

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONCILIACIÓN DE ANCHO EFECTIVO  
DE BANQUETAS EN LOS TALUDES FINALES DE LA PARED NORTE DEL  
TAJO QUECHER MAI**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Autor:**

Bach. Gutiérrez Tello, Deysi Jackeline

**Asesor:**

M. Cs. Ing. Gonzales Yana, Roberto Severino

**Cajamarca – Perú**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** Deysi Jackeline Gutiérrez Tello  
**DNI:** 71776807  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Geológica
- Asesor:** M. Cs. Ing. Roberto Gonzales Yana  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA CONCILIACIÓN DE ANCHO EFECTIVO DE BANQUETAS EN  
LOS TALUDES FINALES DE LA PARED NORTE DEL TAJO QUECHER MAI
- Fecha de evaluación:** 15/03/2024
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 15%
- Código Documento:** oid:3117:340003378
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 15/03/2024

 <hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b> <b>Roberto Gonzales Yana</b> <b>DNI: 29441681</b></p>	 <p>Firmado digitalmente por: FERNANDEZ LEON Yvonne Katherine FAU 20148258601 soft Motivo: Soy el autor del documento Fecha: 15/03/2024 21:46:11-0500</p> <hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>
--	--

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, Nelly, por ser mi motor y motivo.*

*A mi padre, Jesús, por su ejemplo de lucha y perseverancia.*

*A mis hermanos, Mary y Edward por su apoyo incondicional.*

*A mis tíos, por su ejemplo de progreso.*

*A mi sobrina, Ariana Belén, por llegar a iluminar nuestras vidas.*

*Deysi G.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por su omnipresencia en cada momento de mi vida.*

*A mi Alma Mater, Universidad Nacional de Cajamarca y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, por contribuir en mi formación profesional.*

*A MYSRL, por brindarme la oportunidad de realizar la presente investigación.*

*A todo el equipo del área de Geotécnica e Hidrogeología de MSYRL, por su valiosa mentoría.*

*A mi asesor, por brindarme la guía metodológica y asistencia en la presente investigación.*

*A todas aquellas personas que fueron, son y serán parte de mi vida, por su incondicional y fundamental apoyo.*

*Deysi G.*

## ÍNDICE GENERAL

Ítems	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE FOTOS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii

### CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN .....	1
--------------------	---

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1.1. INTERNACIONALES.....	3
2.1.2. NACIONALES .....	3
2.2. BASES TEÓRICAS .....	4
2.2.1. TALUD.....	4
2.2.2. DISEÑO DE TALUDES .....	7
2.2.3. MODELO GEOTÉCNICO .....	9
2.2.3.1. Modelo Geológico.....	10
2.2.3.2. Modelo Estructural.....	10
2.2.3.3. Modelo de Macizo Rocososo .....	10

Ítems	Pág.
2.2.3.4. Modelo hidrogeológico .....	13
2.2.4. DOMINIOS GEOTÉCNICOS .....	16
2.2.5. CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DE DISEÑO .....	17
2.2.6. CONCILIACIÓN GEOTÉCNICA.....	18
2.2.7. FOTOGRAMETRÍA .....	20
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	22

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
3.1.1. UBICACIÓN.....	24
3.1.2. ACCESIBILIDAD .....	25
3.1.3. CLIMA .....	26
3.1.4. METEOROLOGÍA .....	26
3.1.4.1. Precipitación .....	27
3.1.4.2. Temperatura .....	28
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	33
3.2.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	34
3.2.5. MUESTRA.....	34
3.2.6. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	34
3.2.7. FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
3.2.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	35

Ítems	Pág.
3.2.8.1. Técnicas de recolección de datos .....	35
3.2.8.2. Recursos .....	36
3.2.8.3. Equipos de recopilación de datos.....	36
3.2.8.4. Softwares de recopilación de datos.....	36
3.3. GEOLOGÍA REGIONAL .....	38
3.4. GEOLOGÍA LOCAL.....	38
3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	42
3.6. ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	42
3.6.1. ALTERACIÓN SILÍCEA.....	44
3.6.2. ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA.....	44
3.6.3. ALTERACIÓN ARGÍLICA.....	44
3.6.4. ALTERACIÓN PROPILÍTICA .....	44
3.7. DOMINIOS GEOTÉCNICOS.....	45
3.7.1. SÍLICE ALUNITA 1 (SA1).....	46
3.7.2. SÍLICE ALUNITA 2 (SA2).....	47
3.7.3. SÍLICE CLAY 1 (SC1) .....	47
3.7.4. SÍLICE CLAY 2 (SC2) .....	47
3.7.5. SÍLICE CLAY 3 (SC3) .....	47
3.7.6. SÍLICE GRANULAR 2 (SG2).....	48
3.7.7. SÍLICE GRANULAR 3 (SG2).....	48
3.7.8. SÍLICE MASIVA (SM).....	48
3.7.9. PROPILÍTICO (PRO).....	48

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1.	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS .....	51
4.1.1.	FOTOGRAMETRÍA DEL TAJO QUECHER MAIN .....	51
4.1.2.	PARÁMETROS DE DISEÑO GEOTÉCNICO.....	53
4.1.3.	CRITERIOS DE CUMPLIMIENTO.....	55
4.1.4.	CONCILIACIÓN DE ANCHO EFECTIVO DE BANQUETAS .....	56
4.1.4.1.	Nivel 3970.....	57
4.1.4.2.	Nivel 3980.....	58
4.1.4.3.	Nivel 3990.....	59
4.1.4.4.	Nivel 4000.....	60
4.1.4.5.	Nivel 4010.....	61
4.1.4.6.	Nivel 4020.....	62
4.1.4.7.	Nivel 4030.....	63
4.1.4.8.	Nivel 4040.....	64
4.1.4.9.	Nivel 4050.....	65
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	66
4.3.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	68

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES.....	69
5.2.	RECOMENDACIONES .....	70
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## **PLANOS**

- P-01: Ubicación del área de investigación
- P-02: Geológico
- P-03: Dominios Geotécnicos
- P-04: Modelo Digital de Elevaciones
- P-05: Diseño Final del Tajo Quecher Main
- P-06: Secciones de ancho efectivo conciliadas

## **REPORTES DE CONCILIACIÓN**

- Ancho de banquetta efectiva Nivel 3970
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 3980
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 3990
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4000
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4010
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4020
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4030
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4040
- Ancho de banquetta efectiva Nivel 4050

## LISTA DE FIGURAS

Ítems	Pág.
<b>Figura 1.</b> Ventajas potenciales de cambios en el ángulo global del talud en un tajo a cielo abierto. ....	5
<b>Figura 2.</b> Componentes geométricos de un talud minero. ....	6
<b>Figura 3.</b> Proceso de diseño de taludes. ....	8
<b>Figura 4.</b> Fases de minado de un tajo abierto. ....	9
<b>Figura 5.</b> Esquema de Clasificación de Macizo Rocoso. ....	11
<b>Figura 6.</b> Índice de Resistencia Geológica (GSI) ....	12
<b>Figura 7.</b> Modelo geotécnico y sus principales componentes. ....	14
<b>Figura 8.</b> Ejemplo de Modelo geológico, modelo estructural y modelo de macizo rocoso. ....	15
<b>Figura 9.</b> Dominios geotécnicos basados en tipos de rocas. ....	16
<b>Figura 10.</b> Geometría típica de una banqueteta. ....	17
<b>Figura 11.</b> Ciclo de trabajo de Diseño – Implementación – Verificación. ....	19
<b>Figura 12.</b> Representación vectorial de un MDE por medio de curvas de nivel. ....	21
<b>Figura 13.</b> Representación vectorial de un MDE por medio TIN. ....	21
<b>Figura 14.</b> Representación vectorial de un MDE en formato Ráster. ....	22
<b>Figura 15.</b> Accesibilidad al Tajo Quecher Main. ....	25
<b>Figura 16.</b> Ubicación de la Estación Meteorológica Maqui Maqui. ....	27
<b>Figura 17.</b> Precipitación total mensual máxima, mínima y promedio (mm) en la estación Maqui Maqui. ....	30
<b>Figura 18.</b> Temperatura media máxima, mínima y promedio mensual (°C) - Estación Maqui Maqui. ....	32
<b>Figura 19.</b> Dron Industrial Modelo M300 RTK. ....	36
<b>Figura 20.</b> Formato de Reporte de Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas. ....	37
<b>Figura 21.</b> Columna Estratigráfica de Quecher Main. ....	39
<b>Figura 22.</b> Modelo Geológico del Tajo Quecher Main. ....	40
<b>Figura 23.</b> Sección NE – SO del Tajo Quecher Main. ....	41
<b>Figura 24.</b> Dominios estructurales en el Tajo Quecher Main. ....	42
<b>Figura 25.</b> Modelo de Alteraciones Hidrotermales en el Tajo Quecher Main. ....	43

Ítems	Pág.
<b>Figura 26.</b> Relación de Unidades de Alteración Hidrotermal con Dominios Geotécnicos en el Tajo Quecher Main. ....	45
<b>Figura 27.</b> Modelo geotécnico del Tajo Quecher Main. ....	46
<b>Figura 28.</b> Dron Industrial Modelo M300 RTK. ....	51
<b>Figura 29.</b> Izquierda: Vista en Planta de la superficie de triangulación del Tajo Quecher Main. Derecha: Vista 3D de superficie de triangulación del Tajo Quecher Main. ....	52
<b>Figura 30.</b> Esquema de comparación entre un perfil de diseño y un perfil actual de un banco. ....	55
<b>Figura 31.</b> Análisis estadístico de porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetas. ....	56
<b>Figura 32.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3970. ....	57
<b>Figura 33.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3970. ....	57
<b>Figura 34.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3980. ....	58
<b>Figura 35.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3980. ....	58
<b>Figura 36.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3990. ....	59
<b>Figura 37.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3990. ....	59
<b>Figura 38.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4000. ....	60
<b>Figura 39.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4000. ....	60
<b>Figura 40.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4010. ....	61
<b>Figura 41.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4010. ....	61
<b>Figura 42.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4020. ....	62

Ítems	Pág.
<b>Figura 43.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4020. ....	62
<b>Figura 44.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4030.....	63
<b>Figura 45.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4030. ....	63
<b>Figura 46.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4040.....	64
<b>Figura 47.</b> Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4040. ....	64
<b>Figura 48.</b> Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4050.....	65
<b>Figura 49.</b> Gráficos de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4050. ....	65
<b>Figura 50.</b> Desempeño de bancos. Porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetas entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. ....	67

## LISTA DE FOTOS

Ítems	Pág.
<b>Foto 1.</b> Dominios Geotécnicos en el banco 4000 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. Se observa que el dominio geotécnico Sílice Alunita 1 (SA1) se presenta en bloques asociado al dominio geotécnico de menor resistencia de Sílice Alunita 2 (SA2), con núcleos de rocas con mayor cantidad de arcillas en tonos grises pertenecientes al dominio geotécnico Sílice Clay 2 (SC2). ....	49
<b>Foto 2.</b> Condiciones actuales de los Taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. Se observa la predominancia de dominios geotécnicos de baja resistencia: Sílice Alunita 2 (SA2), Sílice Clay 2 (SC2) y Sílice Clay 3 (SC3). En la parte central aflora un bloque remante de Sílice Alunita 1 (SA1) asociado a inyecciones de sílice a través de la falla NE. ....	50

## LISTA DE CUADROS

Ítems	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Coordenadas de delimitación - Zona de investigación.....	24
<b>Cuadro 2.</b> Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Meteorológica Maqui Maqui (1995 -2018).....	29
<b>Cuadro 3.</b> Estadísticas de datos de Precipitación total mensual (mm) en la Estación Meteorológica Maqui Maqui. ....	30
<b>Cuadro 4.</b> Temperatura media mensual (°C) - Estación Meteorológica Maqui Maqui (2003 -2018).....	31
<b>Cuadro 5.</b> Estadísticas de datos de Temperatura media mensual (°C) en la Estación Meteorológica Maqui Maqui. ....	32
<b>Cuadro 6.</b> Parámetros de diseño para cada dominio geotécnico en el Tajo Quecher Main.....	54
<b>Cuadro 7.</b> Resumen de porcentajes de cumplimiento en ancho efectivo de banquetas. ....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

ARG	: Argílico
BFA	: Ángulo de cara de banco (Bench Face Angle)
CBW	: Ancho de banquetta (Catch Bench Weight)
cm.	: Centímetro
DXF	: formato de intercambio de dibujos (Drawing Exchange Format)
E	: Este.
GMS	: Sistema de Gestión Geotécnica (Geotechnical Management System)
GSI	: Índice de Resistencia Geológica (Geological Strength Index)
Ha.	: Hectárea.
IRA	: Ángulo interrampa (Inter-Ramp Angle)
ISRM	: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (International Society for Rock Mechanics)
Km.	: Kilómetro
LA	: Andesita Inferior (Lower Andesite)
m.	: Metro
mm.	: Milímetro
msnm.	: Metros sobre el nivel del mar.
MDE	: Modelo Digitales de Elevaciones (Model Digital Elevation)
MYSRL	: Minera Yanacocha S.R.L.
M.a	: Millones de años
N	: Norte
O	: Oeste
Pág.	: Página
PRO	: Propilítico
RAE	: Real Academia Española
RMR	: Clasificación del Macizo Rocosos (Rock Mass Rating)
S	: Sur
SA	: Sílice Alunita
SC	: Sílice Clay
Script	: Fragmentos de código usados para dar forma a herramientas
SM	: Sílice Masiva
S/D	: Sin datos

TIN : Red Irregular de Triángulos (Triangulated Irregular Network)  
TEUT : Tufos de Cristales Eutaxíticos (Texture Eutaxitic Tuff)  
TOE : Pie de talud  
UCS : Resistencia a la compresión simple (Uniaxial Compressive Strength)  
ULT : Tufo Lítico Superior (Upper lithic tuff)  
UPHA : Andesita Superior (Upper Andesite)  
VAN : Vehículo Aéreo no Tripulado  
% : Porcentaje  
°C : Grados Celsius

## RESUMEN

En el distrito minero de Yanacocha, provincia y departamento de Cajamarca, se ubica el Tajo Quecher Main que contempla un plan de minado proyectado hasta el año 2025. En el sector norte del tajo se encuentran taludes que han llegado a su diseño final, por lo que fue necesario realizar la verificación del ancho efectivo de las banquetas y determinar si son lo suficientemente anchas para detener caídas de rocas potencialmente peligrosas y contener cualquier derrame de material desde los bancos superiores. El procedimiento de evaluación consistió en cuatro fases: La fase preliminar consistió en la recopilación de la información existente y el reconocimiento de campo; en la segunda fase, con el apoyo del área de topografía de la empresa, se realizó un vuelo fotogramétrico con Dron para obtener la topografía a detalle del sector a evaluar; en la fase de gabinete se realizó la digitalización de las polilíneas de crestas y toes actuales de las banquetas evaluadas, estas polilíneas fueron exportadas en formato .dxf para ser utilizadas en la etapa de cálculo de ancho efectivo de banquetas. En el software AutoCAD, se importaron las polilíneas digitalizadas de las crestas y toes actuales, así como las polilíneas de diseño; utilizando el Script de Cálculo se determinaron los anchos efectivos de banqueta para cada nivel de banco evaluado. Finalmente, en la fase de análisis e interpretación, los anchos efectivos de cada banqueta fueron ploteados en un gráfico de distribución de frecuencias acumulada y se determinó si estos se encuentran dentro de los criterios de cumplimiento aceptables. El criterio de cumplimiento para el ancho de banquetas en el Tajo Quecher se fundamenta en la teoría propuesta por Read y Stacey (2009) basado en el volumen de material fallado que se puede contener en el banco; en este caso, una banqueta se considera aceptable, siempre y cuando la banqueta efectiva tenga un ancho mayor al 80 % del diseño.

**Palabras clave:** Diseño de taludes, Conciliación geotécnica, Ancho efectivo de banqueta, fotogrametría, Tajo Quecher Main.

## ABSTRACT

In the mining district of Yanacocha, province and department of Cajamarca, the Quecher Main pit is located, which includes a mining plan projected until 2025. In the northern sector of the pit there are slopes that have reached their final design, so It was necessary to verify the effective width of the banks and determine if they are wide enough to stop potentially dangerous rock falls and contain any spillage of material from the upper banks. The evaluation procedure consisted of four phases: The preliminary phase consisted of the compilation of existing information and field reconnaissance; In the second phase, with the support of the company's topography area, a photogrammetric flight with a drone was carried out to obtain the detailed topography of the sector to be evaluated; In the cabinet phase, the digitization of the current ridge and toe polylines of the evaluated banquetts was carried out. These polylines were exported in .dxf format to be used in the banquet effective width calculation stage. In AutoCAD software, the digitized polylines of the current ridges and toes, as well as the design polylines, were imported; Using the Calculation Script, the effective banquet widths will be determined for each bench level evaluated. Finally, in the analysis and interpretation phase, the effective widths of each banquet were plotted on a cumulative frequency distribution graph and quantified whether these fell within acceptable compliance criteria. The compliance criterion for the width of banks in the Quecher Pit is based on the theory proposed by Read and Stacey (2009) based on the volume of failed material that can be contained in the bank; In this case, a sidewalk is considered acceptable, as long as the effective sidewalk has a width greater than 80% of the design.

Keywords: Slope design, Geotechnical conciliation, Catch Bench Weight, photogrammetry, Quecher Main Pit.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los parámetros de diseño geotécnico en un tajo son establecidos por el área especialista con el fin de mantener la estabilidad de las paredes de los bancos, esto involucra también diseñar anchos de banquetas que permitan retener la caída de rocas sueltas o deslizamientos de material que puedan traer como consecuencia lesiones a personas y/o equipos. En este sentido, la conciliación geotécnica permite realizar una evaluación sistemática del desempeño y/o cumplimiento de diseño de los bancos con el fin de evaluar en forma oportuna las potenciales desviaciones en los diseños de taludes.

El Tajo Quecher Main, ubicado en el distrito La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, contempla un plan de minado proyectado hasta el año 2025 y entre los niveles 3970 y 4050 del sector norte del tajo se encuentran taludes que han llegado a su diseño final, por lo que es necesario realizar la verificación del ancho efectivo de las banquetas y determinar si son lo suficientemente anchas para detener caídas de rocas potencialmente peligrosas y contener cualquier derrame de material desde los bancos superiores.

