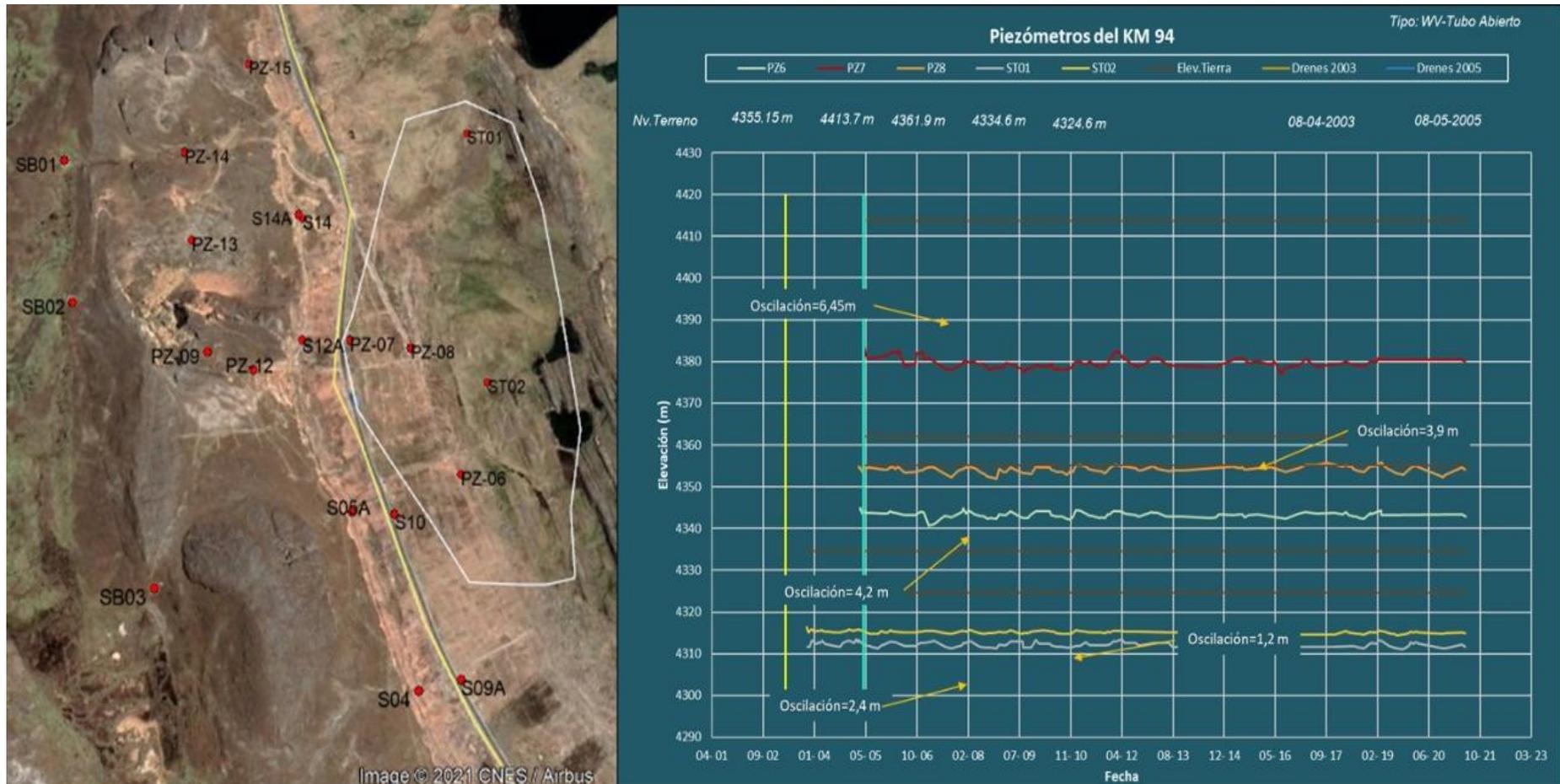


Ilustración 11. Niveles de Agua de la Zona Baja de la Zona de Estudio.

Tabla 3. Orden de Interés Hidrogeológico en la Zona de Estudio de Acuerdo con la Geología.

Orden de Interés Hidrogeológico					
Unidad geológica		Litología	Hidrogeología	Piezómetros	Oscilaciones
Material cuaternario (Qh-Bo, Qh-gl, Qh-co)	Qh-Co 1	Acumulaciones de bloques de diferente tamaño angulosos a subanguloso, provenientes de deslizamientos históricos y fragmentación de conglomerados	El material cuaternario coluvial, juega un rol muy importante, sobretodo los que tienen un espesor de hasta 10 m, compuesto de bloques de conglomerados y arenisca, lo que permiten que el agua pueda aprovechar el material suelto para que pueda infiltrarse con mayor facilidad.	PZ15; S14; PZ13	2.5 m - 5 m
	Qh-Bo; Qh-gl	Acumulaciones de bloques, subangulosos con matriz de limos y arcillas.	Los depositos morrenicos que hay en la zona de estudio han permitido la acumulacion de aguas subterranas, formando colchones de agua (bofedales) en la zona alta que alimenta la parte baja	S801	8-5 m
	Qh-Co	Acumulaciones de bloques de diferente tamaño angulosos, con espesor de 1m a 4m	Estos depositos al ser de menor espesor no tiene una gran relevancia para la acumulacion de aguas subterranas, permitiendo el paso a las formaciones mas profundas.	A802; S803; ST02; PZ14; PZ06; PZ07; PZ08.	2m - 8m
Js-Ch 1	Conglomerados gris blanquecinos de cuarcita en una matriz arenosa	Los conglomerados tienen granos mayor a 2 MM, lo que permiten que sean rocas mas permeables y porosas, para la acumulacion de aguas subterranas, suelen ser buenos acuíferos.	PZ14; PZ13; S801; S802; S803; PZ09; PZ12; ST01; ST02; PZ08; PZ06.	1.8 m - 5 m	
Js-Ch 2	Capas rojas delgadas de arenisca intercaladas con lutitas y cuarcita.	Las areniscas permiten el paso de las aguas subterranas, y los horizontes de lutitas funcionan como barreras. Pero, <b>la permeabilidad secundaria</b> juega un papel muy importante para la acumulacion de aguas subterranas, al tener una buenas cantidad de planos de estratificación, y estar intensamente fracturadas.	PZ15; S14; PZ07; S12A; S05A; S10; S09A; S04	3.8 m - 9.5 m	
Js-Ch	Roca arenisca con niveles de carbon	Las areniscas de grano a medio y grueso son formaciones buenas para la acumulacion de aguas subterranas, pero los horizontes de <b>carbon antracítico impermeabilizan</b> facilmente el recorrido de la percolacion de las aguas subterranas.	Ninguno	Ninguno	

Los niveles piezométricos se plasmaron en secciones longitudinales, con la finalidad de obtener una mejor interpretación del nivel de agua y poder plasmarlo en el software Slide:

En las secciones transversales se realizó la interpretación del nivel piezométrico, las superficies de cizalla de acuerdo con los inclinómetros, y se hizo el delineado de las superficies de rotura de acuerdo con lo mencionado en complemento con las grietas encontradas en campo.

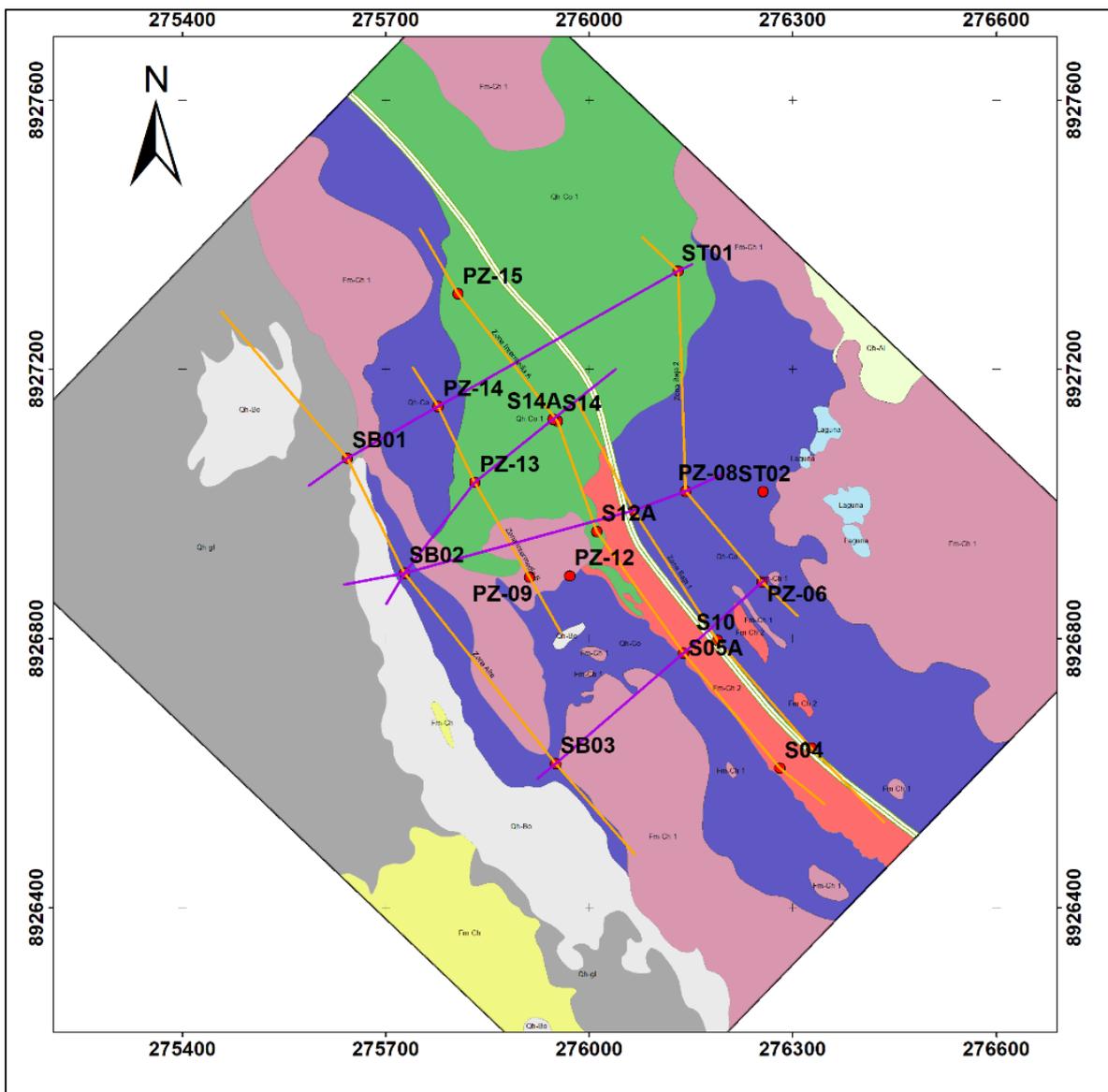


Ilustración 12. Secciones Longitudinales y Transversales para el Análisis de Instrumentación.

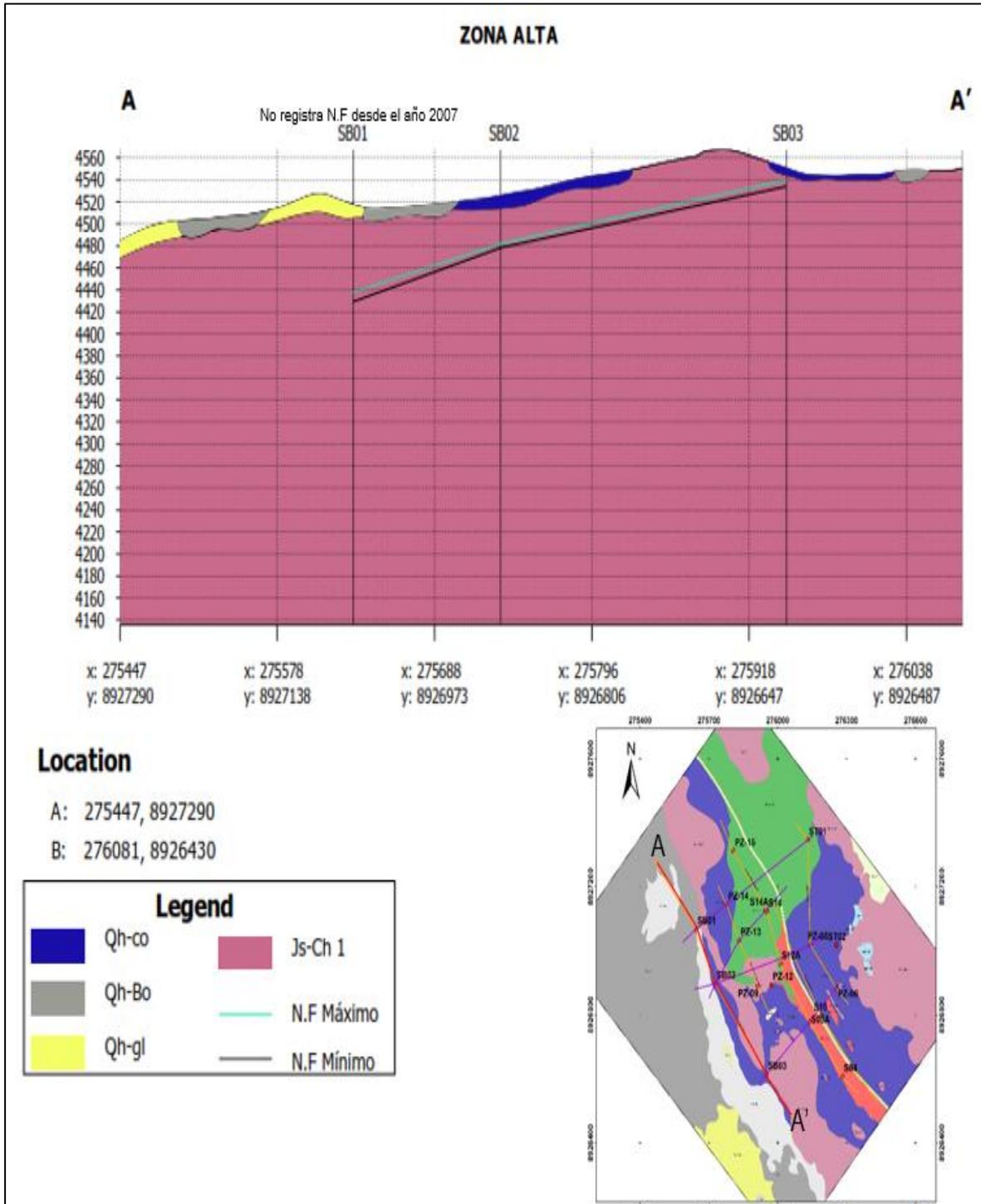


Ilustración 13. Sección Longitudinal A-A".

En esta sección longitudinal se tomó en consideración los niveles máximos y mínimos de agua de cada piezómetro próximo al bofedal. Mayormente están cerca al nivel del terreno, pero excepto el SB01, que su sensor de cuerda vibrante no está detectando presión de poros adecuadamente.

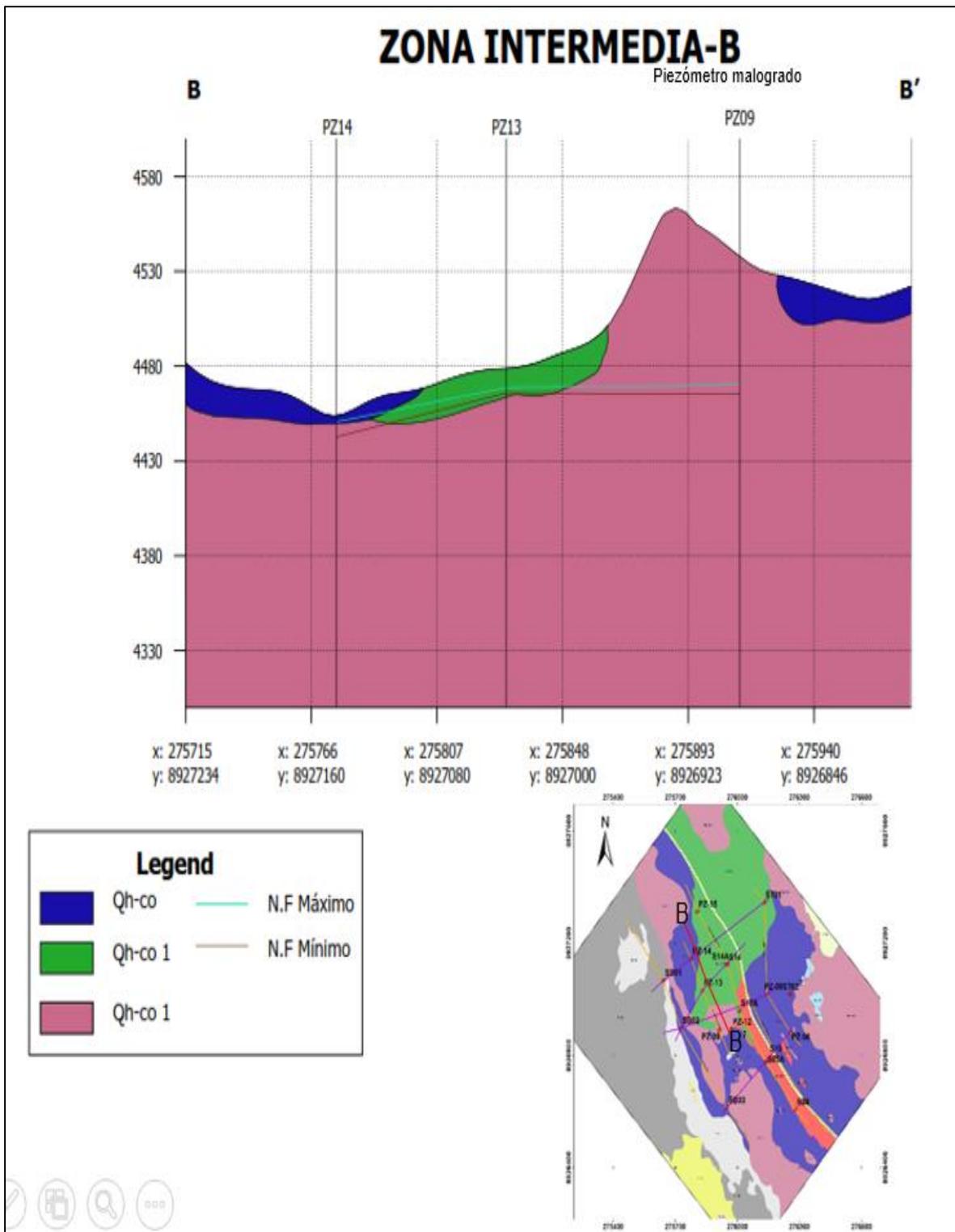
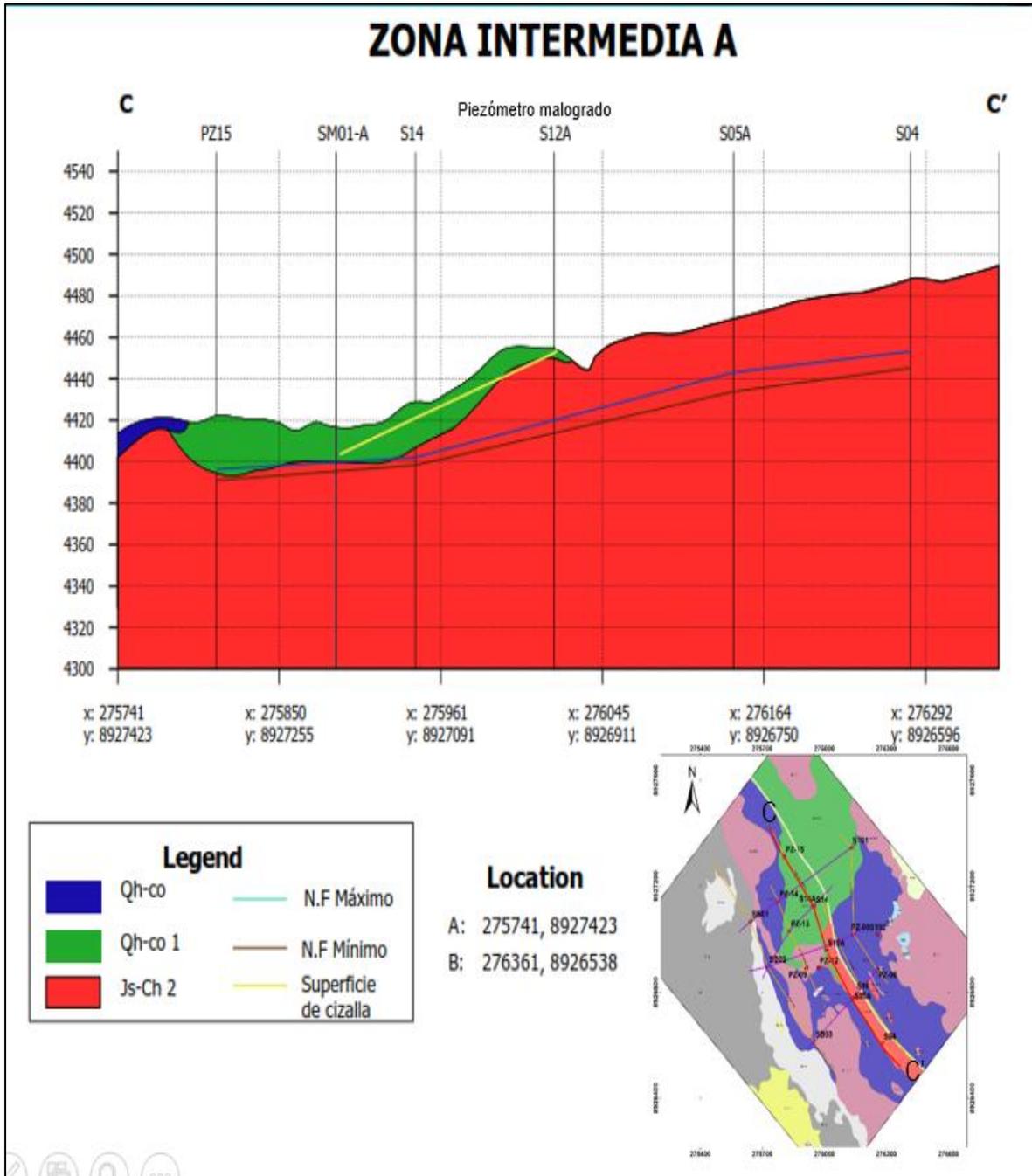