La presente investigación pretende determinar ¿cuáles son los resultados de la evaluación geotécnica para la conciliación de ancho efectivo de banqueta en los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main? Asumiendo que, al menos 90 % de los anchos efectivos de banquetas entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main tienen son mayores al ancho mínimo aceptable y teniendo en cuenta que, la conciliación geotécnica de taludes es, hoy en día, una necesidad imperiosa para determinar la coincidencia entre el diseño de taludes planificado y la topografía obtenida (as-built) por las operaciones mineras.

El objetivo principal es evaluar la conciliación geotécnica de los anchos efectivos de banquetas en los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main y; específicamente, describir los parámetros de diseño geotécnico, establecer los criterios de cumplimiento y determinar el porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de las banquetas de los taludes finales.

La investigación se ha estructurado en cinco capítulos, el capítulo II corresponde al marco teórico, donde se presentan los antecedentes internacionales y nacionales de la investigación, asimismo, las bases teóricas que servirán de apoyo en la investigación y finalmente la definición de términos básicos. En el capítulo III, materiales y métodos, se describe el contexto de la investigación, los procedimientos, la metodología, identificación de variables, técnicas e instrumentos y equipos para evaluar la conciliación geotécnica de los anchos efectivos de banquetas en los taludes finales de la pared norte del tajo Quecher Main. En el capítulo IV, análisis y discusión de resultados, se discutirán los antecedentes teóricos con los resultados de la investigación y se plantea la contrastación de hipótesis. Finalmente, el capítulo V presentan las conclusiones y recomendaciones que estarán de acuerdo con los objetivos inicialmente planteados. Asimismo, se detallan todas las Referencias Bibliográficas que han sido utilizadas en la presente investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

##### **2.1.1. INTERNACIONALES**

Hormazabal et al. (2019) en su estudio Diseño y Desempeño de Taludes en Roca a Escala de Banco – Berma presenta una Propuesta de metodología para diseñar taludes a escala de banco mediante aplicación de un análisis probabilístico que permite considerar múltiples bloques. Su propuesta integra la teoría de bloques y el análisis probabilísticos, además de recomendaciones para la calibración y verificación en terreno del desempeño de los taludes en minas operativas.

Gibson et al. (2020) analiza los efectos de diferentes configuraciones de taludes en el desempeño de los taludes en lo que se refiere a la estabilidad de las cuñas, el volumen de roca contenido de manera segura en las bermas y el desprendimiento de rocas en su estudio sobre Consideraciones en la optimización del banco geometrías de ángulo y ancho de berma para minas a tajo abierto.

Owusu-Bempah (2020) presenta el estudio denominado Racionalización de la reconciliación de pendientes geotécnicas para tajos abiertos, una optimización de pendientes y un enfoque de recomendación en las operaciones Brockman 2 en la región de Pilbara en Australia, concluyendo que la implementación de la reconciliación geotécnica de taludes en el tajo abierto es un valor agregado mientras se alinea con los requisitos regulatorios de alguna jurisdicción sobre ingeniería geotécnica.

##### **2.1.2. NACIONALES**

Soncco (2020) mediante su informe de servicios profesionales presentó la Conciliación geotécnica de taludes en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. y los resultados permiten evaluar y proponer alternativas de optimización del ángulo

interampa, ángulo de cara de banco, ancho de banco, limpieza de bancos y, además, proporciona confiabilidad para evaluación de la geometría final de bancos logrados en los taludes de cada fase, durante el desarrollo de la vida de la mina.

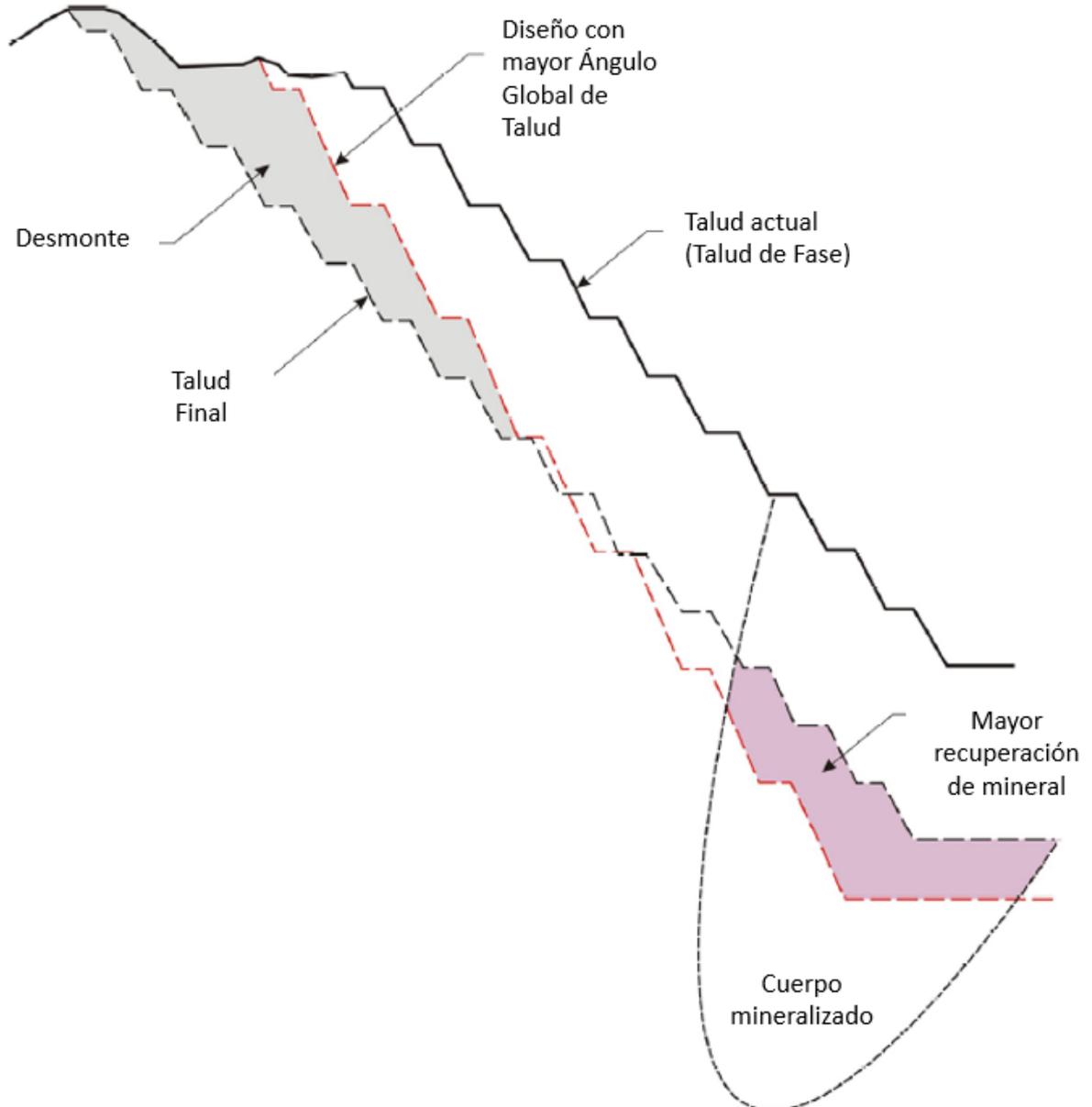
Sánchez (2021) presentó una Metodología para el cálculo de parámetros geométricos de diseño en el control de la estabilidad de taludes aplicando programación Visual Lisp y Visual Basic y logró realizar el cálculo del BFA, CBW e IRA mediante la aplicación de la nueva metodología utilizando lenguajes de programación, con lo cual se puede evaluar el grado final de los taludes y la aceptabilidad o confiabilidad del cumplimiento de los parámetros geométricos de diseño.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. TALUD**

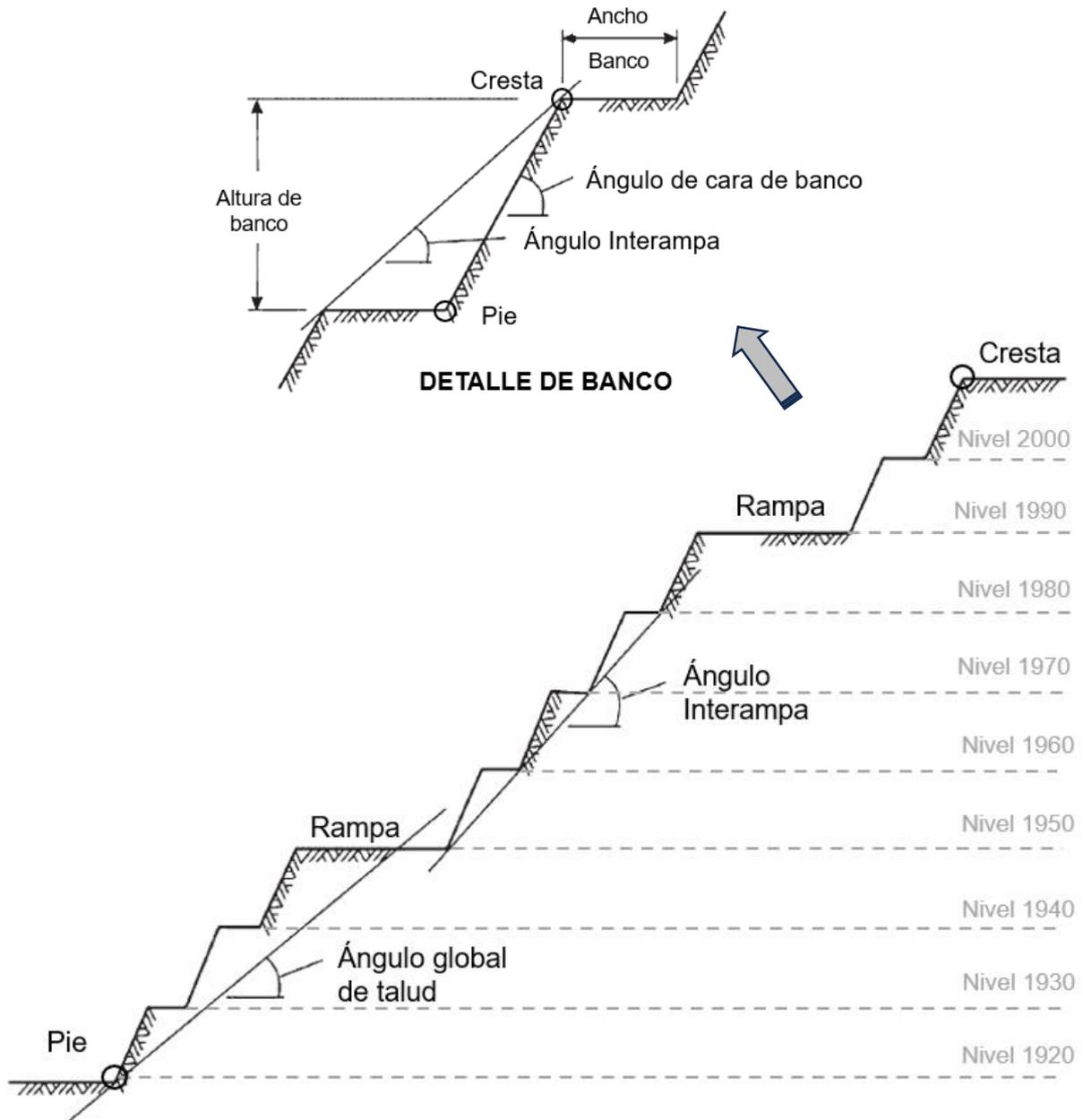
Suarez (1998) considera como talud al terreno que posee un grado de pendiente significativo y que ha sido formado con la intervención de la mano del hombre. En un tajo abierto, el talud es aquella superficie que resulta a medida que se profundiza el minado de bancos (Hustrulid et al. 2013).

Los componentes geométricos de un talud en minas a tajo abierto son fundamentales para que el diseño del tajo obtenga el resultado económico deseado. Como se puede observar en la Figura 1, el ángulo global del talud afecta tanto en la cantidad de mineral recuperado como la cantidad de desmonte excavado. Por tanto, influye en gran medida la rentabilidad de la minería.



**Figura 1.** Ventajas potenciales de cambios en el ángulo global del talud en un tajo a cielo abierto.

**Fuente:** Read y Stacey, 2009.



**Figura 2.** Componentes geométricos de un talud minero.

**Fuente:** Read y Stacey, 2009.

Tal como puede ser observado en la Figura 2, los principales componentes geométricos de un talud minero son:

- **Altura de talud global.** Corresponde a la altura proyectada en el eje vertical entre el toe del banco más profundo del tajo y la cresta del banco superior.
- **Ancho de rampa.** Corresponde al ancho del segmento por donde circularán los equipos de transporte.

- **Ángulo interrampa.** Es el ángulo entre el toe del talud por donde pasa un segmento de rampa y el toe del banco inmediatamente superior.
- **Ángulo global de talud.** Es el ángulo medido entre el toe del banco más profundo del tajo y la cresta del banco superior.
- **Ángulo de cara de banco.** Corresponde al ángulo que es formado entre el plano horizontal y la pared del banco.
- **Altura de banco.** Es la altura que típicamente debe adaptarse a las características del equipo de carguío que operará en la mina.
- **Ancho de banco o banqueteta.** El área horizontal entre las caras de los bancos utilizada para la captación de desprendimientos de rocas.

Langford et al. (2014) precisan que el banco es la unidad fundamental de un talud minero y juega un papel crítico en una mina a cielo abierto, ya que limita que los desprendimientos de rocas desde los niveles superiores de la pendiente del tajo lleguen a las áreas operativas en los niveles inferiores. Para que el banco sea funcional, el ancho útil o efectivo debe ser suficiente para recoger los derrames de los bancos superiores.

### 2.2.2. DISEÑO DE TALUDES

El diseño de taludes de un tajo es fundamental en la planificación de una mina a tajo abierto y cuyo objetivo es determinar un diseño que maximice los beneficios económicos de la mina. (CANMET, 1976). Para Hustrulid et al. (2013), el diseño de taludes de una mina es un proceso continuo ya que, en las primeras etapas de desarrollo, el diseño de la mina puede cambiar con frecuencia debido a la perforación de exploración del yacimiento; mientras que, en operaciones avanzadas, los diseños de taludes cambian a medida que se comprende mejor la naturaleza de las limitaciones geotécnicas de las paredes del tajo. Asimismo, se debe tener en consideración que el diseño de taludes está influenciado por el plan de minado seleccionado.

Read y Stacey (2009) señalan que el diseño de taludes en un tajo a cielo abierto es un proceso iterativo y, a menudo, altamente empírico que se implementa de acuerdo con criterios establecidos. Este proceso debe documentarse, evaluarse y finalmente modificarse de acuerdo con el desempeño observado. La Figura 3, muestra el

proceso de diseño de taludes propuesto por estos autores, el cual es aplicable a todos los tajos abiertos con modificaciones a los requisitos geológicos y mineros correspondientes a cada yacimiento.

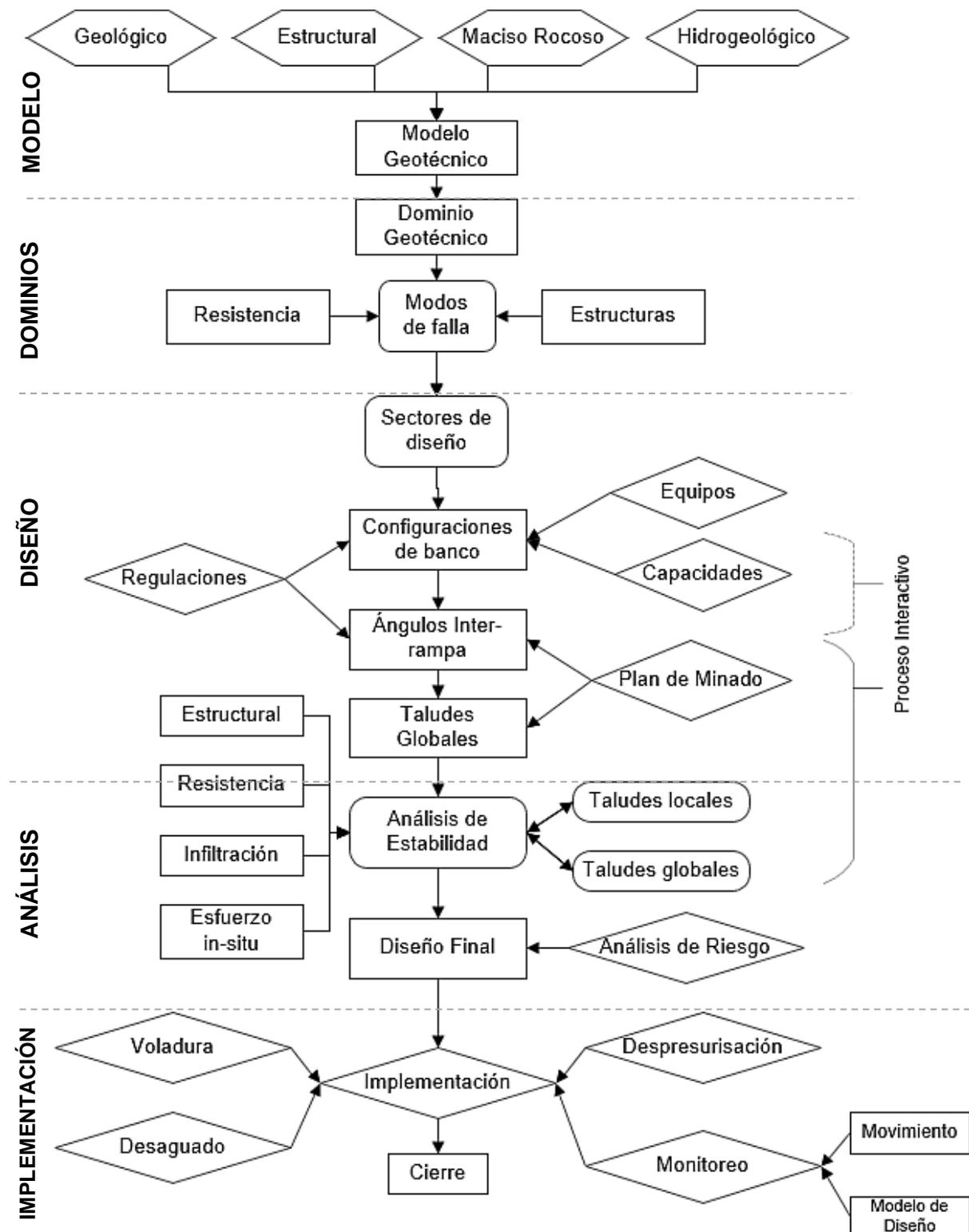
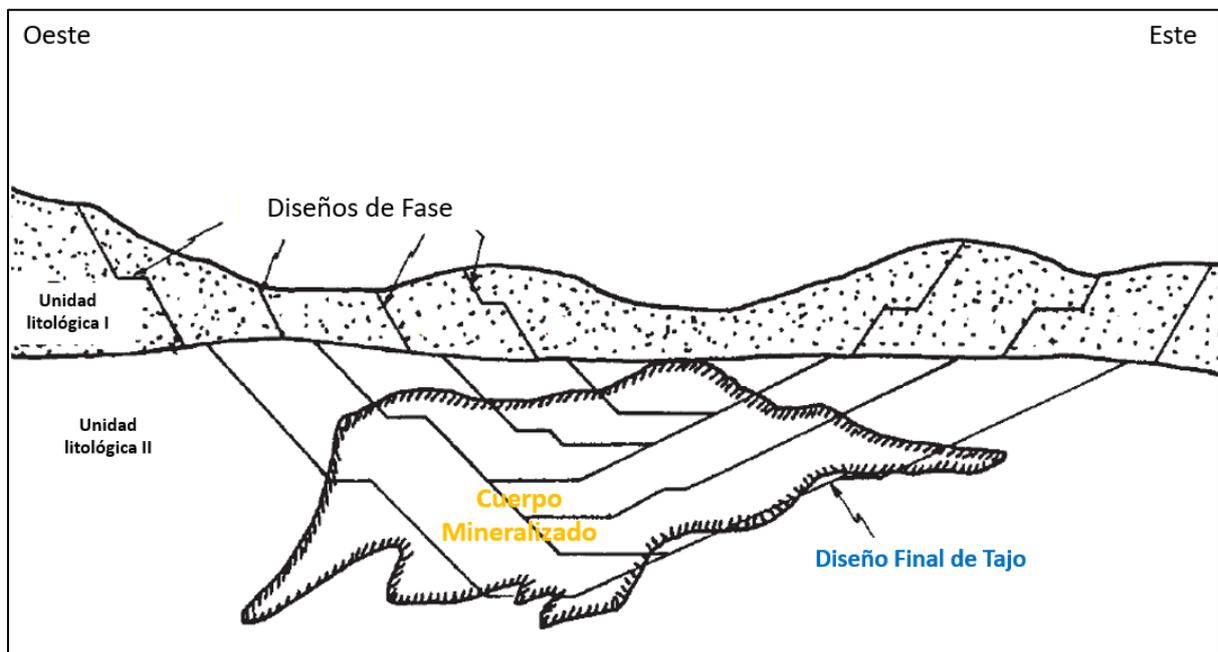


Figura 3. Proceso de diseño de taludes

Fuente: Read y Stacey, 2009.