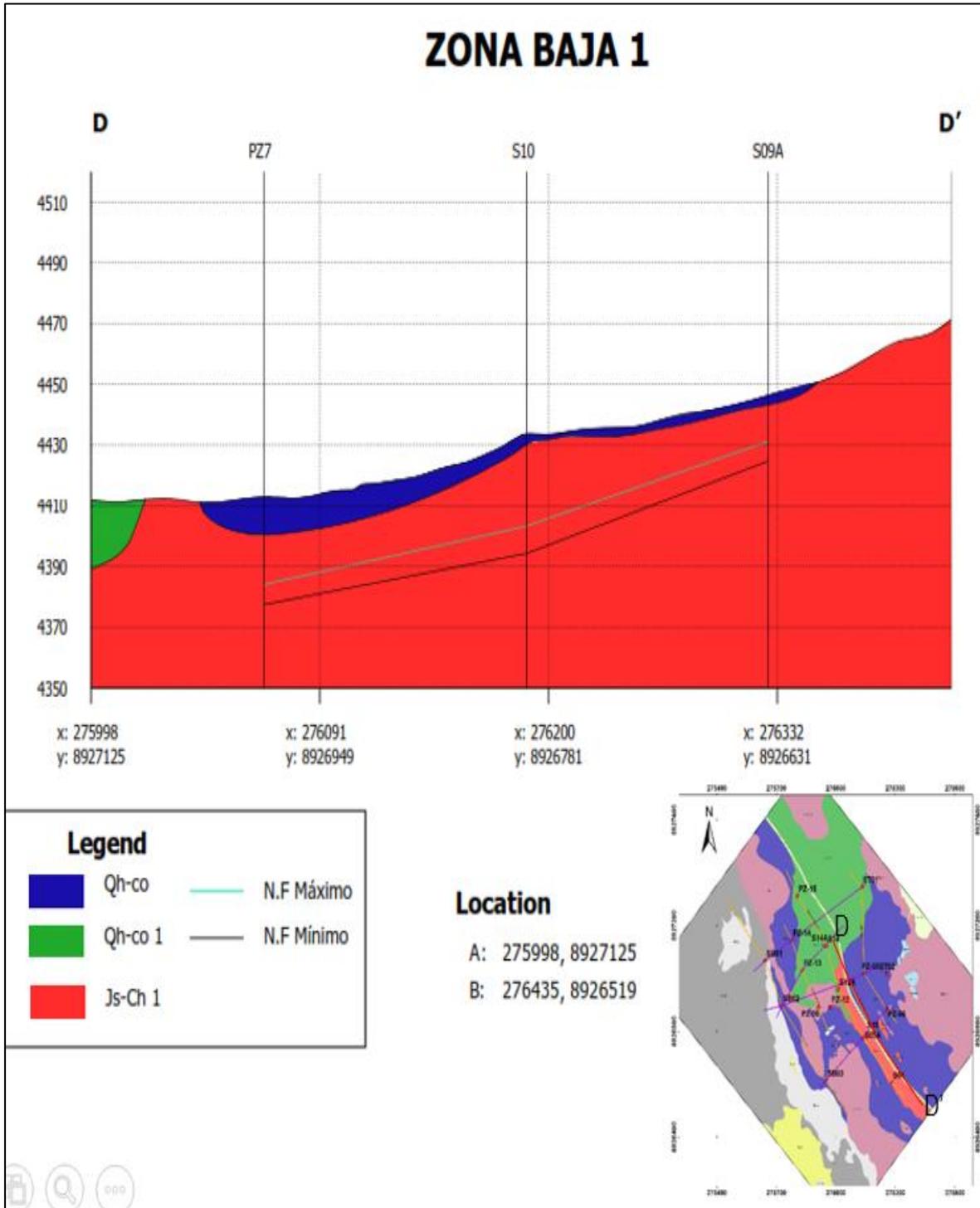
Ilustración 14. Sección Longitudinal B-B".

Los piezómetros PZ13 y PZ14, su nivel de agua registra en el material cuaternario coluvial, ya que está es de grano grueso compuesta principalmente de gravas, que permite que el agua pueda acumularse con mayor facilidad.



*Ilustración 15. Sección Longitudinal C-C".*

El piezómetro PZ15 y S14, tienen sus niveles de agua en el material cuaternario coluvial 1, que tiene material gravoso y de bloques, que permiten un nivel de agua en épocas de lluvia cercana a la superficie.



*Ilustración 16. Sección Longitudinal D-D".*

Se muestra en los piezómetros PZ07, S10 y S09A, el nivel de agua está situada en la formación Js-Ch 1, donde el agua aprovecha los granos gruesos de los conglomerados para poder acumularse con mayor facilidad.

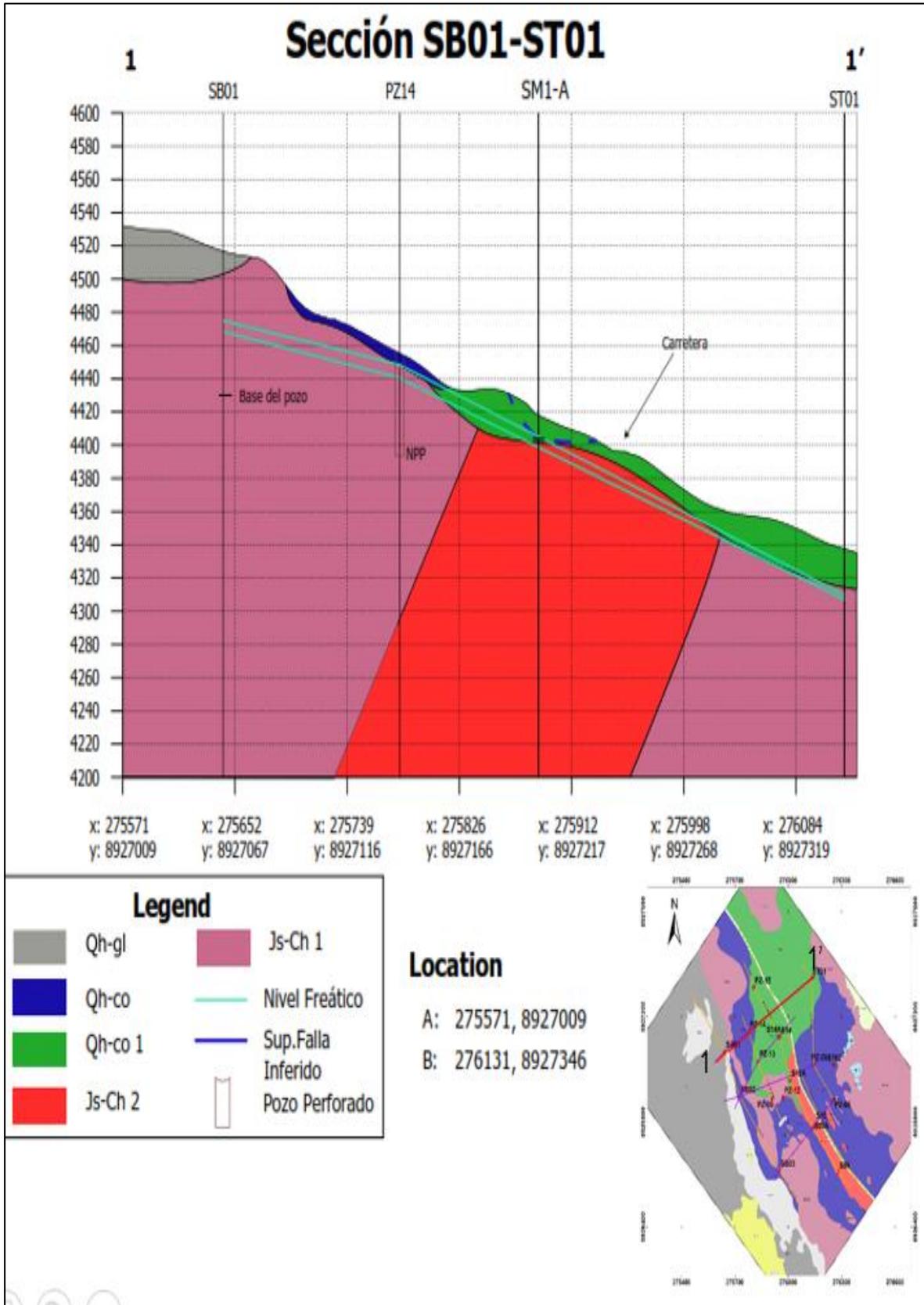


Ilustración 17. Sección Transversal 1-1".

Esta sección transversal está localizada en la zona donde hubo un deslizamiento histórico, y que por ello se tiene grandes espesores de hasta 12 m de profundidad de material coluvial de grano grueso. Los niveles de agua mayormente están en el coluvial. Asimismo, en esta zona se tiene un inclinómetro el SM1-A, que tiene dos ejes de acuerdo con el Casing, el eje A que está en dirección del movimiento, y el eje B perpendicular al eje A.

El eje A es el de mayor importancia, y es ahí donde se observa una deflexión/deformación cerca al contacto suelo/roca:

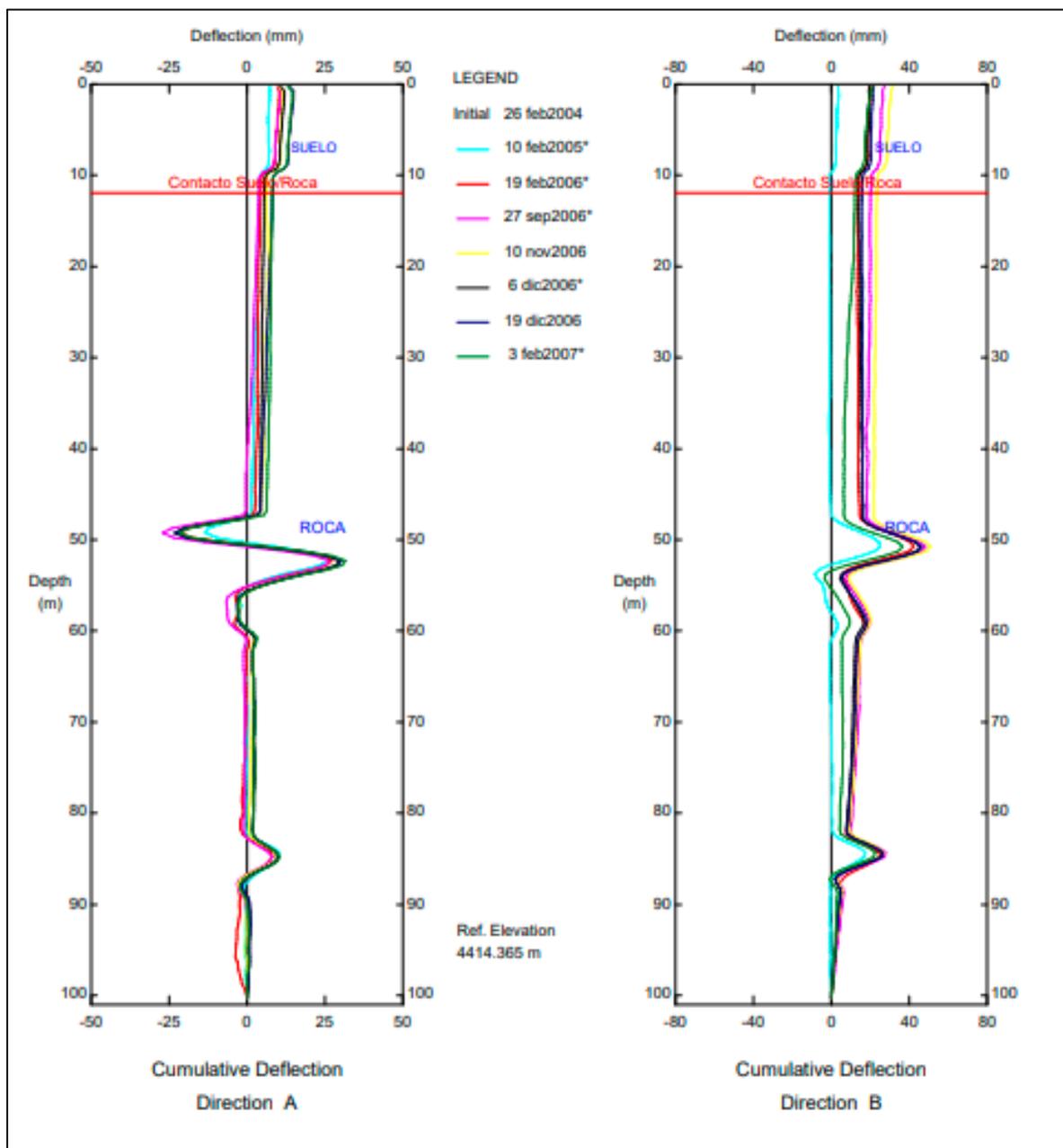


Ilustración 18. Gráfico de Deformación del Inclinómetro SM1A.

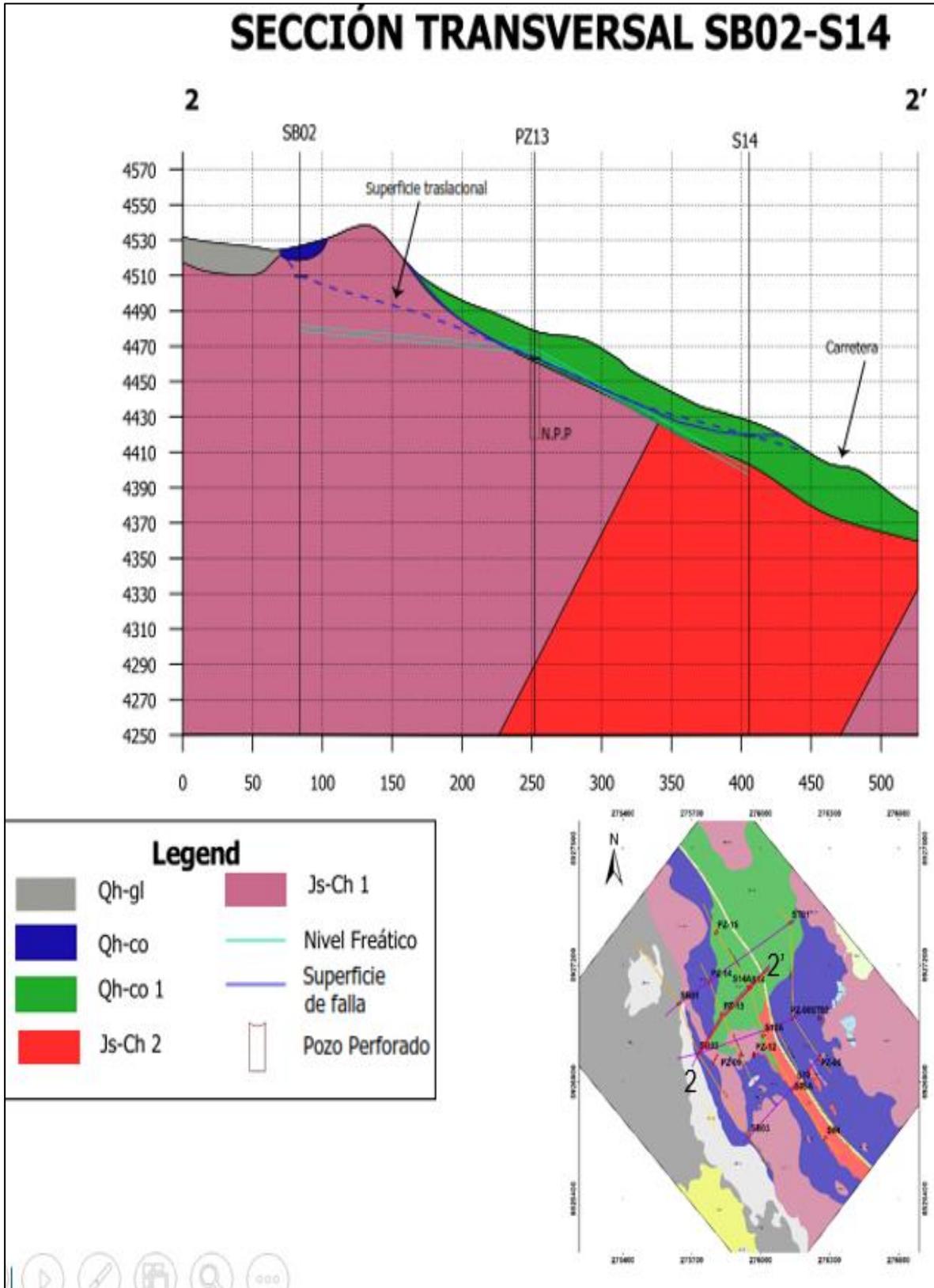


Ilustración 19. Sección Transversal 2-2".

Para esta sección el nivel de agua en PZ13 y S14, está localizada en el material coluvial de grano grueso. Asimismo, algo a considerar es que en el S14 también se tiene instalado un inclinómetro, y se visualiza una deformación a los 4.5 m en el material coluvial 1.