Tradicionalmente, el proceso de planificación de la producción de minas a tajo abierto se ha realizado utilizando la metodología propuesta por Lerchs y Grossmann, citado Hustrulid et al. (2013), en la que se obtiene una serie de tajos anidados y consecutivos desde los cuales el planificador define fases de explotación basado en su experiencia y en una serie de criterios económicos y operacionales.

Los taludes que son conformados en diferentes fases o etapas de minado generalmente son llamados taludes o paredes de fase; mientras que, los taludes que conforman el diseño final del tajo son conocidos como taludes o paredes finales.



**Figura 4.** Fases de minado de un tajo abierto.

**Fuente:** Hustrulid et al., 2013.

### 2.2.3. MODELO GEOTÉCNICO

Read y Stacey (2009) definen al modelo geotécnico como la base fundamental para todos los diseños de taludes y el cual se compila a partir de cuatro componentes: Modelo Geológico, Modelo Estructural, Modelo del Macizo Rocosos y Modelo Hidrogeológico. Asimismo, los autores plantean que el modelo geotécnico puede usarse para la predicción de la calidad de la roca, la optimización de la producción, la evaluación y el diseño de taludes, así como para la planificación y el cálculo de costos.

Por lo que, es importante que el modelo geotécnico sea validado a través de programas de mapeo y perforación a medida que avanza el minado, ya que, si se dispone de mayor cantidad de datos, los modelos se vuelven más confiables.

### **2.2.3.1. Modelo Geológico**

El objetivo del modelo geológico es vincular la geología regional y los eventos que conducen a la formación del yacimiento con una descripción del entorno, la distribución y naturaleza de los suelos y los tipos de rocas en el sitio, incluyendo los efectos de la alteración y la meteorización. La preparación de un modelo geológico preciso y bien comprendido es fundamental para el proceso de diseño de taludes. (Read y Stacey, 2009)

### **2.2.3.2. Modelo Estructural**

Debemos tener en cuenta que las inestabilidades de taludes en minas de tajo abierto presentan un importante desafío de diseño en ingeniería geotécnica. Las inestabilidades pueden estar controladas mediante estructuras importantes (fallas o contactos litológicos), que tienen longitudes suficientes para afectar la estabilidad general del tajo abierto, o mediante estructuras menores como diaclasas, foliaciones o planos de estratificación.

Las fallas a pequeña escala tienen una influencia directa en la selección de un ángulo y ancho de banco apropiados y, por lo tanto, deben considerarse al diseñar un tajo abierto. (Langford et al. 2014).

Generalmente para desarrollar un modelo estructural se debe diferenciar las estructuras que controlan los materiales. Esta diferenciación se relaciona en gran medida con la continuidad de las características y el impacto resultante con respecto a los elementos de diseño de taludes.

### **2.2.3.3. Modelo de Macizo Rocoso**

Los esquemas de clasificación del macizo rocoso se basan en clasificaciones subjetivas de atributos específicos del macizo rocoso con el fin de crear zonas o unidades geotécnicas. Estas clasificaciones son conocidas como clasificaciones geomecánicas, los cuáles, básicamente son sistemas de valoración del

comportamiento de macizo rocoso. Hoy en día, los esquemas de clasificación más utilizados son:

- Esquema de Clasificación de Macizo Rocosos (RMR, del inglés Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski en 1973 y con su última actualización en el año 1989.
- Índice de Resistencia Geológica (GSI, del inglés Geological Strength Index) propuesto por Hoek y Brown en el año 1995 y su actualización en el año 2002.

PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN									
1	Resistencia de la Matriz Rocosa	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple (MPa)	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		100-90%	90-75%	75-50%	50-25%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2m	2-0.6m.	0.6-0.2m.	0.2-0.06m.	< 0.06m.		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Persistencia	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Cerrada	<0.1mm	0.1-1mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno suave <5mm	Relleno suave >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta				
	Puntuación	6	5	3	1	0			
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES EN EL TÚNEL									
Dirección Perpendicular al eje del túnel									
Excavación a favor del Buzamiento			Excavación en contra del buzamiento		Dirección Paralela al eje del túnel		Cualquier Dirección Buzamiento 0°- 20°		
Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°	Buz. 45°-90°	Buz. 20°-45°				
Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable			
CORRECCIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES									
Dirección y Buzamiento		Muy Favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy Desfavorable			
Puntuación	Túnel	0	-2	-5	-10	-12			
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25			
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60			
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN EL RMR									
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<20				
Clase	I	II	III	IV	V				
Calidad	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala				
Cohesión	> 4 Kp/cm <sup>2</sup>	3 - 4 Kp/cm <sup>2</sup>	2 - 3 Kp/cm <sup>2</sup>	1 - 2 Kp/cm <sup>2</sup>	< 1 Kp/cm <sup>2</sup>				
Ángulo de rozamiento	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°				
Tiempo de Autosostener y longitud sin sostener	10 años 15m.	6 meses 8m.	1 semana 5m.	10 horas 2.5m.	30 minutos 1m.				

Figura 5. Esquema de Clasificación de Macizo Rocosos

Fuente: Bieniawski, citado por Read y Stacey, 2009.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICO GSI (Hoek & Marinos, 2000). A partir de la litología, Estructura y la condición de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio de GSI. No intente ser muy preciso. Escoger un rango de 33 a37 es más realista que fijar GSI=35. También notar que esta tabla no se aplica a mecanismos de falla controlado por estructuras. Donde se presenta planos estructuralmente débiles en una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. La resistencia al corte de las superficies en rocas que son propensas a deteriorarse como resultado de cambios en la humedad, se reducirá cuando exista presencia de agua. Cuando se trabaje con rocas de categoría regular muy mala, pueden moverse hacia la derecha para condiciones húmedas. La presión de poros se maneja con un análisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES SUPERFICIALES				
ESTRUCTURA		DISMINUYE LA CALIDA DE SUPERFICIE →				
		MUY BUENA Muy rugoso, Superficies frescas sin meteorización	BUENO Rugoso, ligeramente meteorizada, superficies con óxido.	REGULAR Lizas, moderadamente meteorizada y superficies allteradas.	MALA Espejo de falla, altamente meteorizadas con recubrimiento compacto o rellenos o fragmentos.	MUY MALA Espejo de falla, superficies altamente meteorizadas con recubrimiento de arcilla suave o rellenos.
	Intacta o Masivo: Especímenes de roca intacta o masivo en roca in situ con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	90			N/A	N/A
	Levemente fracturado: Macizo rocoso no disturbado, muy bien entrelazado, constituido por bloques cúbicos formados por tres familias de discontinuidades.	80	70			
	Moderadamente fracturado: Entrelazado, macizo rocoso parcialmente disturbado con bloques angulosos de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.		60	50		
	Muy fracturada/Disturbada/Agrietada: Foliada con bloques angulosos formados por la intersección de muchas familias de discontinuidades. Persistencia de planos de estratificación o esquistosidad .			40	30	
	Desintegrado: Pobremente entrelazado, macizo altamente fracturado compuesto de una mezcla de pedazos de rocas angulosas y redondas.				20	
	Foliado/Laminado/Cizallado: Falta de formación de bloques debido al pequeño espaciamiento o esquistosidad débil o planos de corte.	N/A	N/A			10
DISMINUYE EL ENTRELAZADO DE PEDAZOS DE ROCA ↓						

**Figura 6.** Índice de Resistencia Geológica (GSI)

**Fuente:** Hoek y Brown, citado por Read y Stacey, 2009.

Las diferentes clasificaciones toman en cuenta un parámetro fundamental, la resistencia a la compresión uniaxial o simple de la roca. La resistencia máxima a la compresión puede calcularse con el ensayo de compresión simple de una muestra cilíndrica de testigo, la cual es sometida a una carga axial sin ninguna carga de

confinamiento de manera continua e incrementada gradualmente hasta que la muestra falle. El esfuerzo normal vertical sobre el espécimen, cuando la falla ocurre, es conocido como la resistencia a la compresión simple o resistencia a la compresión no confinada.

Los ensayos de carga puntual y el ensayo con el martillo Schmidt también permiten estimar la resistencia de compresión simple. El Cuadro 1 muestra la Clasificación de Resistencia de las Rocas en base a la Compresión Uniaxial según la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM, del inglés International Society for Rock Mechanics) en el año 1981.

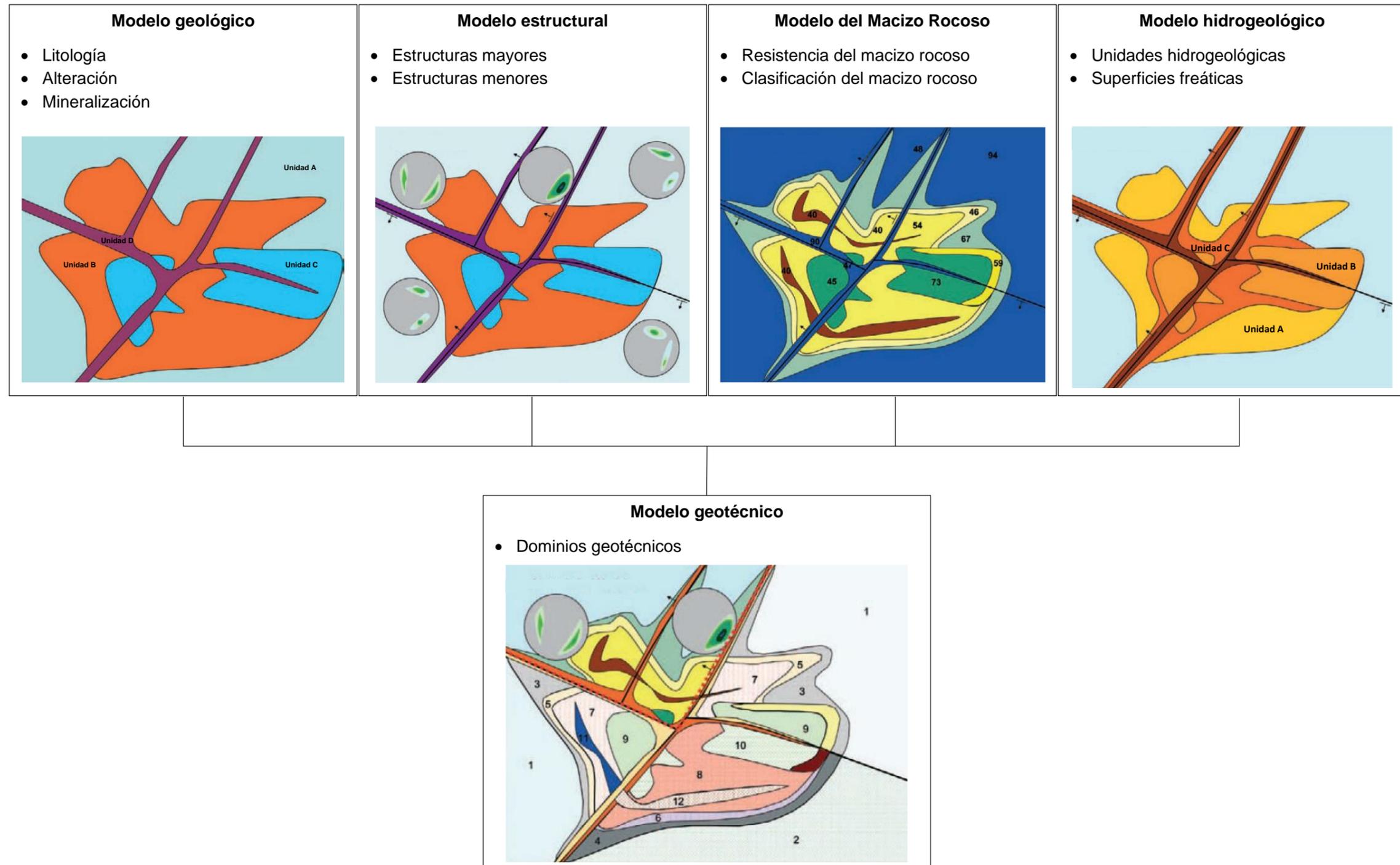
**Cuadro 1.** Clasificación de Resistencia de las Rocas en base a la Compresión Uniaxial (UCS).

<b>Clase</b>	<b>Descripción</b>	<b>Identificación en campo</b>	<b>Resistencia a la compresión simple (MPa)</b>
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 - 1
R1	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1 – 5
R2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5 – 25
R3	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R5	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

**Fuente:** ISRM, citado por Read y Stacey, 2009.

#### **2.2.3.4. Modelo hidrogeológico**

Tanto los aspectos de presión del agua subterránea como los flujos de agua superficial pueden tener efectos negativos significativos sobre la estabilidad de un talud. Por lo tanto, la identificación y caracterización del régimen hidrogeológico en las primeras etapas de cualquier proyecto son de suma importancia.



**Figura 7.** Modelo geotécnico y sus principales componentes.  
**Fuente:** Read y Stacey, 2009.



#### 2.2.4. DOMINIOS GEOTÉCNICOS

Los datos geológicos, estructurales, geotécnicos e hidrogeológicos se utilizan para distinguir y definir los diferentes dominios geotécnicos en el tajo. Cada dominio tiene características específicas que deben ser consideradas en el diseño y definirán las geometrías de los taludes. (Hustrulid et al. 2013).

Read y Stacey (2009) definen a los dominios geotécnicos como unidades tridimensionales de material con propiedades geotécnicas similares cuya base es el modelo geotécnico.

Los dominios geotécnicos pueden relacionarse no sólo con la litología sino también con el grado y tipo de alteración, que puede cambiar significativamente las propiedades del material, ya sea positivamente, como los procesos de silicificación, o negativamente como los procesos de argilización.

Por ejemplo, la Figura 9 muestra la pared de un tajo con unidades de diferentes resistencias (las dos unidades superiores); como cada unidad representa un dominio geotécnico, cada una requiere diferentes configuraciones de diseño de taludes.

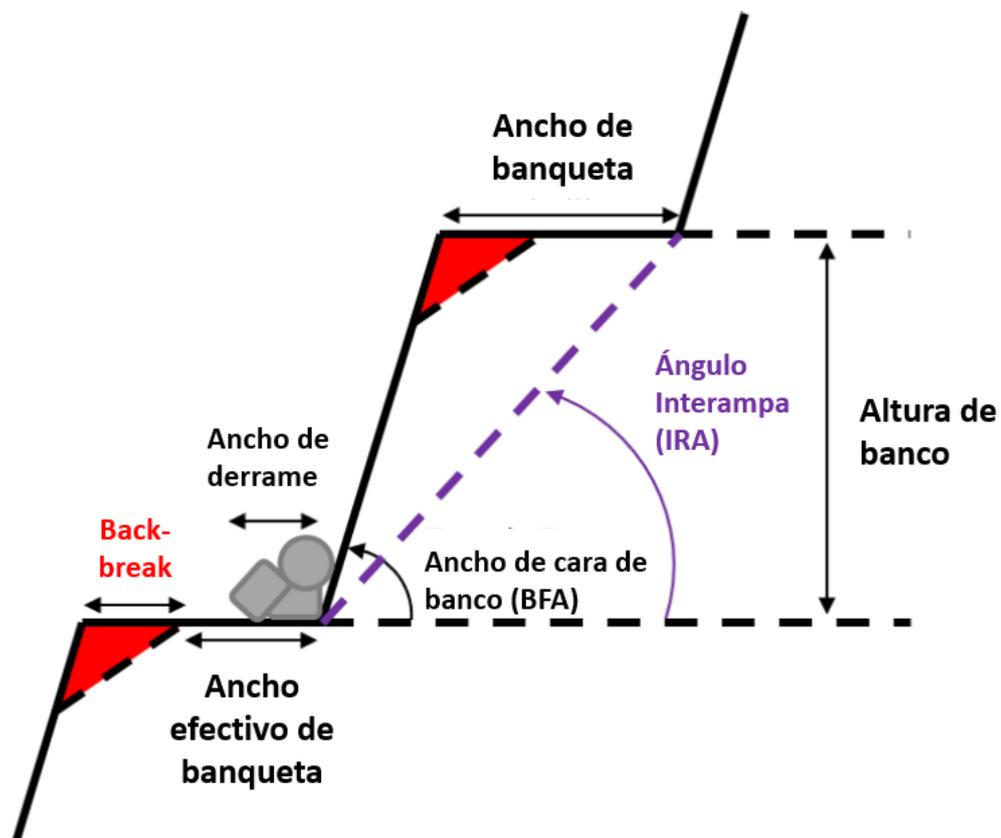


**Figura 9.** Dominios geotécnicos basados en tipos de rocas.

**Fuente:** Read y Stacey, 2009.

## 2.2.5. CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DE DISEÑO

Los criterios de aceptabilidad permiten definir el nivel de desempeño requerido de un diseño de talud frente a una inestabilidad y/o falla. En el diseño de bancos, el ancho efectivo se define como el ancho total del banco menos el ancho del banco perdido durante el minado. La cantidad perdida también se conoce como descreste o *back-break* y generalmente es causada por una falla plana o en cuña a lo largo de la cresta (Langford et al., 2014).