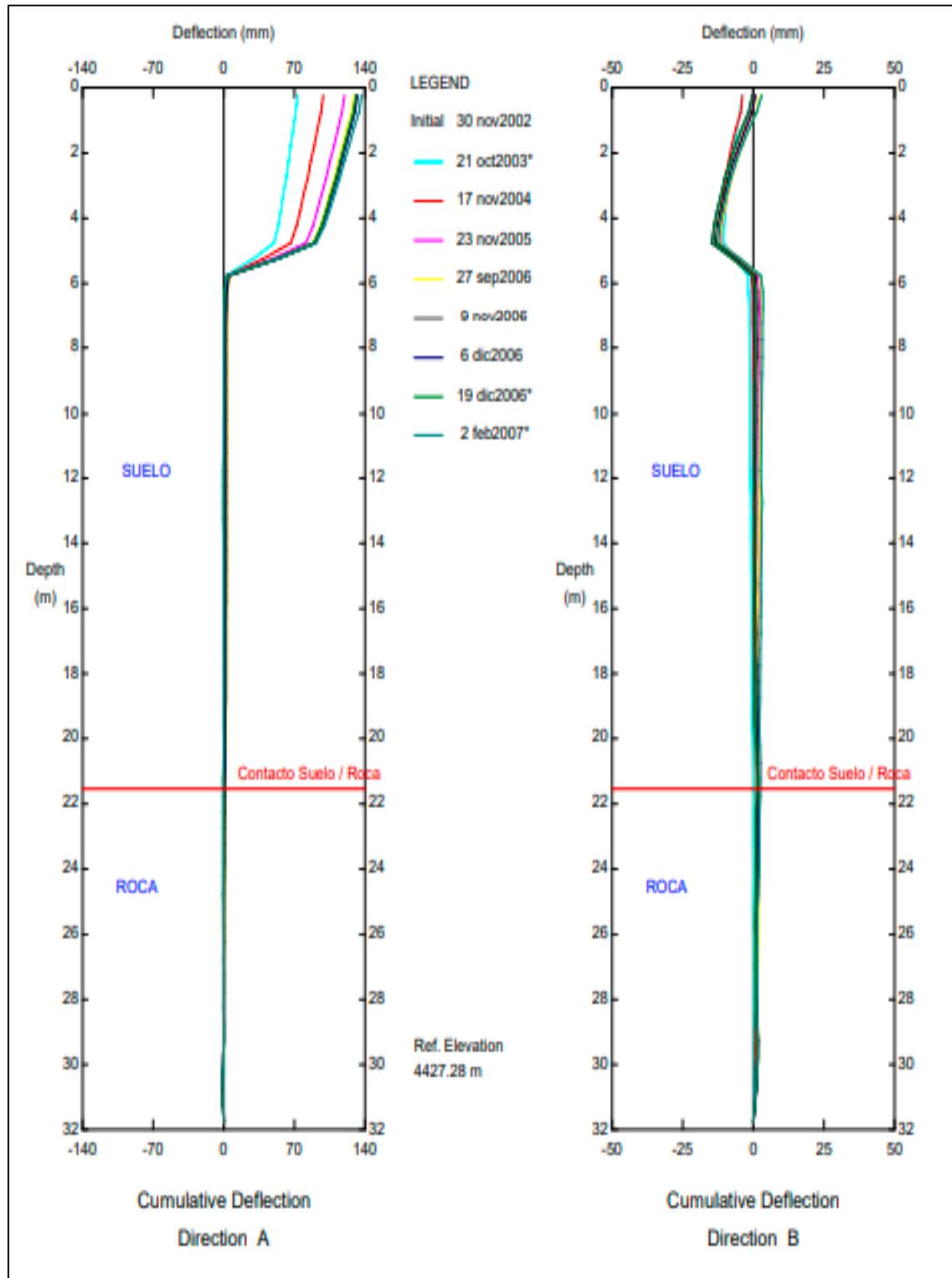


Ilustración 20. Gráfico de Deformación del Inclinómetro SM14.

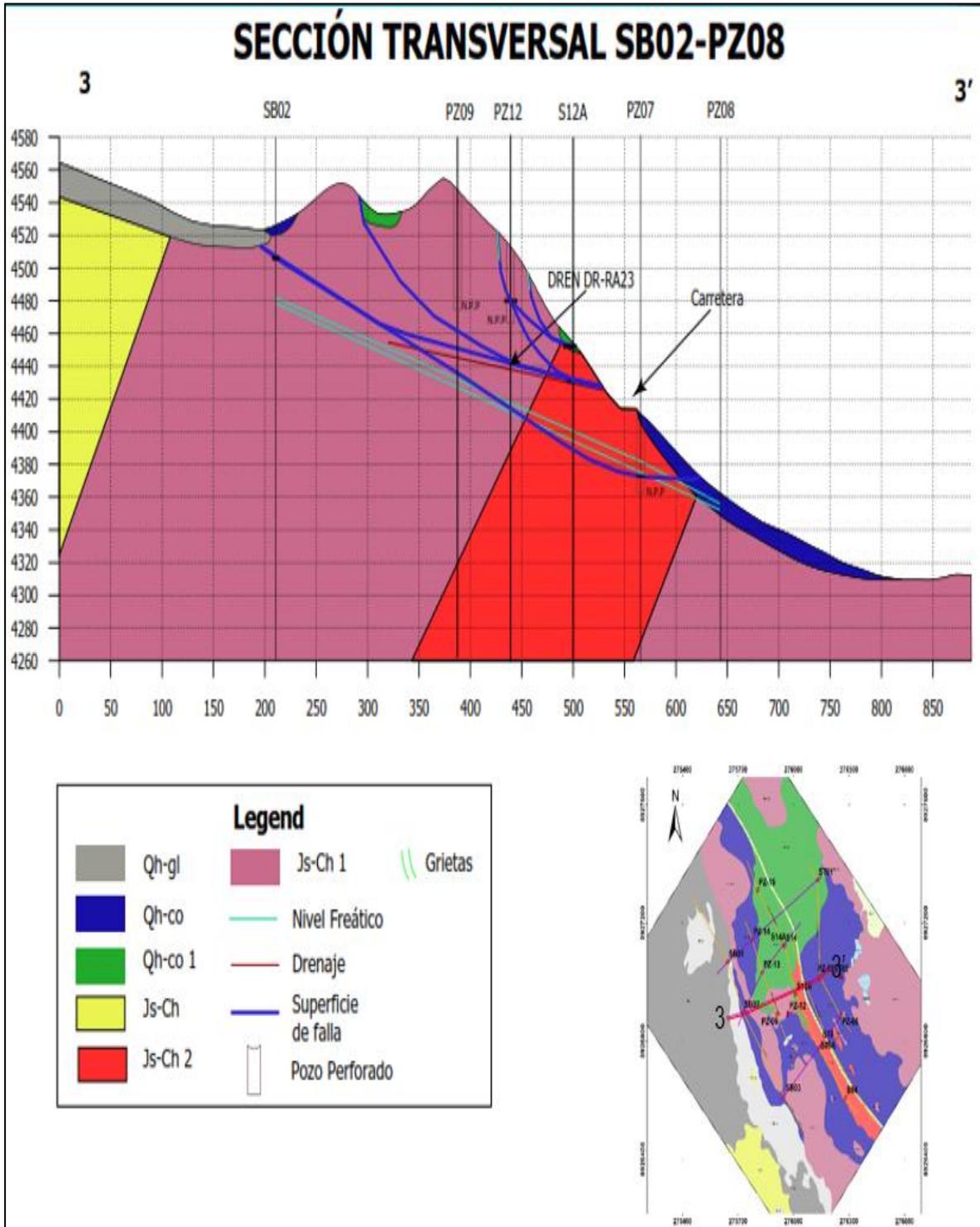


Ilustración 21. Sección Transversal 3-3".

Esta sección transversal es importante debido a que contiene un gran volumen de material conglomerado y areniscas. El piezómetro SB02 y PZ08, sus marcaciones registradas del nivel de agua son erróneas ya que registran la base del pozo, y esa zona tiene contacto directo con el bofedal.

Asimismo, se tiene el inclinómetro S12A, según su gráfica de deformación se tiene superficie de cizalla a los 5 m en el suelo, y a los 22 m en roca. Con la información mencionada se procedió a trazar las posibles superficies de movimiento en el talud, considerando también las zonas de agrietamiento encontrados en superficie.

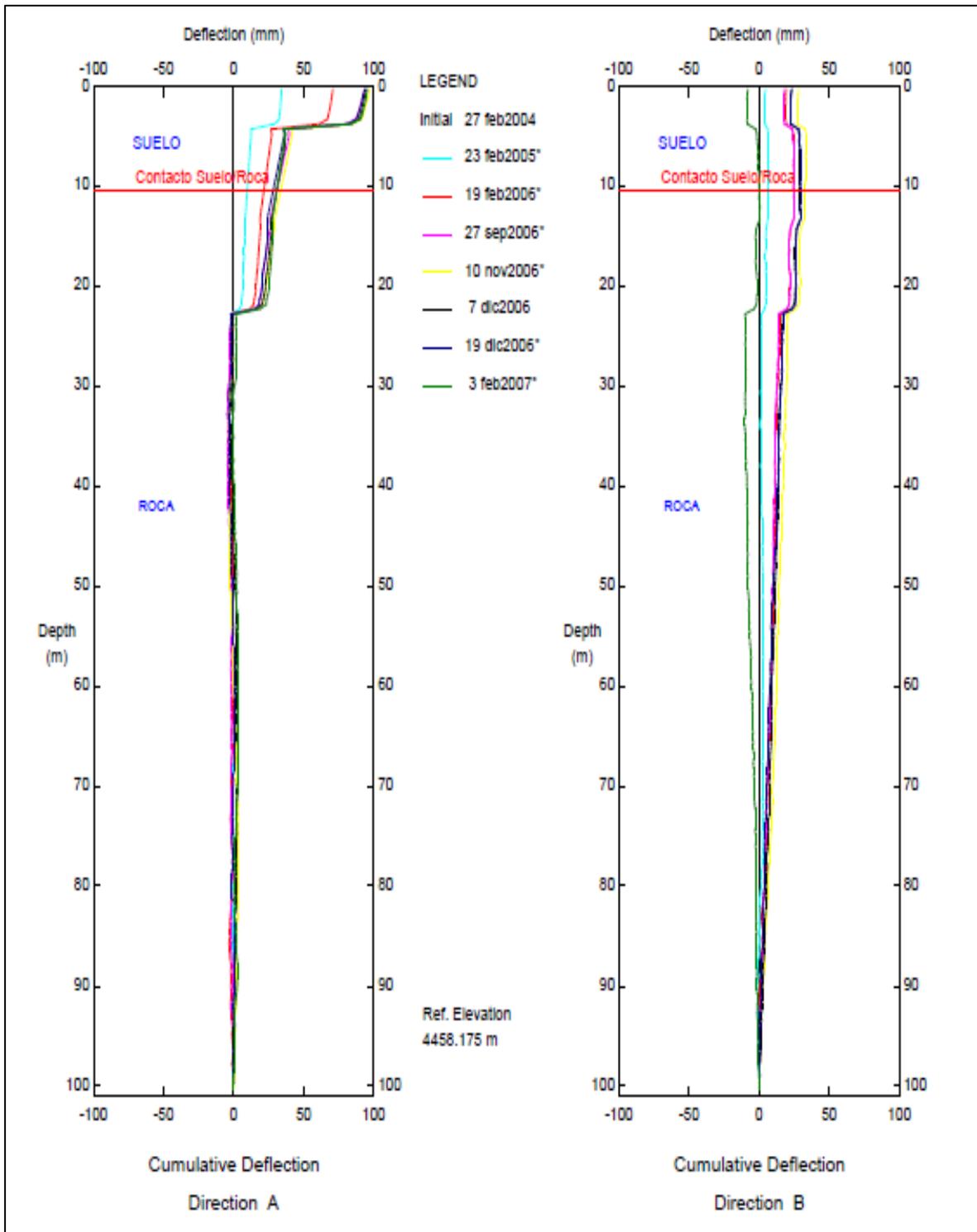


Ilustración 22. Gráfico de Deformación del Inclinómetro S12A.

Con toda la información de instrumentación geotécnica descrita e interpretada en los párrafos anteriores, y la geología de la zona, se procedió a la construcción de los perfiles de análisis que en total fueron tres, y nos permitirán conocer la estabilidad de la zona y la seguridad para la explotación de agregados.

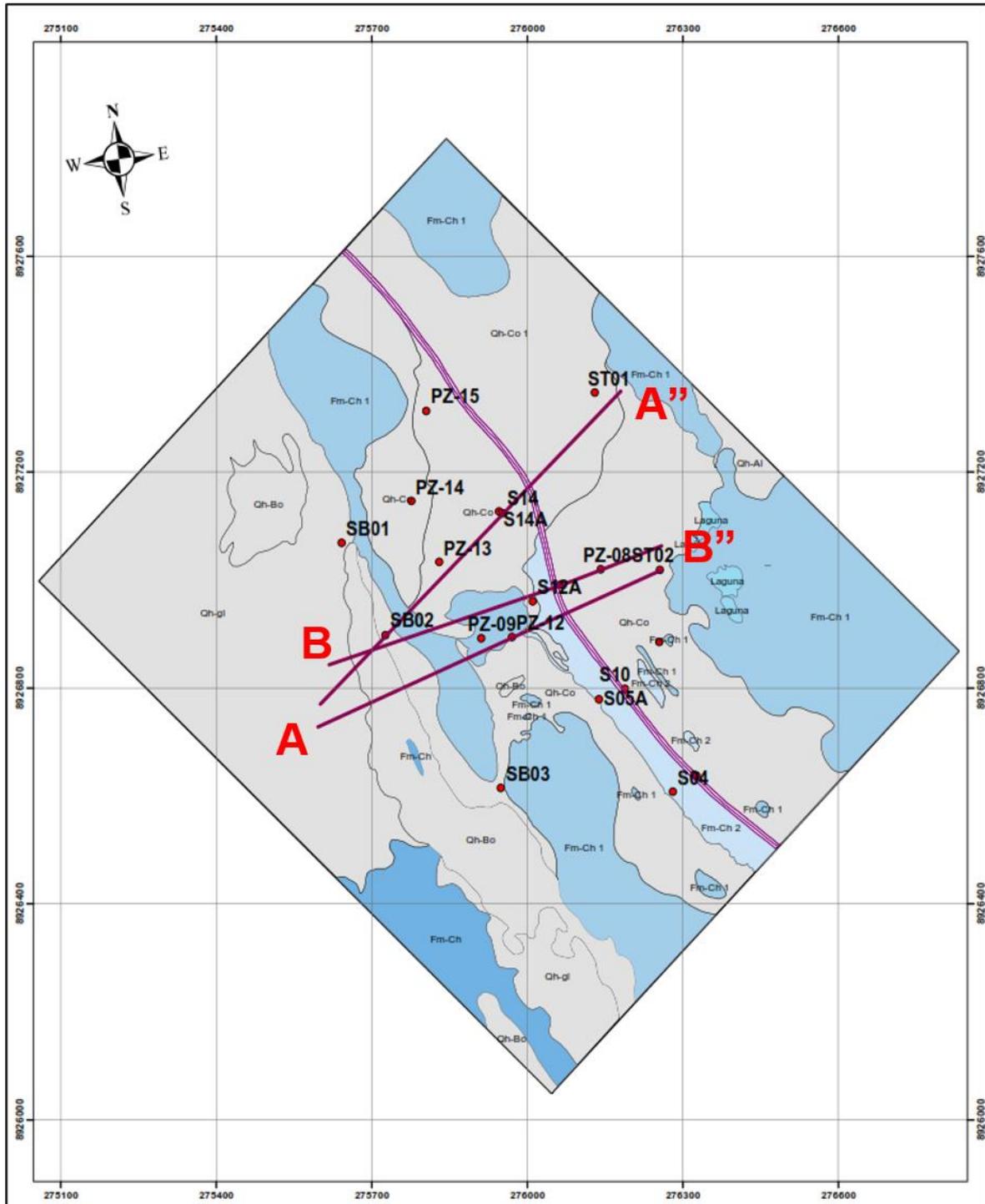


Ilustración 23. Perfiles de Análisis.

Se procedió a realizar el análisis de estabilidad de taludes considerando las siguientes propiedades de los materiales:

Tabla 4. Propiedad de los Materiales.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	mb	s	a	Water Surface	Hu Type	Hu	Ru
Qh-Gl		18.04	Mohr-Coulomb	72	25					None			0
Js-Ch		26	Generalized Hoek-Brown			81360	2.0046	0.00673795	0.504048	None			0
Js-Ch 1		25	Generalized Hoek-Brown			40000	0.961256	0.000240369	0.531267	Water Surface	Custom	1	
Js-Ch 2		21	Generalized Hoek-Brown			15000	0.0673795	8.57494e-06	0.522344	Water Surface	Custom	1	
Qh-Co		20	Mohr-Coulomb	35	35					Water Surface	Custom	1	
Js-Ch_1_		19	Mohr-Coulomb	20	33					None			0

Para las formaciones rocosas del Js-Ch, Js-Ch1, y Js-Ch2, se consideró el criterio de rotura de Hoek y Brown, que es importante porque describe el fallamiento de la masa rocosa. Asimismo, para la Js-Ch2, se consideró un GIS con un valor de 40, debido a que contiene horizontes de lutita y está fuertemente meteorizada.

Para los depósitos coluviales se consideró el criterio de rotura de Mohr Coulomb, debido a que es material suelto y su clasificación en SUCS principalmente es GP (grava mal graduada).

Los valores del ángulo de fricción, el UCS, la cohesión y peso específico, son valores que se obtuvieron de ensayos de laboratorio.

La superficie de movimiento se consideró no circular para el perfil de análisis B-B' debido a que en la zona principalmente es afloramiento rocoso, y el fallamiento aprovecha sus discontinuidades o las zonas de fallas geológicas preexistentes. Y para el perfil A-A' se consideró la superficie de rotura circular, ya que principalmente tenemos material coluvial en esa parte.

Se utilizó el método de equilibrio límite, en específico el método de Morgenstern e Price (1965), ya que el método de cálculo satisface todas las ecuaciones de equilibrio límite y se aplica a superficies de cualquier forma.

También se consideró un coeficiente horizontal sísmico, de un estudio realizado por Golder en el año 2015, se tomó el 50% de dicho valor, y para un periodo de retorno de 475 años.

Tabla 5. Valores de Coeficiente Horizontal Máximo para la Zona de Estudio.

<b>Análisis de Peligro Sísmico (Clase de sitio B, ASCE/SEI 7-16)</b>				
SITIO	Periodo de retorno (años)	<b>Aceleración Espectral</b>		
		PGA (g)	0,2 s (g)	1,0 s (g)
		Zona de estudio	475	0.3

*\*PGA: Aceleración máxima horizontal (en inglés, Peak Ground Acceleration)*

Se procedió a realizar las corridas en el software Slide:

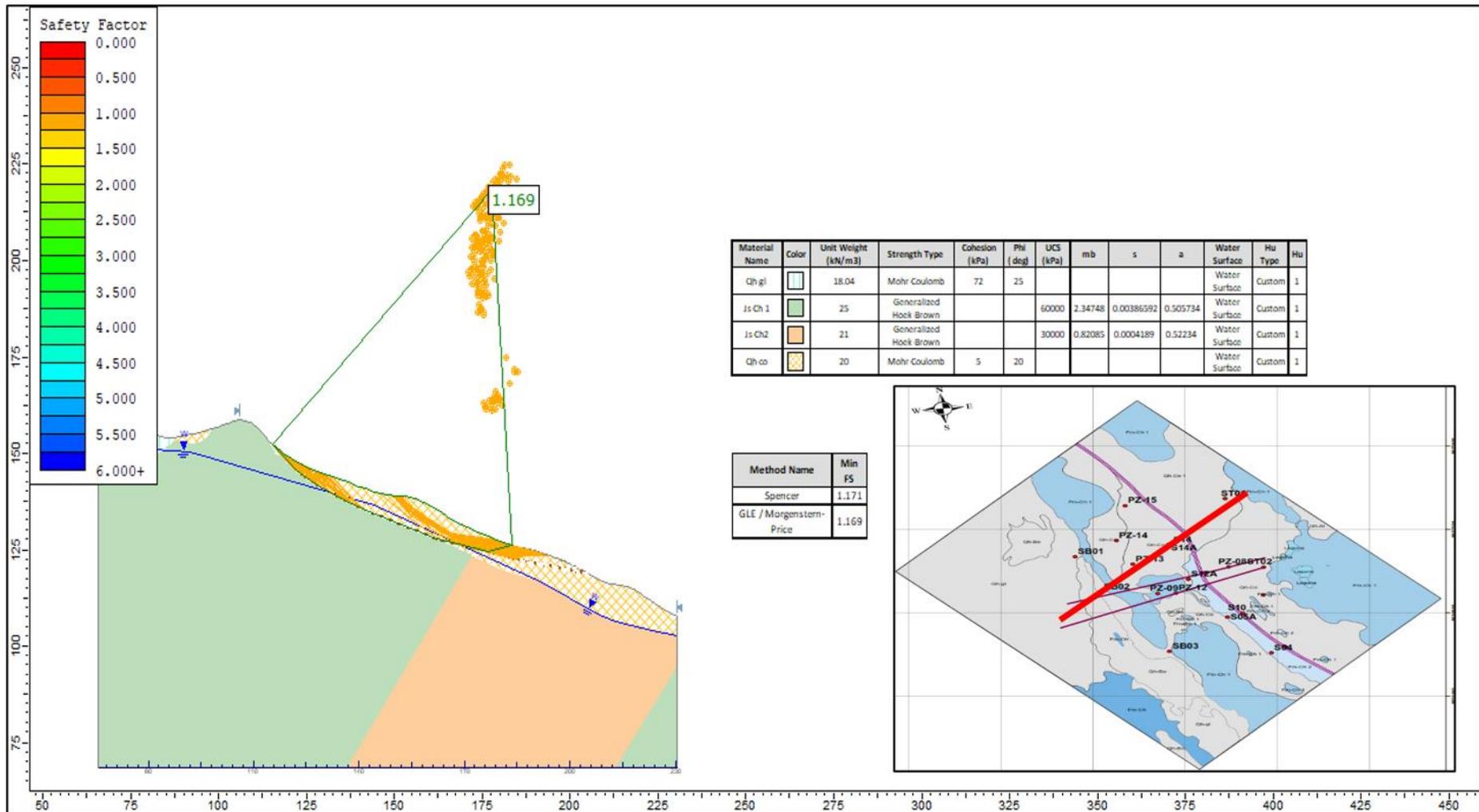


Ilustración 24. Cálculo del Fs del Perfil de Análisis A-A”.