**Figura 10.** Geometría típica de una banqueta.

**Fuente:** Langford et al., 2014.

Read y Stacey (2009) establecieron un criterio de aceptabilidad basado en el ancho de derrame y la capacidad de contención de la banqueta. Los autores plantean que para que sea efectivo, el ancho utilizable del banco debe ser mayor que el ancho del derrame. Por lo que, es necesario cumplir al menos con el 80% del ancho de banqueta diseñada para evitar que el material que cae de la parte superior como resultado de una inestabilidad controlada estructuralmente (fallas planares o cuñas) o por la caída de material inestable producto de procesos post-voladura pueda sobrepasar la

banqueta de contención y continuar su recorrido descendente hacia bancos inferiores transformándose en un problema de seguridad para personal y equipos dentro del tajo.

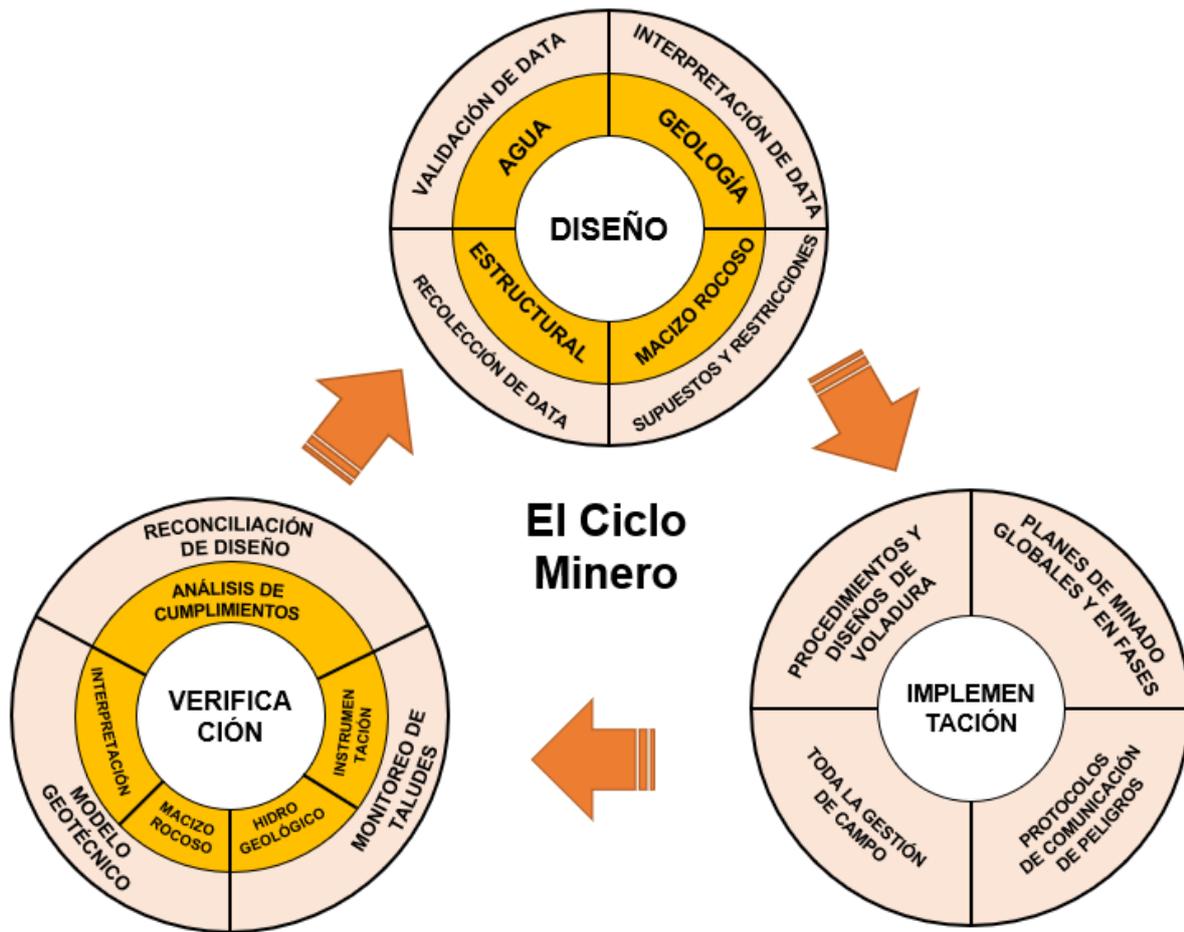
Este criterio es reforzado por Hormazabal et al. (2019) en su estudio de Diseño y Desempeño de Taludes de Roca a Escala de Banco – Berma, en el que utiliza el análisis de distribución acumulada para determinar los anchos efectivos de bermas efectivas que permitan contener los derrames de los bancos superiores.

#### **2.2.6. CONCILIACIÓN GEOTÉCNICA**

De Graaf y Wessels (2016) definen al proceso de conciliación geotécnica como el último paso del Sistema de Gestión Geotécnica (GMS, del inglés Geotechnical Management System) y está diseñado para cerrar el ciclo de trabajo de diseño – implementación y verificación en minería, proporcionando retroalimentación al proceso de diseño.

Este proceso de conciliación tiene como objetivo comparar todos los principales parámetros de entrada utilizados en los estudios de diseño de taludes con las condiciones actuales. Se resaltan las diferencias significativas entre los parámetros de diseño observados y aceptados, que pueden presentar un riesgo o una oportunidad. La conciliación negativa desencadena estudios de corrección del diseño, mientras que la reconciliación positiva presenta una oportunidad para optimizar el diseño.

Read y Stacey (2009) señalan que la comparación entre los anchos de bancos diseñados y los anchos de banqueta construidos es una oportunidad para evaluar objetivamente el desempeño de la pendiente del talud global. Asimismo, sugieren mantener una base de datos de informes de inspección para cada banco en cada sector de diseño. La documentación o registro debe abordar cada uno de los componentes de escala clave del diseño: bancos, pendientes entre rampas y pendientes generales. Esta información debe revisarse periódicamente y los criterios de diseño y el plan de minado deben actualizarse a medida que se desarrolla la mina. La frecuencia de las revisiones de diseño dependerá de la complejidad del macizo rocoso.



**Figura 11.** Ciclo de trabajo de Diseño – Implementación – Verificación.

**Fuente:** Hutchinson y Dieberichs, citado por De Graaf y Wessels, 2016.

Las evaluaciones de rendimiento y/o desempeño de taludes deben adaptarse al entorno y los recursos disponibles de cada operación, y deben proporcionar la información necesaria para validar y refinar progresivamente los modelos geotécnicos.

La documentación y evaluación sistemáticas del desempeño de los bancos es un componente importante de cualquier programa de evaluación de taludes. Los bancos son los bloques de construcción fundamentales del talud del tajo, y su geometría y comportamiento a menudo controlan el diseño entre rampas y, por lo tanto, el talud general. (Read y Stacey, 2009).

### 2.2.7. FOTOGRAMETRÍA

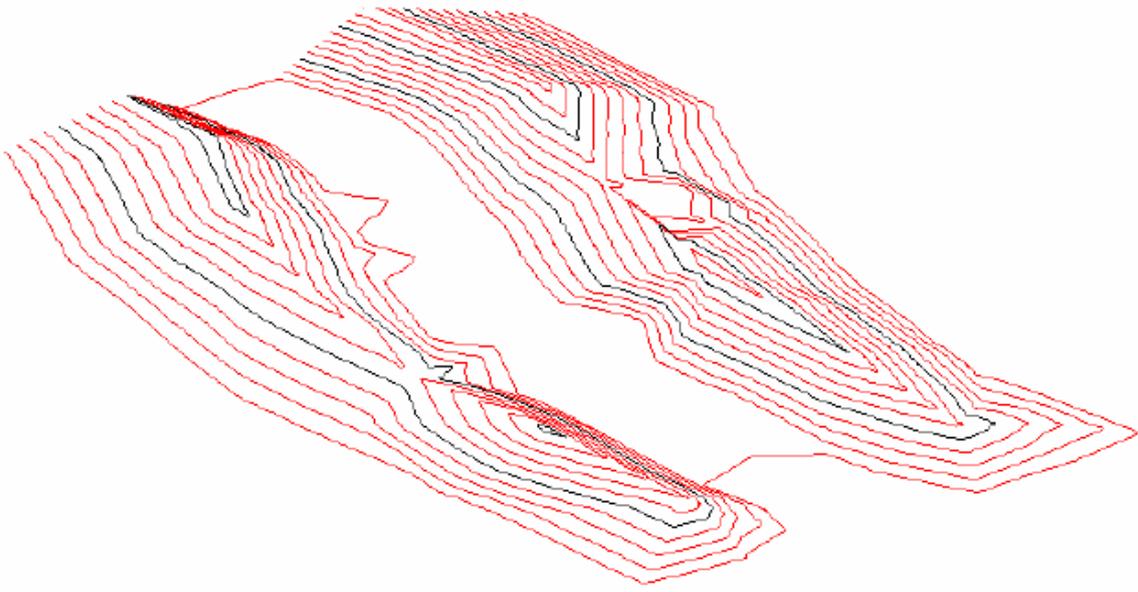
La Sociedad Internacional de Fotogrametría y Sensores Remotos (ISPRS) define a la fotogrametría como la ciencia encargada de realizar mediciones confiables por medio de fotografías para obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición) del objeto fotografiado y la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) define a la fotogrametría como el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante u otros fenómenos. (Santamaría y Sans, 2011)

La fotogrametría con drones puede definirse como la técnica utilizada para realizar mediciones, tanto de dimensiones, como de formas y posición de objetos en el espacio, y a través de la superposición de imágenes captadas, poder realizar mediciones en 3D. Esta técnica permite la generación de planos y mapas con mucha precisión.

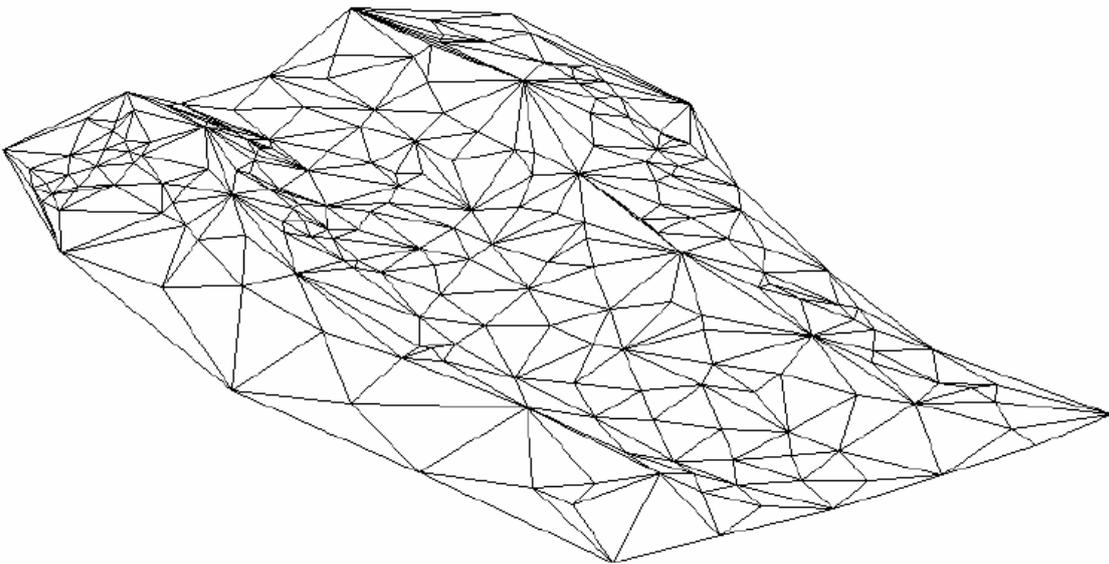
Principales ventajas de la fotogrametría con drones son:

- **Rapidez:** en el procesamiento de las imágenes a través de software especializado que agiliza el trabajo fotogramétrico.
- **Seguridad:** los operarios quienes realizan sus actividades de manera remota.
- **Calidad:** con los drones pueden realizarse tomas a distintas alturas, permitiendo una gran calidad en resolución, así como mayor control de los resultados

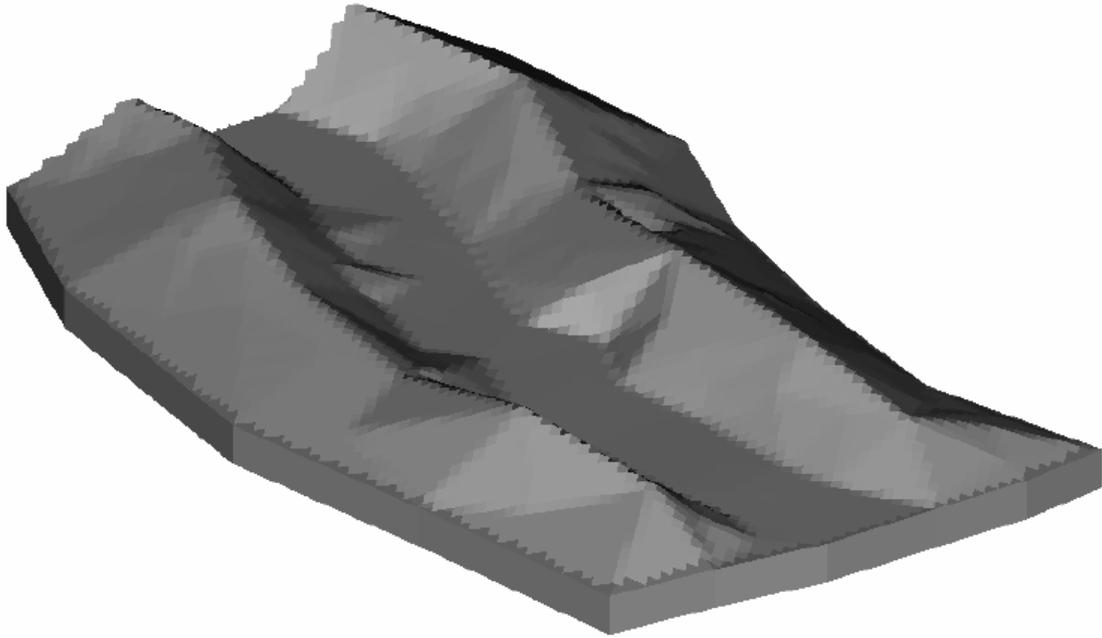
Mediante la fotogrametría con drones se pueden obtener los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE) y puede estar representado por curvas de nivel, Red Irregular de Triángulos (TIN) y Formato ráster.



**Figura 12.** Representación vectorial de un MDE por medio de curvas de nivel.  
**Fuente:** Santamaría y Sans, 2011.



**Figura 13.** Representación vectorial de un MDE por medio TIN.  
**Fuente:** Santamaría y Sans, 2011.



**Figura 14.** Representación vectorial de un MDE en formato Ráster.

**Fuente:** Santamaría y Sans, 2011.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Banqueta.** El área horizontal entre las caras de los bancos utilizada para la captación de desprendimientos de rocas. (Read y Stacey, 2009).

**Conciliación.** El proceso de conciliación tiene como objetivo comparar todos los principales parámetros de entrada utilizados en los estudios de diseño de taludes con las condiciones actuales. (De Graaf y Wessels, 2016).

**Dron.** Vehículo Aéreo no Tripulado (VAN), es una aeronave que tiene la habilidad de volar sin piloto a bordo, la cual es controlada por ondas de radio mediante un control remoto localizado en tierra y con el que se puede adquirir fotografías aéreas de la zona de estudio. (RAE, 2022)

**Script.** Es un término usado en programación para hablar de los fragmentos de código usados para dar forma a herramientas (tanto en informática en general como en concreto para herramientas en internet). Se trata de una parte fundamental del software, ya que constituye el código de una aplicación en su totalidad o una de sus

funciones. También se puede encontrar en las webs y su estructura. (Armetrics, 2022).

**Talud de Fase.** Los taludes que son conformados en diferentes fases o etapas de minado generalmente son llamados taludes o paredes de fase. (Hustrulid et al., 2013).

**Talud Final.** Los taludes que conforman el diseño final del tajo. (Hustrulid et al., 2013).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. UBICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. UBICACIÓN

La investigación se delimita en los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher, entre los niveles 3970 y 4050.

Políticamente, el Tajo Quecher Main se encuentra ubicado en el Distrito La Encañada, en la provincia de Cajamarca y región Cajamarca, a una distancia en línea recta aproximadamente de 20 km al norte de la ciudad de Cajamarca.

Geográficamente, se encuentra ubicado en la Microcuenca del Río Azufre, perteneciente a la intercuenca Alto Marañón; a una altitud que varía entre los 3550 y 4051 msnm.