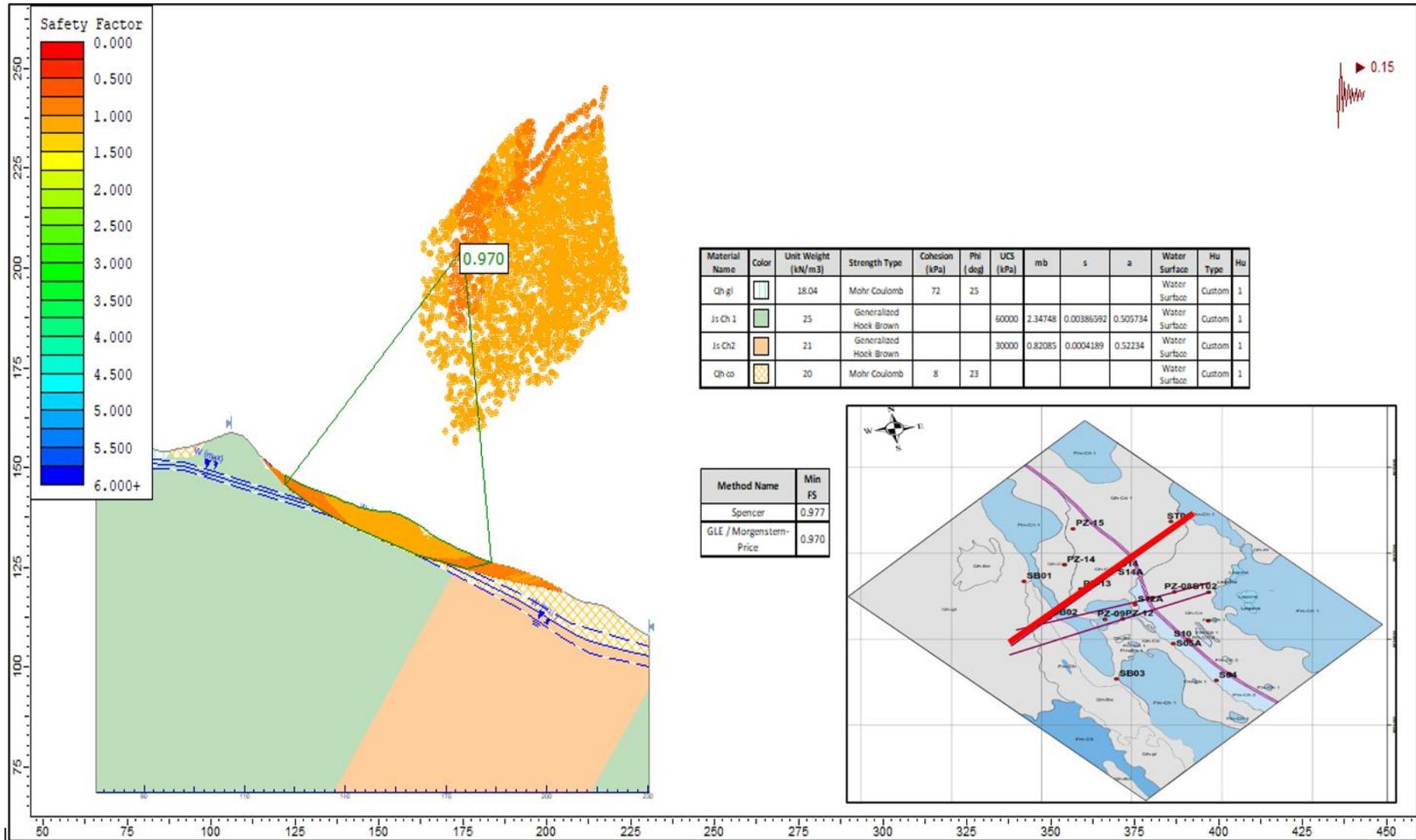


Ilustración 25. Cálculo del Fs del Perfil de Análisis A-A", Modelo Pseudoestático.

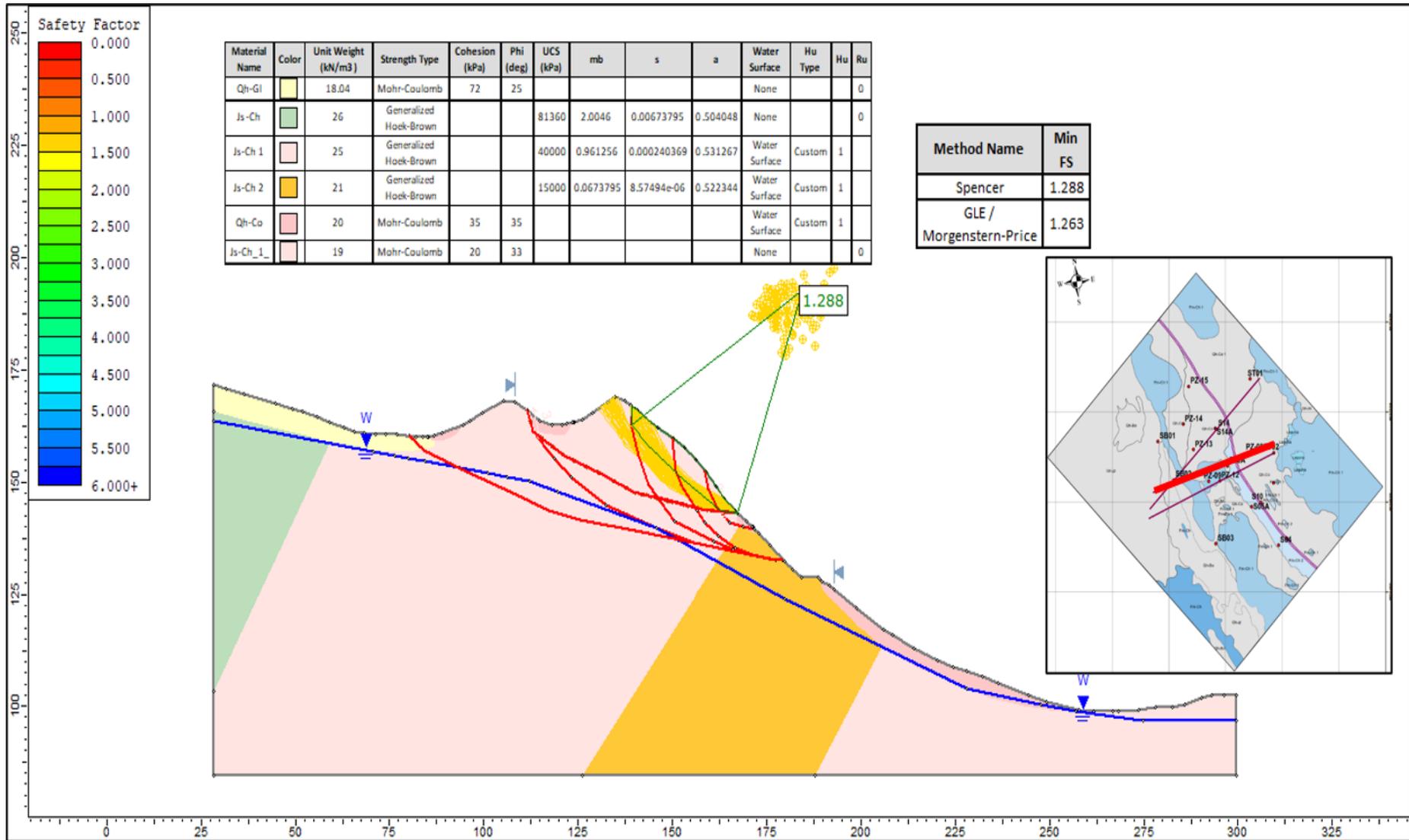


Ilustración 26. Cálculo del Fs de Perfil de Análisis B-B”.

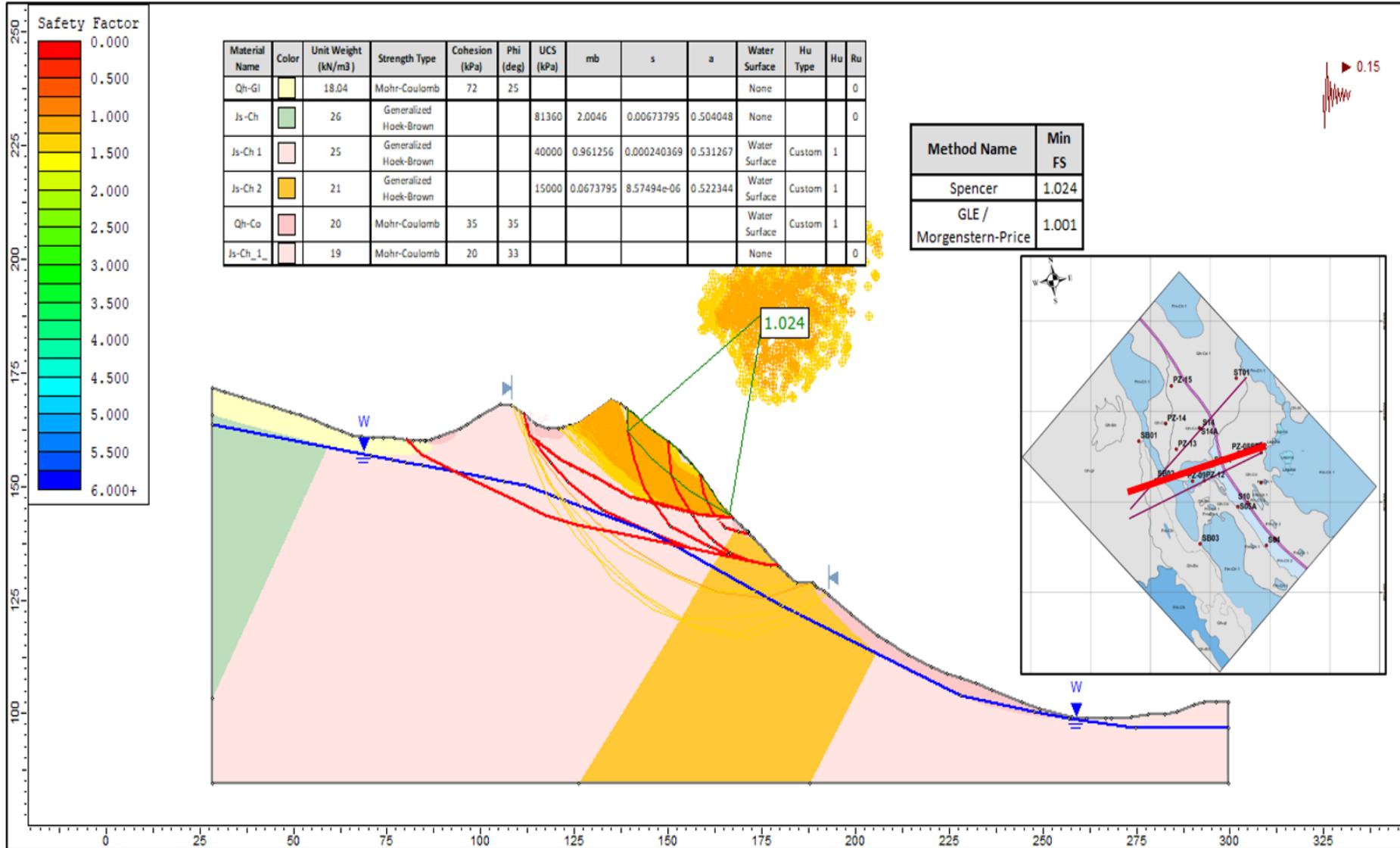


Ilustración 27. Cálculo del Fs del Perfil de Análisis A-A", Modelo Pseudoestático

Se obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 6. Resultados del Fs para Cada Escenario.*

PERFIL DE ANÁLISIS	FS SEGÚN GLE	FS CON COEFICIENTE DE SISMICIDAD
A-A'	1.16	0.97
B-B'	1.26	1.024

La zona del deslizamiento histórico presenta los menores factores de seguridad sobre todo utilizando el coeficiente horizontal de sismicidad, pero es importante mencionar que en esta parte se tiene poco material aprovechable para el recurso de agregados.

Por otra parte, en el perfil de análisis B-B' se tiene un FS de hasta 1.024 estando en el límite de una zona estable. Pero, al momento de realizar las excavaciones va a hacer importante realizarlo de una manera correcta para que no se desprendan los bloques de conglomerados que se tiene en la parte alta.

Por último, en la zona de deslizamiento histórico se ve influenciada el FS, debido a que por esa zona trascurren las aguas del bofedal de la parte alta. Como se muestra a continuación el nivel de agua, influencia al factor de seguridad en esa zona, por ello es importante construir un sistema de drenaje superficial para que no sobresature los poros del suelo.

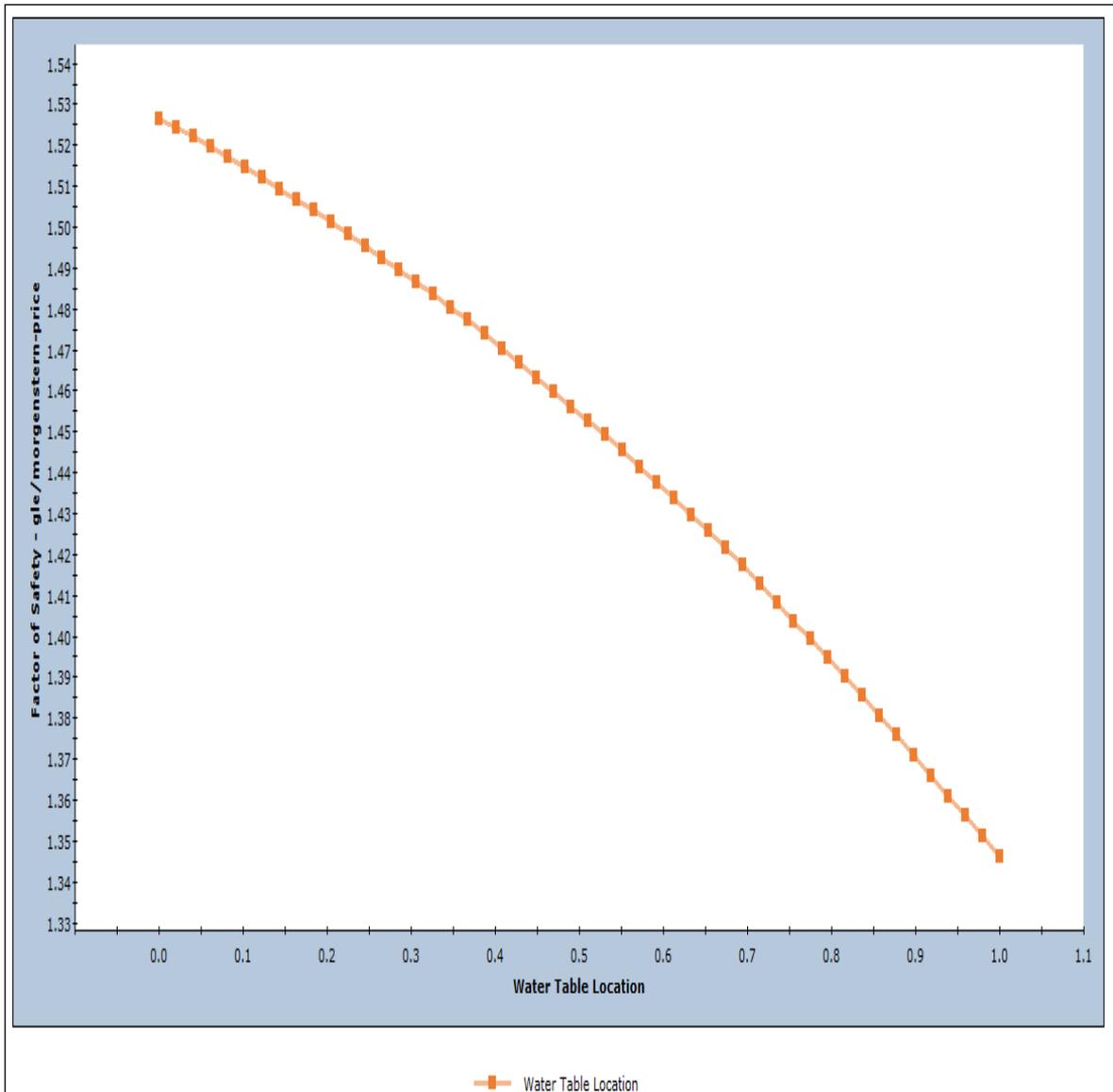


Ilustración 28. Análisis de Sensibilidad de Variación del Nivel de Agua para el Perfil A-A".

## CAPITULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### IV.1 Discusión.

Al realizar la investigación se corrobora la hipótesis de que se pudo controlar la estabilidad al realizar un análisis geotécnico.

Según el análisis de estabilidad de talud en la zona del macizo rocoso aprovechable para la explotación de agregados se tiene un  $F_s$  como mínimo de 1.024 considerando el modelo Pseudoestático. Por otra parte, en la zona del deslizamiento histórico este llega hasta 0.97, pero no es un problema para la explotación de agregados debido a que en esa parte no se tiene una gran cantidad de recursos, pero si es importante realizar un diseño de drenaje.

Se recomienda la explotación de los recursos ubicados en la parte alta conformado de conglomerados y areniscas, pero para su ejecución es importante realizarlo de manera gradual desde la parte baja y hacer desquinches de la parte alta para que no haya un deslizamiento que pueda afectar a la maquinaria pesada a utilizar. Asimismo, es importante hacer un diseño de drenaje en forma de espina de pescado para que las aguas provenientes del bofedal no sobresaturen los poros de la roca y no influya en la estabilidad del talud.

Carranza y Quispe (2015) menciona que, el uso del sistema PEM (plataformas y escaleras metálicas), reduce los costos notablemente en la ejecución de chimeneas, hemos demostrado con cifras reales, que esté sistema es de menor costo que el sistema convencional con madera reduciendo los costos hasta un 23% en pocos días de implementado.

## IV.2 Conclusiones.

Los piezómetros ubicados en el material coluvial de buen espesor (hasta 12m de suelo), mantiene en el tiempo su nivel piezómetro ya que, al ser una zona con una buena permeabilidad primaria, permite con mayor facilidad la percolación de aguas, de la misma manera sucedió con los pozos ubicados en los conglomerados, en cambio en algunos pozos ubicados en las areniscas se mantuvo su nivel piezométrico por su buena permeabilidad secundaria.

El análisis de los prismas nos permitió conocer la magnitud y dirección del movimiento, en complemento con la instrumentación piezométrica e inclinómetros, obtener los perfiles de análisis coherentes y de acorde a la realidad.

Los inclinómetros son instrumentos geotécnicos nos permitió reconocer las superficies de cizalla, y de esa manera poder conocer nuestras superficies de roturas tentativos previos al cálculo en el software Slide.

Según el análisis de estabilidad de talud en la zona del macizo rocoso aprovechable para la explotación de agregados se tiene un  $F_s$  como mínimo de 1.024 considerando el modelo Pseudoestático. Por otra parte, en la zona del deslizamiento histórico este llega hasta 0.97, pero no es un problema para la explotación de agregados debido ya que en esa parte no se tiene una gran cantidad de recursos, pero si es importante realizar un diseño de drenaje.

Se recomienda la explotación de los recursos ubicados en la parte alta conformado de conglomerados y areniscas, pero para su ejecución es importante realizarlo de manera gradual desde la parte baja y hacer desquiches de la parte alta para que no haya un deslizamiento que pueda afectar a la maquinaria pesada a utilizar.

Asimismo, es importante hacer un diseño de drenaje en forma de espina de pescado para que las aguas provenientes del bofedal no sobresaturen los poros de la roca y no influya en la estabilidad del talud.

Se recomienda realizar un diseño de drenaje en el deslizamiento histórico que cuente con cunetas, sistema de drenaje en forma de espina de pescado, y si es factible la construcción de drenes horizontales.

## REFERENCIAS

Bru, G., Gascón, B., Camacho, A., Prieto, J. F., Mallorquí, J. J., Morales, A., & Fernández, J. (2015). *Deslizamiento de Lenz Gatzaga: instrumentación geotécnica y monitorización del movimiento con técnicas terrestres y espaciales. Proyecto EOSLIDE*. Revista Digital del Cedex, (180), 55-55

Abramson L. W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G. M. (2002). “Slope stability and stabilization methods”. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp 712.

Coronado, O., Ibague, J. (2016). Instrumentación geotécnica como herramienta de control en obras de ingeniería. Paper presented at the ISRM 2nd International Specialized Conference on Soft Rocks, Cartagena, Colombia, October 2016.

Yañez, R., Vega, A. (2020). Evaluación de la Instrumentación Geotécnica en las Zonas Inestables De La Presa Tablachaca, Huancavelica – 2020

Rodríguez, A. (2003). La instrumentación y su relación con la caracterización geotécnica del terreno a controlar