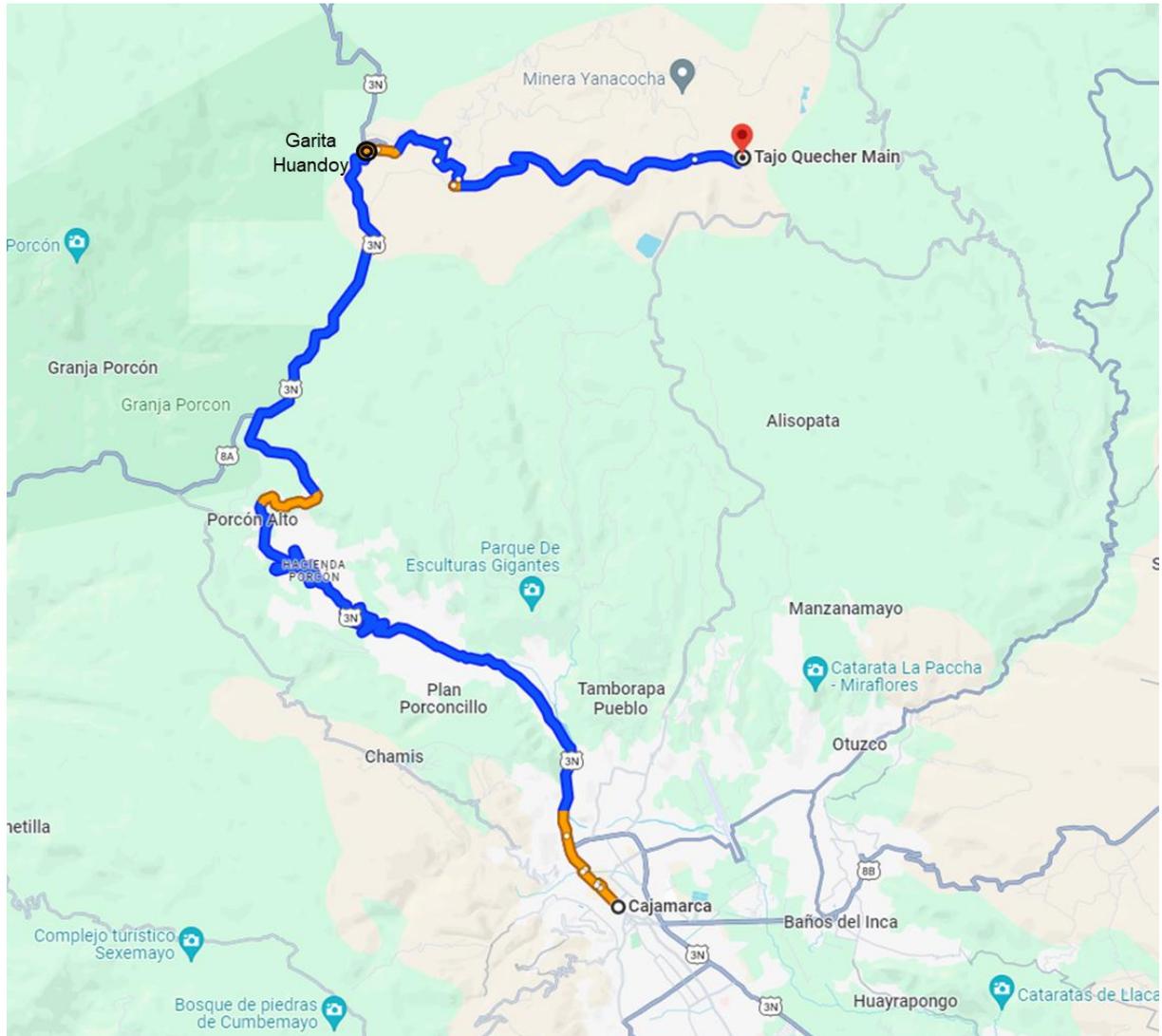
El Plano P-01 detalla la ubicación del área de investigación.

**Cuadro 1.** Coordenadas de delimitación del área de investigación.

Vértice	Coordenadas UTM	
	DATUM WGS-84 ZONA 17S	
	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59

### 3.1.2. ACCESIBILIDAD

Para llegar al área de investigación, se tiene que recorrer la carretera asfaltada Cajamarca – Bambamarca (3N) hasta la altura de la Garita Huandoy y se continúa por la trocha desde la Garita Huandoy hasta el Tajo Quecher Main aproximadamente 13 km. En la Figura 15 podemos observar el trayecto de accesibilidad desde la ciudad de Cajamarca hacia el Tajo Quecher Main.



**Figura 15.** Accesibilidad al Tajo Quecher Main.

**Fuente:** Google Maps, 2023.

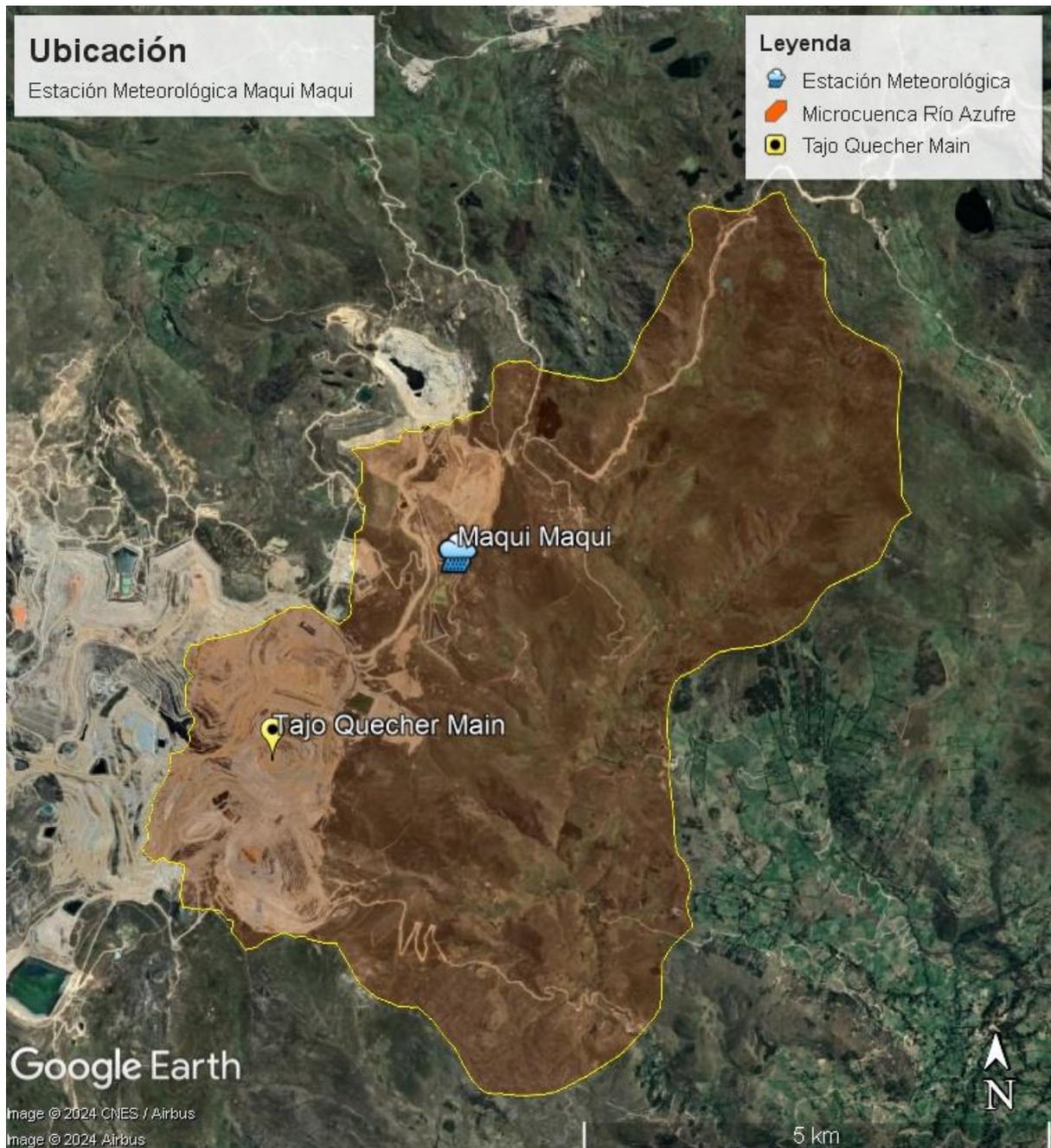
### **3.1.3. CLIMA**

Para la caracterización climática del área de estudio, se ha referenciado el informe de Estudio climatológico para la Segunda Modificatoria del Estudio de Impacto Ambiental Yanacocha, elaborado por WSP Perú Consultoría S.A. (2020), en el que se determina que el área de investigación se caracteriza por presentar un clima predominante súper húmedo, con pequeña o nula demasía de agua, frío moderado y baja concentración estival.

### **3.1.4. METEOROLOGÍA**

Para realizar la descripción meteorológica, se tomó en cuenta los registros de la estación Meteorológica Maqui Maqui presentada por WSP Perú Consultoría S.A. (2020) en el informe de Estudio Climatológico para la Segunda Modificatoria del Estudio de Impacto Ambiental Yanacocha. La estación meteorológica indicada está instalada en el área de influencia de la Subcuenca Rio Azufre y es operada por MYSRL, aporta información meteorológica mayor a 14 años, considerándose que la cantidad de los datos observados son coherentes y suficientes para representar el comportamiento de las variables meteorológicas.

La Figura 12 muestra la ubicación de la Estación Meteorológica Maqui Maqui.



**Figura 16.** Ubicación de la Estación Meteorológica Maqui Maqui

**Fuente:** Google Earth, 2023.

### 3.1.4.1. Precipitación

En el Cuadro 2 se muestran los datos de precipitación total mensual entre los años 1994 – 2018. El valor máximo registrado fue en marzo del 2005 y alcanzó los 421.9 mm. En la Figura 17 se muestra Precipitación total mensual máxima, mínima y promedio (mm). En base a los datos registrados, se determinó que la época húmeda ocurre entre los meses de noviembre y abril; y que la época seca ocurre entre junio y

setiembre. Los meses de mayo y octubre son considerados como meses de transición.

Se puede observar que la precipitación acumulada durante los meses lluviosos puede exceder los 400 milímetros (mm)/mes, mientras que durante los meses secos la precipitación mensual acumulada puede ser menor a 10 mm. Además, es necesario recalcar que la precipitación mensual puede variar drásticamente cada año; sin embargo, las tendencias generales durante la estación lluviosa son consistentes.

#### **3.1.4.2. Temperatura**

Las temperaturas en el área de investigación se ven afectados significativamente por la elevación y la precipitación anual que varía significativamente dentro de la microcuenca. En el Cuadro 4 se muestran los datos de Temperatura media mensual (°C) en la Estación Meteorológica Maqui Maqui entre los años 2004 y 2018.

En la Figura 22 se muestra Temperatura mensual máxima, mínima y promedio (°C) en la estación Maqui Maqui y se puede observar que la temperatura mensual promedio durante los meses lluviosos es de 5 °C, mientras que durante los meses secos la temperatura mensual promedio es de 4.3°C.

**Cuadro 2.** Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Meteorológica Maqui Maqui (1995 -2018).

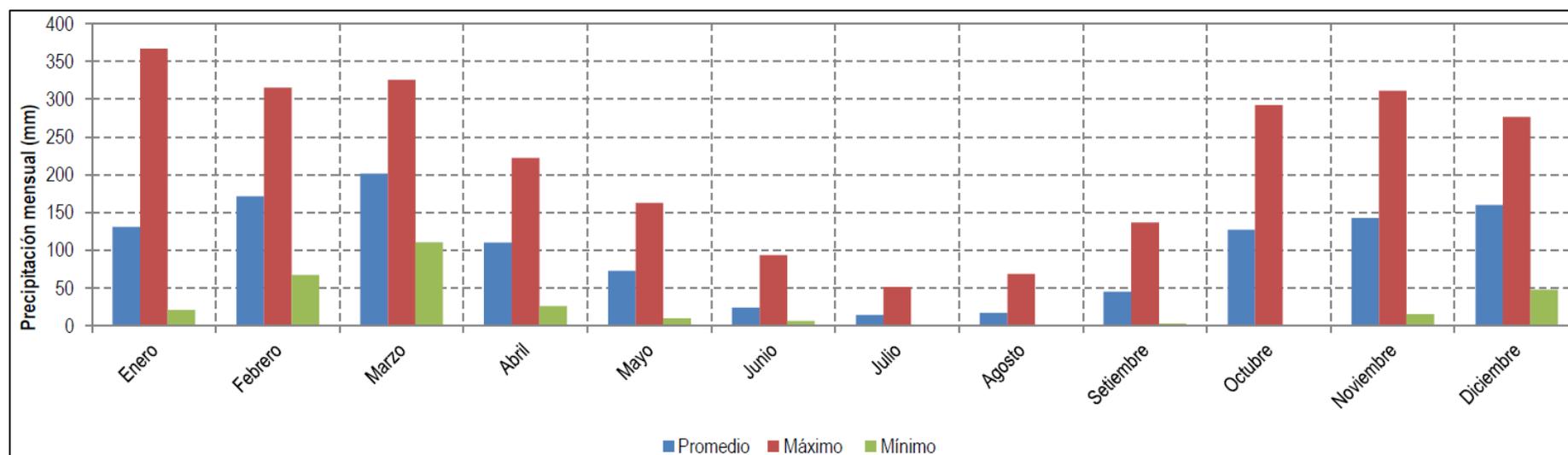
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Anual</b>
<b>1995</b>	20.6	145.0	154.6	84.5	72.5	14.2	3.9	3.6	22.2	70.4	156.2	168.9	916.5
<b>1996</b>	79.0	155.2	184.9	97.8	55.1	22.9	2.8	10.4	44.1	146.3	55.4	83.3	937.1
<b>1997</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1998</b>	57.4	192.5	161.0	119.3	93.4	5.8	0.4	1.6	18.0	155.4	160.8	47.4	1013.1
<b>1999</b>	162.4	315.2	137.4	69.6	101.4	93.2	17.0	7.2	123.6	58.0	110.2	238.0	1433.2
<b>2000</b>	86.4	226.2	196.2	97.6	68.4	26.4	5.0	35.8	136.4	9.6	55.2	147.8	1091.0
<b>2001</b>	243.2	148.8	275.2	99.6	65.4	6.8	12.8	3.4	72.0	124.6	170.4	193.6	1415.8
<b>2002</b>	53.0	106.6	193.0	168.6	35.2	15.8	18.4	3.3	40.8	195.6	134.0	207.2	1171.5
<b>2003</b>	92.4	101.6	113.8	25.6	9.4	13.2	4.4	4.4	13.4	18.0	22.4	141.5	560.1
<b>2004</b>	95.7	67.1	110.0	71.5	71.9	7.4	22.1	8.7	55.6	115.6	187.0	203.0	1015.3
<b>2005</b>	116.3	140.2	325.7	122.9	30.5	17.5	11.4	17.8	36.8	292.4	73.9	229.4	1414.8
<b>2006</b>	91.4	257.3	270.8	122.4	21.6	58.7	9.7	22.6	33.0	140.0	168.9	276.6	1472.8
<b>2007</b>	120.1	72.4	236.2	137.4	69.5	6.3	51.0	37.1	33.2	234.0	194.8	108.2	1300.3
<b>2008</b>	145.3	250.9	167.9	102.9	87.4	29.0	16.3	41.4	91.4	154.2	134.6	128.7	1349.9
<b>2009</b>	263.7	173.7	256.3	198.4	134.6	74.4	24.9	29.4	45.2	182.1	200.4	176.2	1759.3
<b>2010</b>	74.7	147.6	241.3	113.3	109.7	22.1	16.8	4.6	27.7	119.6	267.7	198.1	1343.1
<b>2011</b>	118.6	193.3	277.6	222.3	29.9	17.8	22.9	13.7	98.0	92.2	168.4	198.1	1452.6
<b>2012</b>	367.0	296.4	134.9	116.8	52.3	16.0	2.5	10.7	3.8	217.9	311.4	71.6	1601.4
<b>2013</b>	96.8	144.0	172.7	76.5	162.6	9.9	26.7	43.9	12.2	149.1	80.0	161.0	1135.4
<b>2014</b>	90.4	177.0	219.7	63.8	80.8	13.0	3.3	9.7	2.5	1.0	133.4	160.6	955.1
<b>2015</b>	185.8	125.6	307.3	95.1	102.0	12.4	8.1	0.1	26.7	65.4	119.6	65.5	1113.7
<b>2016</b>	180.6	151.1	124.8	70.1	21.8	11.4	4.3	2.5	27.4	127.0	14.9	167.0	903.1
<b>2017</b>	130.6	171.2	201.3	109.9	94.7	30.7	32.0	68.3	39.1	106.4	94.3	142.4	1220.9
<b>2018</b>	132.2	177.8	166.9	141.2	95.0	23.9	2.5	6.9	27.0	143.0	256.5	159.7	1332.6

**Fuente:** MYSRL, citado por WSP Perú Consultoría S.A., 2020.

**Cuadro 3.** Estadísticas de datos de Precipitación total mensual (mm) en la Estación Meteorológica Maqui Maqui.

Estadísticas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
Nro. de datos	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Promedio	130.6	171.2	201.3	109.9	72.4	23.9	13.9	16.8	44.8	126.9	142.2	159.7	1213.4
Desv. Std.	77.4	64	62.8	43.9	38	22.2	12.2	17.7	36.2	71.6	75.9	57.5	271.9
Kurtosis	3	0.3	-0.9	1.3	0.1	4.3	2.5	1.8	1.1	0.2	0	-0.2	0.2
Coefficiente de Asimetría	1.6	0.6	0.4	0.8	0.4	2.1	1.4	1.5	1.3	0.2	0.3	-0.2	-0.3
Coefficiente de Variación	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.9	0.9	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2
Máximo	367	315.2	325.7	222.3	162.6	93.2	51	68.3	136.4	292.4	311.4	276.6	1759.3
Cuartil 3	153.9	192.9	248.8	122.7	94.9	25.1	20.2	26	50.4	154.8	178.7	198.1	1415.3
Mediana	116.3	155.2	193	102.9	71.9	16	11.4	9.7	33.2	127	134.6	161	1220.9
Cuartil 1	88.4	142.1	157.8	80.5	43.8	11.9	4.1	4	24.5	81.3	87.2	135.1	1014.2
Mínimo	20.6	67.1	110	25.6	9.4	5.8	0.4	0.1	2.5	1	14.9	47.4	560.1

**Fuente:** MYSRL, citado por WSP Perú Consultoría S.A., 2020.



**Figura 17.** Precipitación total mensual máxima, mínima y promedio (mm) en la estación Maqui Maqui.

**Fuente:** WSP Perú Consultoría S.A., 2020.

**Cuadro 4.** Temperatura media mensual (°C) - Estación Meteorológica Maqui Maqui (2003 -2018).

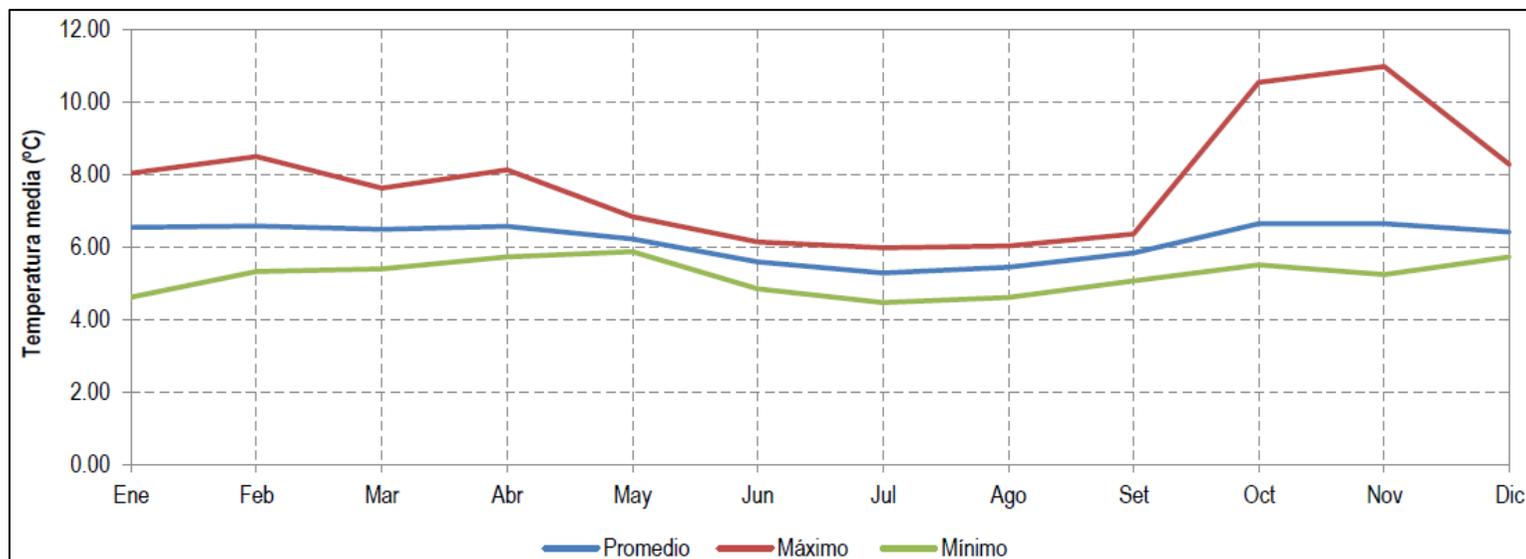
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Promedio</b>
<b>2004</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	6.2	6.3	6.5	S/D
<b>2005</b>	6.8	7.4	6.6	6.9	6.3	6.1	5.7	5.8	6.2	6.0	6.4	5.7	6.3
<b>2006</b>	6.4	6.7	6.5	6.4	5.9	5.3	5.2	5.7	6.2	6.3	6.3	6.4	6.1
<b>2007</b>	7.5	6.4	6.4	6.5	6.4	5.7	5.5	5.4	5.1	6.0	6.3	5.9	6.1
<b>2008</b>	6.2	5.7	5.4	5.8	5.9	5.5	5.0	5.8	5.9	5.9	6.4	6.1	5.8
<b>2009</b>	6.3	6.1	6.2	6.3	5.9	5.8	5.4	6.0	6.2	6.7	6.6	6.5	6.2
<b>2010</b>	7.1	7.5	7.5	7.4	6.8	5.8	6.0	5.8	5.9	5.8	5.8	5.9	6.4
<b>2011</b>	5.8	5.4	5.4	6.0	6.2	5.8	4.9	5.4	5.2	10.5	6.2	5.9	6.1
<b>2012</b>	6.0	5.3	6.1	6.2	5.9	5.2	5.2	5.2	5.4	6.0	6.0	6.2	5.7
<b>2013</b>	7.1	6.3	6.8	6.8	6.3	5.6	4.9	5.2	6.0	6.2	6.4	6.2	6.2
<b>2014</b>	6.5	6.5	6.2	6.6	6.6	6.1	5.6	4.9	6.4	5.5	5.2	6.5	6.0
<b>2015</b>	4.6	6.5	6.4	6.2	6.3	5.3	5.9	5.5	5.8	6.0	6.7	6.7	6.0
<b>2016</b>	7.4	7.3	7.2	6.9	6.4	5.3	5.5	5.3	5.6	9.7	11.0	8.3	7.2
<b>2017</b>	8.0	8.5	7.6	8.1	6.3	5.8	4.6	5.5	5.6	6.7	7.2	6.7	6.7
<b>2018</b>	5.8	6.6	6.5	5.7	5.9	4.8	4.5	4.6	6.2	6.0	6.7	6.4	5.8

Fuente: MYSRL, citado por WSP Perú Consultoría S.A., 2020.

**Cuadro 5.** Estadísticas de datos de Temperatura media mensual (°C) en la Estación Meteorológica Maqui Maqui.

Estadísticas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
<b>Promedio</b>	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15	15	14
<b>Desv. Std.</b>	6.54	6.57	6.48	6.56	6.22	5.59	5.28	5.44	5.83	6.64	6.64	6.41	6.18
<b>Kurtosis</b>	0.9	0.9	0.7	0.6	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	1.5	1.3	0.6	0.4
<b>Coefficiente de Asimetría</b>	0.5	0.5	-0.1	1.4	-0.3	-0.1	-0.9	0.6	-0.6	4.1	10.8	6.6	2.1
<b>Coefficiente de Variación</b>	-0.4	0.6	0.1	1.1	0.4	-0.4	-0.3	-0.7	-0.6	2.3	3	2.2	1.4
<b>Máximo</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
<b>Cuartil 3</b>	8	8.5	7.6	8.1	6.8	6.1	6	6	6.4	10.5	11	8.3	7.2
<b>Mediana</b>	7.1	7.1	6.7	6.9	6.4	5.8	5.6	5.7	6.2	6.5	6.7	6.5	6.3
<b>Cuartil 1</b>	6.4	6.5	6.5	6.5	6.3	5.6	5.3	5.4	5.9	6	6.4	6.4	6.1
<b>Mínimo</b>	6	6.2	6.2	6.2	5.9	5.3	4.9	5.2	5.6	6	6.2	6	6

Fuente: MYSRL, citado por WSP Perú Consultoría S.A., 2020.



**Figura 18.** Temperatura media máxima, mínima y promedio mensual (°C) - Estación Maqui Maqui.

Fuente: WSP Perú Consultoría S.A., 2020.

## 3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1. TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación reúne las características metodológicas de una investigación aplicada, ya que se utilizarán conocimientos de Ingeniería geológica para evaluación de la conciliación geotécnica de ancho efectivo de banquetas en los taludes finales del sector norte del Tajo Quecher Main.

### 3.2.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la naturaleza del estudio de la investigación, la presente investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación de enfoque analítico, descriptivo, no experimental, correlacional y nivel cuantitativo.

- **Analítico**, ya que se emplea la capacidad de pensamiento crítico con el enfoque de evaluar la información.
- **Descriptivo**, debido a que se basa en la descripción de las variables que influyen en el cumplimiento del ancho efectivo de banqueta.
- **Correlacional**, ya que se determina la relación de las variables de la investigación.
- **No experimental**, debido a que los datos se obtienen de las condiciones actuales de la condición a investigar y no se modifican las variables.
- **Cuantitativo**, utilizando la estadística se determina el nivel de cumplimiento de ancho efectivo de banqueta.

### 3.2.3. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Las variables que intervienen en el estudio son:

- **Variables independientes:** resistencia de la roca, geología, alteración hidrotermal, dominio geotécnico.
- **Variable dependiente:** ancho efectivo de banquetas.

### **3.2.4. POBLACIÓN DE ESTUDIO**

La población de estudio está constituida por los taludes finales entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main, definiendo un área de investigación de 0.2 Km<sup>2</sup>.

### **3.2.5. MUESTRA**

Conformada por las banquetas de los taludes finales entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main, con una extensión de 35 000 m<sup>2</sup> aproximadamente.

### **3.2.6. UNIDAD DE ANÁLISIS**

Ancho efectivo de banquetas, Dominio Geotécnico, Resistencia a la Compresión Uniaxial de las Rocas.

### **3.2.7. FASES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **Fase 1. Fase preliminar**

##### **Recopilación de la información existente**

Se inició con la búsqueda de toda la información existente (trabajo de grados, libros y papers) relacionados con la conciliación geotécnica de taludes.

##### **Reconocimiento de campo**

La etapa de reconocimiento de campo consistió en identificar los taludes que han llegado a su diseño final en la Pared Norte del Tajo Quecher Main para delimitar la zona de investigación. En este caso, se limita a las banquetas entre los niveles 3970 y 4050 msnm.

#### **Fase 2. Fase de Campo**

##### **Fotogrametría con dron**

Para garantizar una adecuada cobertura de la información Fotogramétrica de la Pared Norte del Tajo Quecher Main, fue necesario realizar la planificación de un proyecto de vuelo fotogramétrico con el soporte del área de Topografía de MYSRL. Para esto se

consideró que las condiciones climáticas sean favorables (clima despejado) y tener la autorización por parte del equipo de Operaciones Mina.

### **Fase 3. Fase de gabinete**

#### **Revisión de la información**

En el software Vulcan se visualizó el archivo de diseño final del Tajo Quecher Main. Posteriormente, se cargó la superficie de triangulación de la topografía actual (as-built) generada y obtenida por el equipo de Topografía en la fase anterior.

#### **Digitalización de crestas y toes actuales**

Se realizó la digitalización de las polilíneas de crestas y toes actuales de las banquetas evaluadas sobre la superficie de topografía actual. Estas polilíneas fueron exportadas en formato .dxf para ser utilizadas en la etapa de cálculo de ancho efectivo de banquetas.

#### **Cálculo de ancho efectivo de banquetas**

En el software AutoCAD, se cargan las polilíneas digitalizadas de las crestas y toes actuales y las polilíneas de diseño utilizando el Script de Cálculo se determinaron los anchos efectivos de banqueta para cada nivel de banco evaluado.

### **Fase 4: Fase de análisis e interpretación**

En esta fase, los anchos efectivos de cada banqueta son ploteados en un gráfico de dispersión y un gráfico de distribución de frecuencias acumulada para determinar el porcentaje de cumplimiento. Adicionalmente, se incluye la información proporcionada por el área de Geología Mina sobre el dominio geotécnico predominante de cada tramo evaluado. Finalmente, se presentan los resultados en un reporte de conciliación.

## **3.2.8. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **3.2.8.1. Técnicas de recolección de datos**

Para determinar el porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetas de los taludes finales del sector norte del Tajo Quecher Main, entre los niveles 3970 y 4050, se aplicaron las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **Observación directa:** proceso en el que se identificó el área de estudio y las unidades de análisis.
- **Análisis documental:** se ha recopilado toda la información disponible sobre la conciliación geotécnica de taludes.

Para finalmente, plasmar los resultados de la Conciliación Geotécnica en los formatos de reporte de conciliación.

### 3.2.8.2. Recursos

Conformados por: Lapiceros, Tablero, Plano de ubicación, Libreta de Campo, Cámara de Celular y Laptop utilizados en todas las etapas de recopilación de información.

### 3.2.8.3. Equipos de recopilación de datos

La superficie de triangulación de la topografía actual de las banquetas a conciliar es obtenida mediante el vuelo fotogramétrico con el Dron industrial modelo M300 RTK.

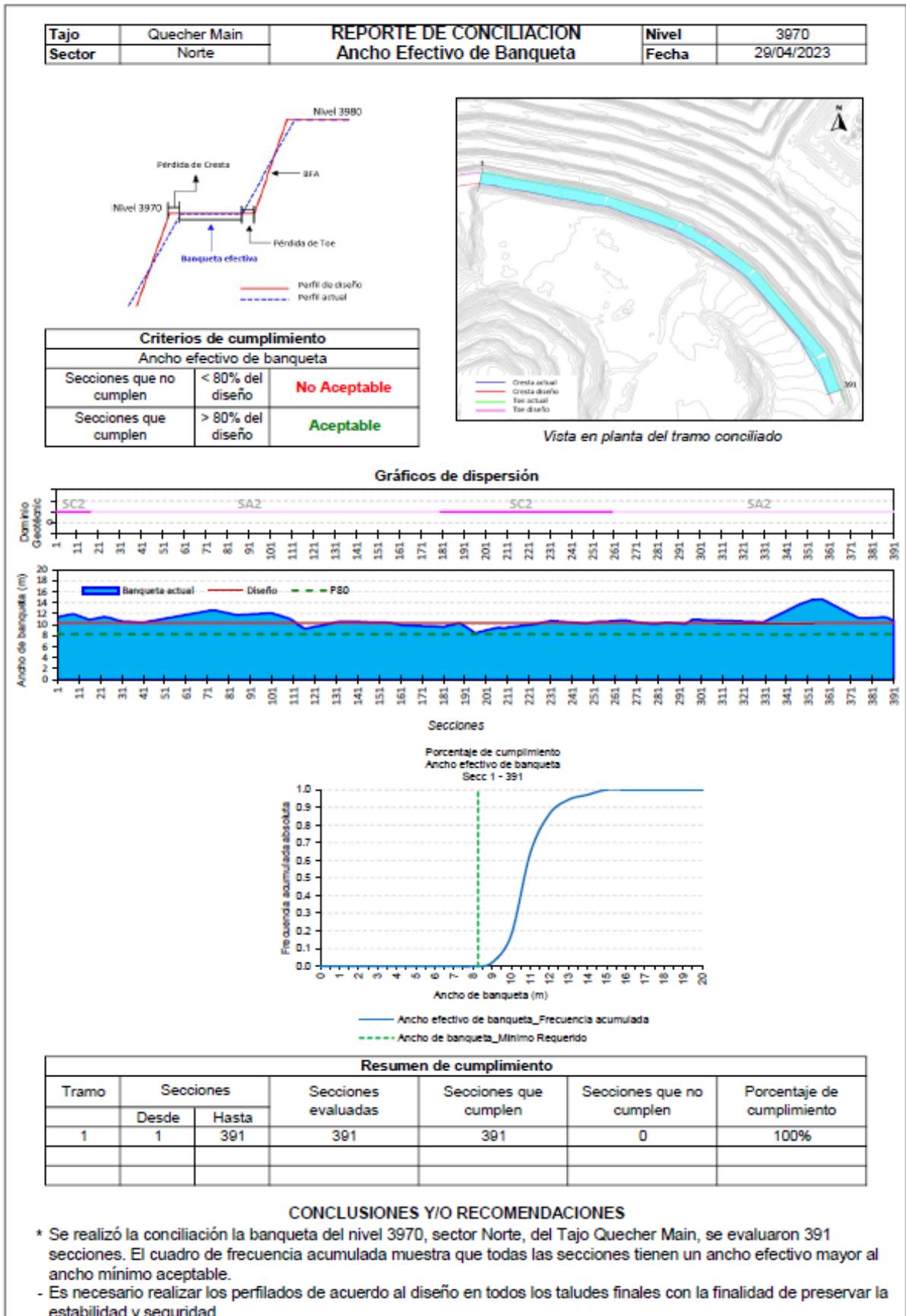


**Figura 19.** Dron Industrial Modelo M300 RTK.

**Fuente:** DJI Enterprise, 2022.

### 3.2.8.4. Softwares de recopilación de datos

- Vulcan, para la visualización de la triangulación y la digitalización de polilíneas.
- AutoCad, para el proceso de cálculo de ancho efectivo de banquetas.
- Excel, para la elaboración de los reportes de conciliación.



**Figura 20.** Formato de Reporte de Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas.

### **3.3. GEOLOGÍA REGIONAL**

WSP Perú Consultoría S.A. (2020) en el informe de la Segunda Modificación del Estudio de Impacto Ambiental de Yanacocha menciona que, a nivel regional, el proyecto minero se encuentra ubicado en la parte Norte del cinturón Orogénico Andino que atraviesa Perú en toda su longitud el cual está formado principalmente por rocas sedimentarias del Mesozoico y rocas Volcánicas del Terciario. El basamento de rocas volcánicas Terciarias en la región de Cajamarca está conformado por flujos de lava, conglomerados de escombros volcánicos y secuencias volcanoclásticas de la Formación Llama, la cual ha sido datada como Paleoceno.

Las rocas de la formación Llama ocurren al sur del distrito y sobre estas se depositan rocas del complejo volcánico Yanacocha el que es correlacionado con la formación regional Porculla.

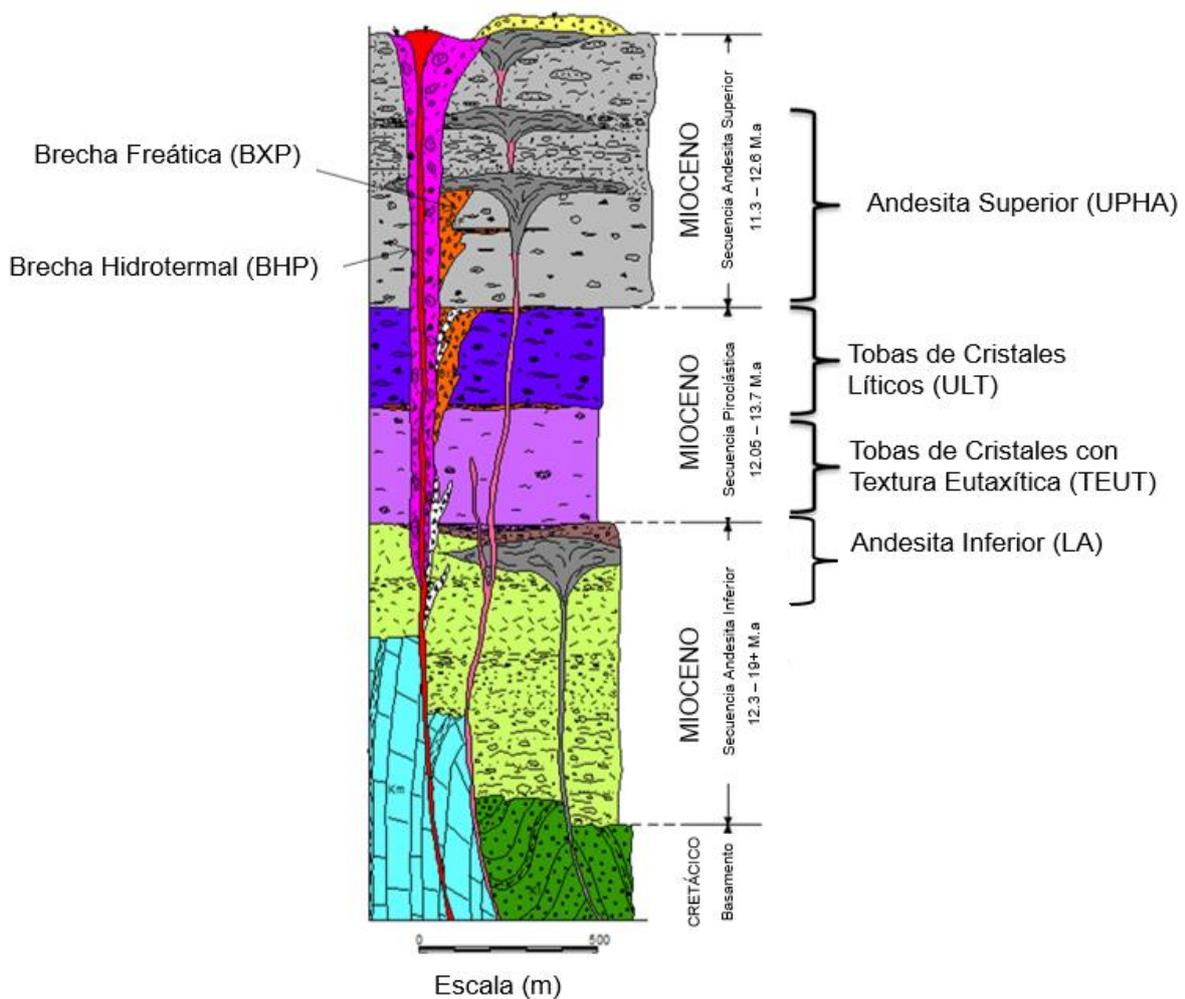
El complejo volcánico Yanacocha es una intercalación de secuencias de flujos de lava andesíticos y rocas piroclásticas que se superponen a la formación Llama a lo largo de un contacto transicional y se encuentra cubierto por ignimbritas dacíticas y andesíticas de la formación Huambos (8.4 Ma.)

Estas rocas sedimentarias y volcánicas están cortadas por intrusiones terciarias, los que ocurren de forma circular o elongados. Estas intrusiones han sido datadas como Paleoceno a Mioceno.

### **3.4. GEOLOGÍA LOCAL**

La estratigrafía del Tajo Quecher Main está conformada en profundidad por flujos lávicos de composición andesítica que corresponden a la unidad Andesita Inferior (LA, del inglés Lower Andesite), cubriendo a esta unidad se tiene dos unidades piroclásticas silicificadas conocidas como: tufo de cristales (TEUT, del inglés Texture Eutaxitic Tuff) y tufo superior con fragmentos líticos (ULT, el inglés Fine Lithic Tuff), cubriendo a estos tufos se tiene otra secuencia de flujos de andesita denominada Andesita Superior (UPHA, del inglés Upper Andesite) asociada con el emplazamiento de un domo intrusivo con ensambles de alteraciones que van gradando desde sílice alunita, sílice arcilla, argílico y roca fresca hacia los bordes del sistema.

Toda la secuencia estratigráfica está cortada por diferentes eventos de brechas freáticas con predominio de fragmentos heterolíticos silíceos soportados por una matriz de polvo de roca (BXP), otro tipo de brecha con fragmentos porfiríticos soportado por una matriz de polvo de roca con cristales se desarrolla en el contacto entre la brecha freática y el domo andesítico. Un evento posterior de delgados diques de brechas hidrotermales con inyección de sílice corta las brechas freáticas y aportan la mineralización de oro, las brechas hidrotermales se caracterizan por fragmentos heterolíticos soportados por una matriz fina rellena con óxidos de hierro en profundidad.



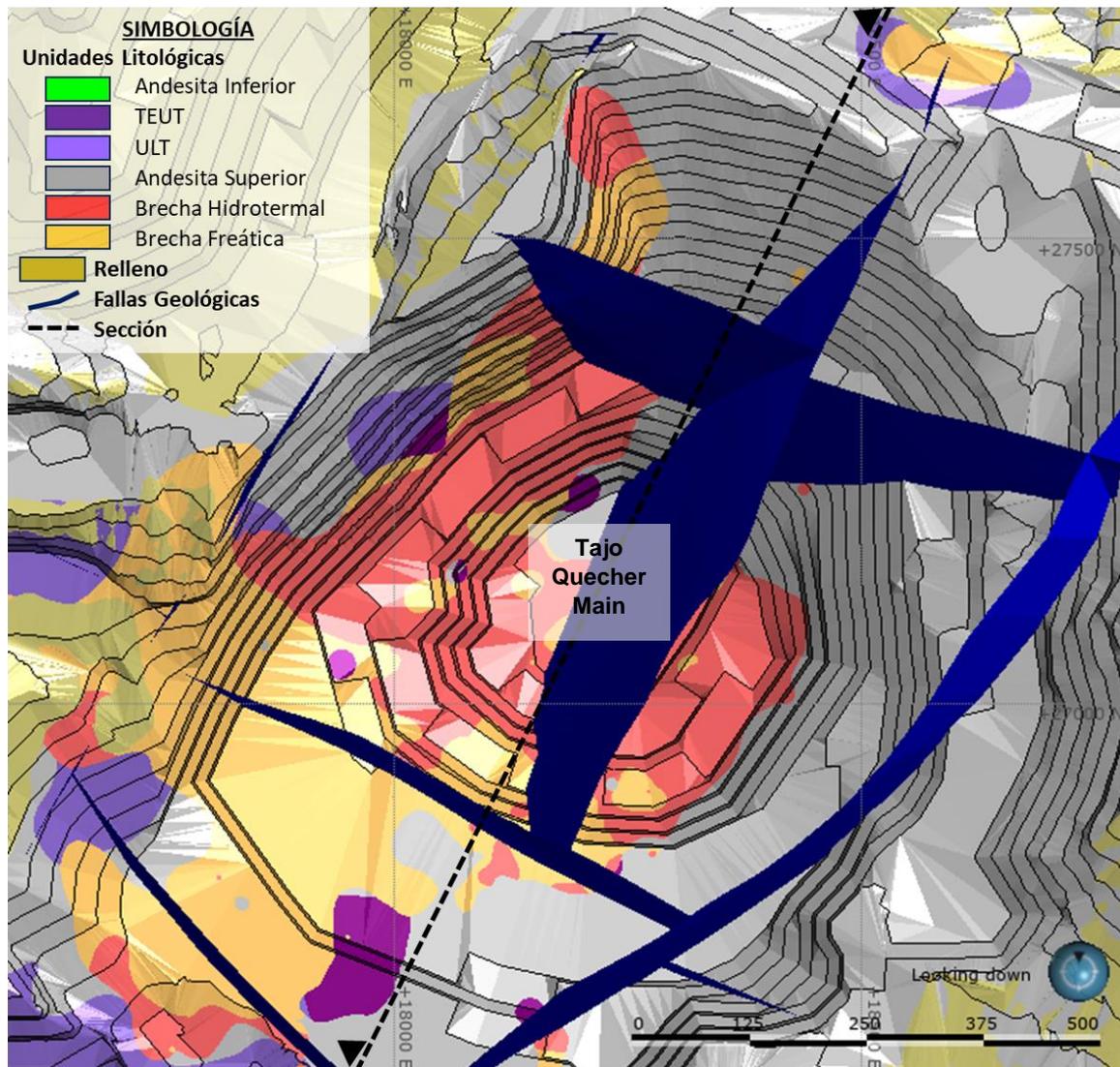
**Figura 21.** Columna Estratigráfica del Tajo Quecher Main.

**Fuente:** MYSRL, 2023

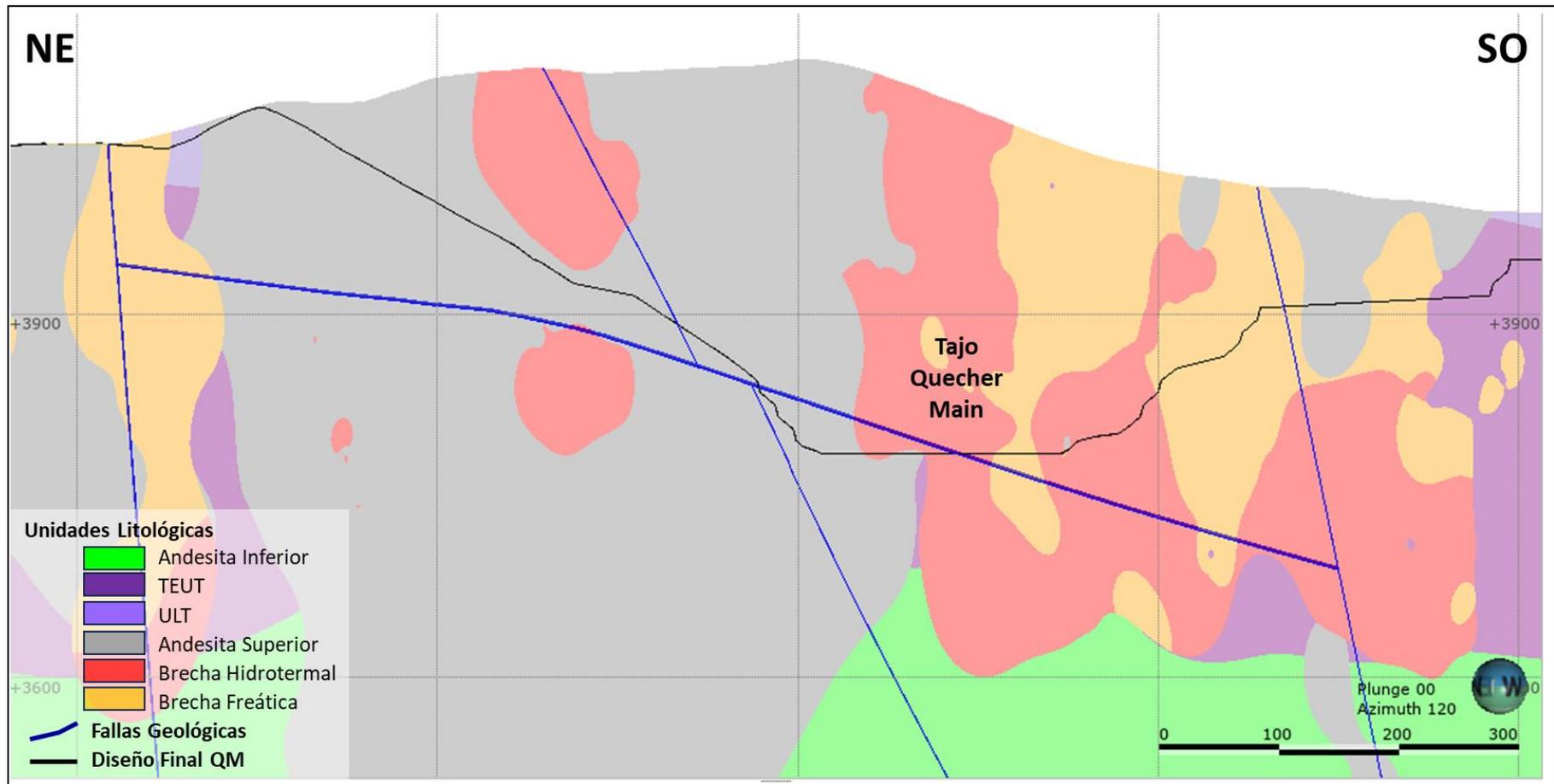
La Figura 22 muestra la intersección de modelo geológico con el diseño final del Tajo Quecher Main. Es en el Sector Oeste del tajo afloran unidades litológicas que contienen fragmentos heterolíticos sustentados en una matriz arenosa conocido como

Brechas Freáticas y unidades litológicas que contienen inyecciones de sílice con fuerte oxidación denominadas Brechas Hidrotermales asociadas con el control estructural SO – NE. Mientras que en el sector Este del tajo, encontramos rocas andesíticas pertenecientes a la unidad de Andesita Superior.

La Figura 23, muestra las unidades litológicas del Tajo Quecher Main en la sección longitudinal Noreste – Suroeste.



**Figura 22.** Modelo Geológico del Tajo Quecher Main.



**Figura 23.** Sección NE – SO del Tajo Quecher Main.

### 3.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Existen dos orientaciones estructurales principales en el Tajo Quecher Main: el dominio estructural Noreste (NE) que es paralelo al sistema estructural San José – Maqui Maqui – Chaquicocha y dominio estructural Noroeste (NO) paralelo al corredor estructural Yanacocha – Maqui Maqui. Ambos dominios estructurales controlan el emplazamiento de brechas e intrusiones y la mineralización de oro.



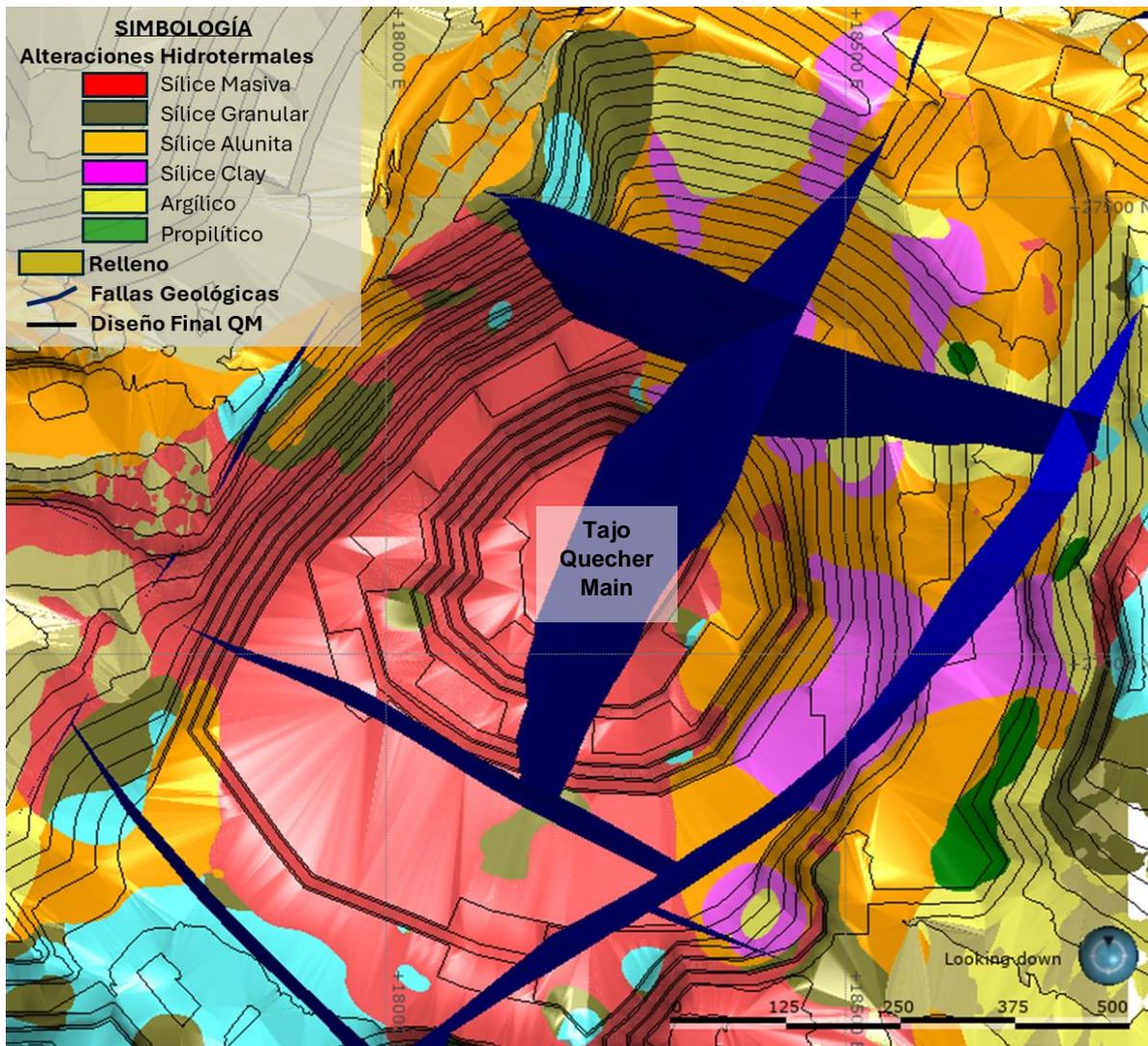
**Figura 24.** Dominios estructurales en el Tajo Quecher Main.

### 3.6. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Los principales tipos de alteración incluyen: Alteración Silíceo, Argílica avanzada, Argílica y Propilítica, extendidas y asociadas con la mineralización metálica en las

unidades piroclásticas principales y líticas. La alteración silíceica se gradúa de sílice masiva a sílice granular y está asociada con fallas e intrusivos. Con creciente distancia, la alteración silíceica cambia a sílice alunita y luego se gradúa a alteración argílica avanzada a argílica con más grandes cantidades de arcillas, como caolinita, montmorillonita e illita. La alteración argílica también ocurre en intrusiones andesíticas, pero es menos extendida que en los piroclásticos. También ocurre una menor cantidad de alteración propilítica pero no es común en comparación con otros unidades de alteración.

La Figura 25, muestra la intersección de las unidades de alteraciones hidrotermales con el Diseño Final del Tajo Quecher.



**Figura 25.** Modelo de Alteraciones Hidrotermales en el Tajo Quecher Main.

### 3.6.1. ALTERACIÓN SILÍCEA

Aflora en el Sector Sur y Sector Oeste del Tajo Quecher Main y está asociada a las estructuras de brechas. Consiste en roca que está casi 100% alterada a cuarzo con una variedad de texturas que incluyen sílice masiva y granular.

- **Sílice Granular:** Es una roca porosa, poco compacta y de textura sacaroide. La sílice granular se forma debido a la lixiviación ácida, como producto de la condensación de los fluidos hidrotermales.
- **Sílice Masiva:** Esta alteración se encuentra bordeando a Sílice Granular, geométricamente es tabular y en términos de volumen es la que predomina en el depósito.

### 3.6.2. ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA

Es en el Sector Norte y Sector Este del Tajo Quecher Main en dónde predominan las alteraciones, rodeando a las unidades de sílice. Las unidades de alteración Argílica Avanzada se subdividen en:

- **Sílice Alunita:** Con un ensamble predominante de cuarzo – alunita y trazas de caolinita.
- **Sílice Clay:** Compuesta por un ensamble cuarzo – pirofilita – sericita – illita – caolinita – esmectita. Puede contener trazas de alunita.

### 3.6.3. ALTERACIÓN ARGÍLICA

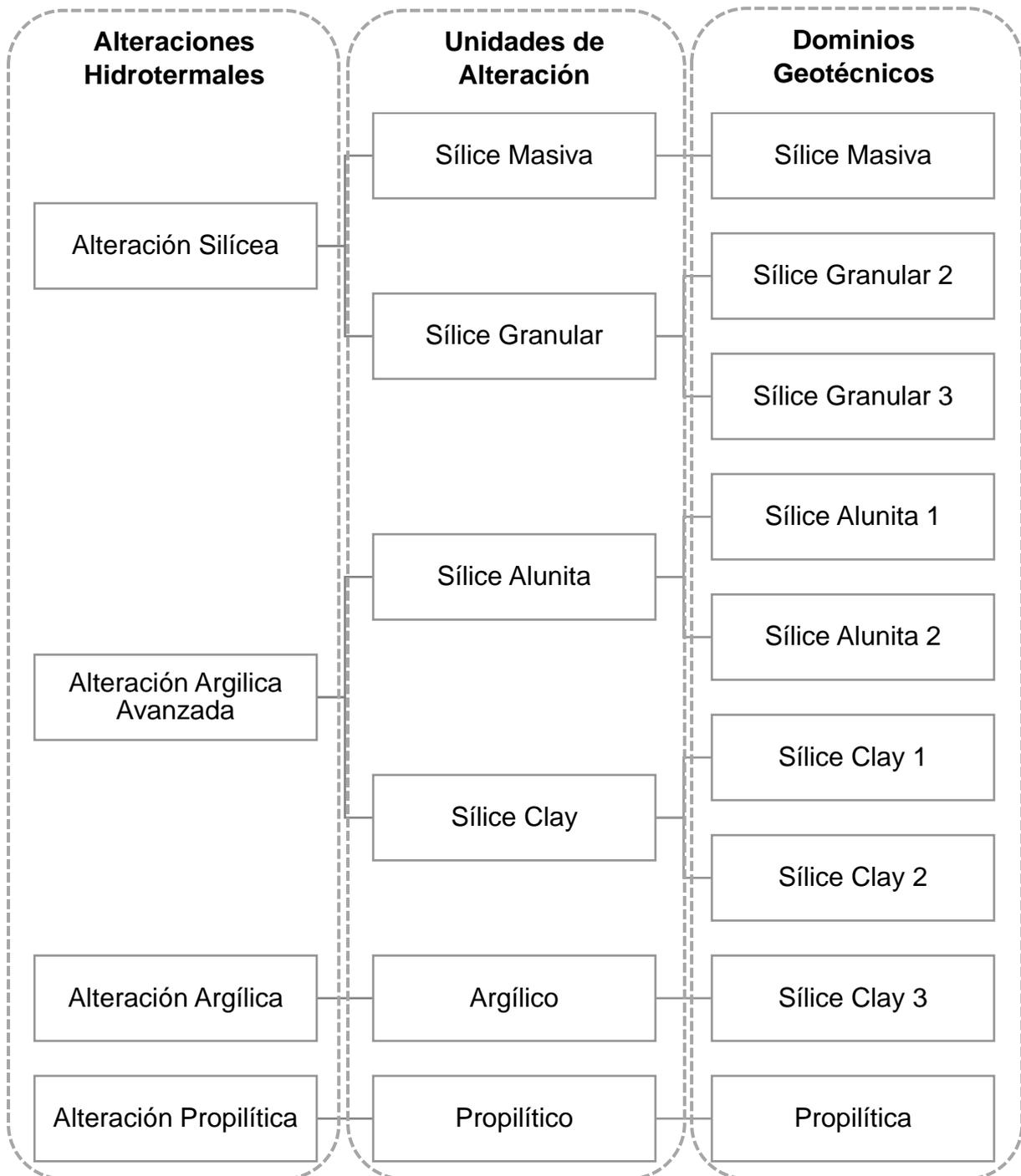
Esta alteración se encuentra en forma de núcleos, con contenido de arcillas mayor al 35%. Grada a partir de las zonas de Sílice Alunita o Sílice Clay en forma lateral, pasando progresivamente a caolinita-illita-montmorillonita. Aflora en el Sector Norte y Sector Este del Tajo Quecher Main.

### 3.6.4. ALTERACIÓN PROPILÍTICA

Se presenta en forma de núcleos y aflora en zonas puntuales del Sector Este del Tajo Quecher Main. Está emplazada débilmente sobre intrusiones dacíticas - andesíticas tardías. Con un ensamble de clorita, epidota, ±pirita y calcita.

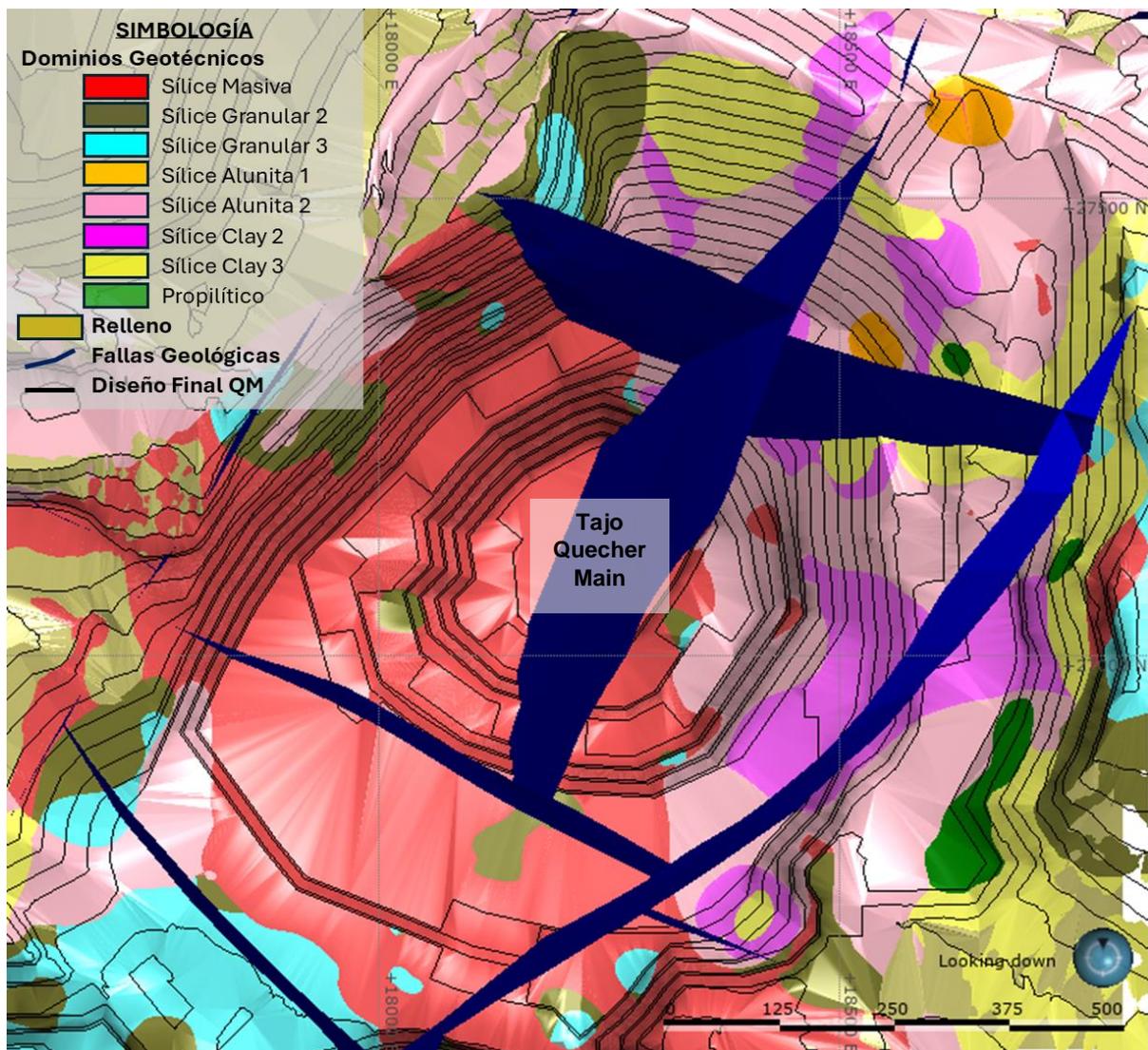
### 3.7. DOMINIOS GEOTÉCNICOS

Los dominios geotécnicos del Tajo Quecher Main se relacionan directamente con las unidades de alteración hidrotermal y se clasifican en base a la clasificación de Resistencia a la Compresión Simple propuesta por la ISRM.



**Figura 26.** Relación de Unidades de Alteración Hidrotermal con Dominios Geotécnicos en el Tajo Quecher Main.

La Figura 27, muestra la intersección de los dominios geotécnicos con el Diseño Final del Tajo Quecher.



**Figura 27.** Modelo geotécnico del Tajo Quecher Main.

### 3.7.1. SÍLICE ALUNITA 1 (SA1)

Caracterizada por tener un comportamiento tipo roca. Con un rango de resistencia entre R3 a R5 en base a la clasificación de la ISRM. Se encuentra en forma de bloques remanentes y estructuras discontinuas entre los cuerpos de Sílice Alunita 2. Tiene un ensamble de Alunita menor al 10% y presenta tonalidades rojizas. Este dominio geotécnico se observa como bloques remanentes en el Sector Noreste del Tajo Quecher Main. Por el rango de resistencia de este dominio geotécnico, los taludes pueden ser diseñados en bancos dobles.

### **3.7.2. SÍLICE ALUNITA 2 (SA2)**

Dominio geotécnico de baja resistencia (0.10-1.0 MPa), con clasificación de la ISRM que varía entre R1 a R2. Caracterizada por tener un comportamiento tipo suelo muy similar a la consistencia de un Clay 2 pero con menor rango de plasticidad, de grano fino, con tonalidades rojizas y un ensamble de Alunita mayor al 10%. Predomina en el Sector Norte y Sector Este del Tajo Quecher Main. Por el rango de resistencia de este dominio geotécnico, los taludes deben ser diseñados en bancos simples.

### **3.7.3. SÍLICE CLAY 1 (SC1)**

Al igual que el dominio geotécnico de Sílice Alunita 1, este dominio geotécnico se presenta en forma de bloques y estructuras discontinuas. Posee un ensamble de arcillas menor al 15% con un rango de resistencia entre R3 a R5 en base a la clasificación de la ISRM. Con tonalidades grises oscuras. Este dominio geotécnico se encontraba en la parte más superficial del tajo en el Sector Noreste. Por el rango de resistencia de este dominio geotécnico, los taludes pueden ser diseñados en bancos dobles.

### **3.7.4. SÍLICE CLAY 2 (SC2)**

Este dominio geotécnico se caracteriza por una intensidad moderada del contenido de arcillas (15% - 35%). Por su baja resistencia (R0 – R1) en base a la clasificación de la ISRM, se comporta como un suelo y se caracteriza por presentar una plasticidad moderada. Predomina en el Sector Norte y Sector Este del Tajo Quecher Main y presenta tonalidades grises oscuras. Por la resistencia de este dominio geotécnico, los taludes deben ser diseñados en bancos simples.

### **3.7.5. SÍLICE CLAY 3 (SC3)**

Este dominio geotécnico se caracteriza por la alta intensidad del contenido de arcilla (35% - 100%) que determinan un comportamiento tipo suelo con alta plasticidad y una resistencia R0 en base a la clasificación de la ISRM. Esta unidad es muy crítica desde el punto de vista de estabilidad pues su presencia dentro de los taludes podría determinar la existencia de condiciones inestables.

Aflora en forma de núcleos entre los dominios de Sílice Clay 2 y Sílice Alunita 2, en el Sector Norte y Sector Este del tajo. Por la resistencia de este dominio geotécnico, los taludes deben ser diseñados en bancos simples.

### **3.7.6. SÍLICE GRANULAR 2 (SG2)**

Dominio geotécnico de grano medio a fino, gris claro, y marrón por oxidación, moderadamente meteorizada, resistencia media a alta (16.0-82.0 MPa), fracturado a muy fracturado. Caracterizado por tener un comportamiento deleznable y una textura granular de moderada intensidad. Su resistencia varía entre una clasificación R3 a R4 en base a la clasificación de la ISRM. Aflora predominantemente en el sector Oeste del Tajo Quecher Main. Por el rango de resistencia de este dominio geotécnico, los taludes pueden ser diseñados en bancos dobles.

### **3.7.7. SÍLICE GRANULAR 3 (SG2)**

Dominio geotécnico caracterizado por ser totalmente deleznable y ser susceptible a la erosión superficie del agua. Con un rango de resistencia entre un R1 y R2 en base a la clasificación de la ISRM y tonalidades blanquecinas. Asociado a etapas de lixiviación más intensas. En el Tajo Quecher Main, podemos encontrar afloramientos de este dominio en el Sector Oeste. Su granulometría mayormente homogénea favorece su resistencia y permite diseñar taludes en bancos dobles.

### **3.7.8. SÍLICE MASIVA (SM)**

Este tipo de dominio geotécnico predomina en el Sector Oeste y Sector Sur del Tajo Quecher Main. La resistencia de esta alteración varía entre una roca Tipo R4 a R6 en base a la clasificación de la ISRM. Tiene una alta resistencia al corte del macizo rocoso y se presenta en tonalidades grises. Por el rango de resistencia de este dominio geotécnico, los taludes pueden ser diseñados en bancos dobles.

### **3.7.9. PROPILÍTICO (PRO)**

Dominio geotécnico con menor predominancia en el Tajo Quecher Main y una resistencia a la compresión uniaxial simple entre R2 y R4 en base a la clasificación de la ISRM. Por lo general, este dominio geotécnico se encuentra en forma de núcleos aislados en el Sector Este del Tajo Quecher Main, asociados lateralmente con

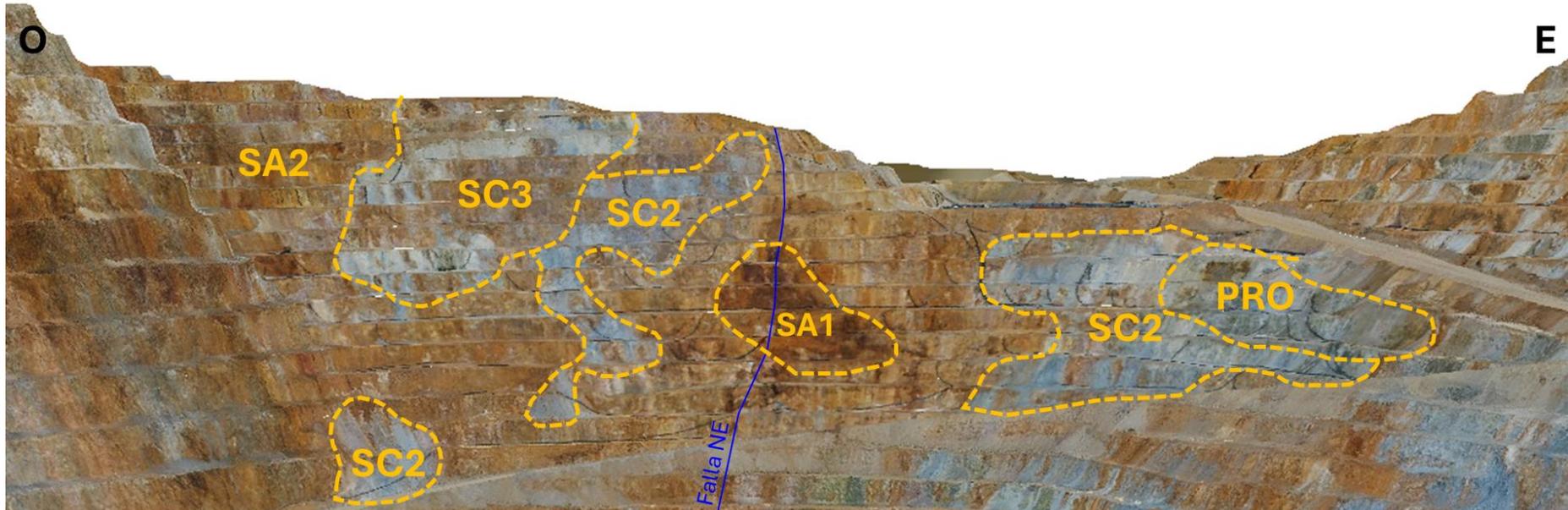
dominios de Alteración Argílica. Se presenta en tonalidades verduzcas y está compuesto por ensamble de sílice con clorita débil, motmorillonita, illita y piritita. Por encontrarse asociado a dominios de baja resistencia, los taludes de este dominio geotécnico deben ser diseñados en bancos simples.

La intersección del modelo geotécnico con el diseño final de Quecher Main (Figura 27) muestra que en los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main predominan dominios geotécnicos de baja resistencia como Sílice Alunita 2, Sílice Clay 2 y Sílice Clay 3. Esta información ha sido validada mediante campañas de perforación geotécnica y programas de mapeo geotécnico de taludes a medida que del avance de minado; de esta manera, se obtienen mayor cantidad de datos y el modelo se vuelve más confiable.

La Foto 2 muestra la condición actual de los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main y los dominios geotécnicos predominantes. Asimismo, en el Plano P-04 se plasma la información de mapeo de bancos de los dominios geotécnicos en la Pared Norte del Tajo Quecher Main.



**Foto 1.** Dominios Geotécnicos en el banco 4000 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. Se observa que el dominio geotécnico Sílice Alunita 1 (SA1) se presenta en bloques asociado al dominio geotécnico de menor resistencia de Sílice Alunita 2 (SA2), con núcleos de rocas con mayor cantidad de arcillas en tonos grises pertenecientes al dominio geotécnico Sílice Clay 2 (SC2).



**Foto 2.** Condiciones actuales de los Taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. Se observa la predominancia de dominios geotécnicos de baja resistencia: Sílice Alunita 2 (SA2), Sílice Clay 2 (SC2) y Sílice Clay 3 (SC3). En la parte central aflora un bloque remante de Sílice Alunita 1 (SA1) asociado a inyecciones de sílice a través de la falla NE.

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1.1. FOTOGRAMETRÍA DEL TAJO QUECHER MAIN

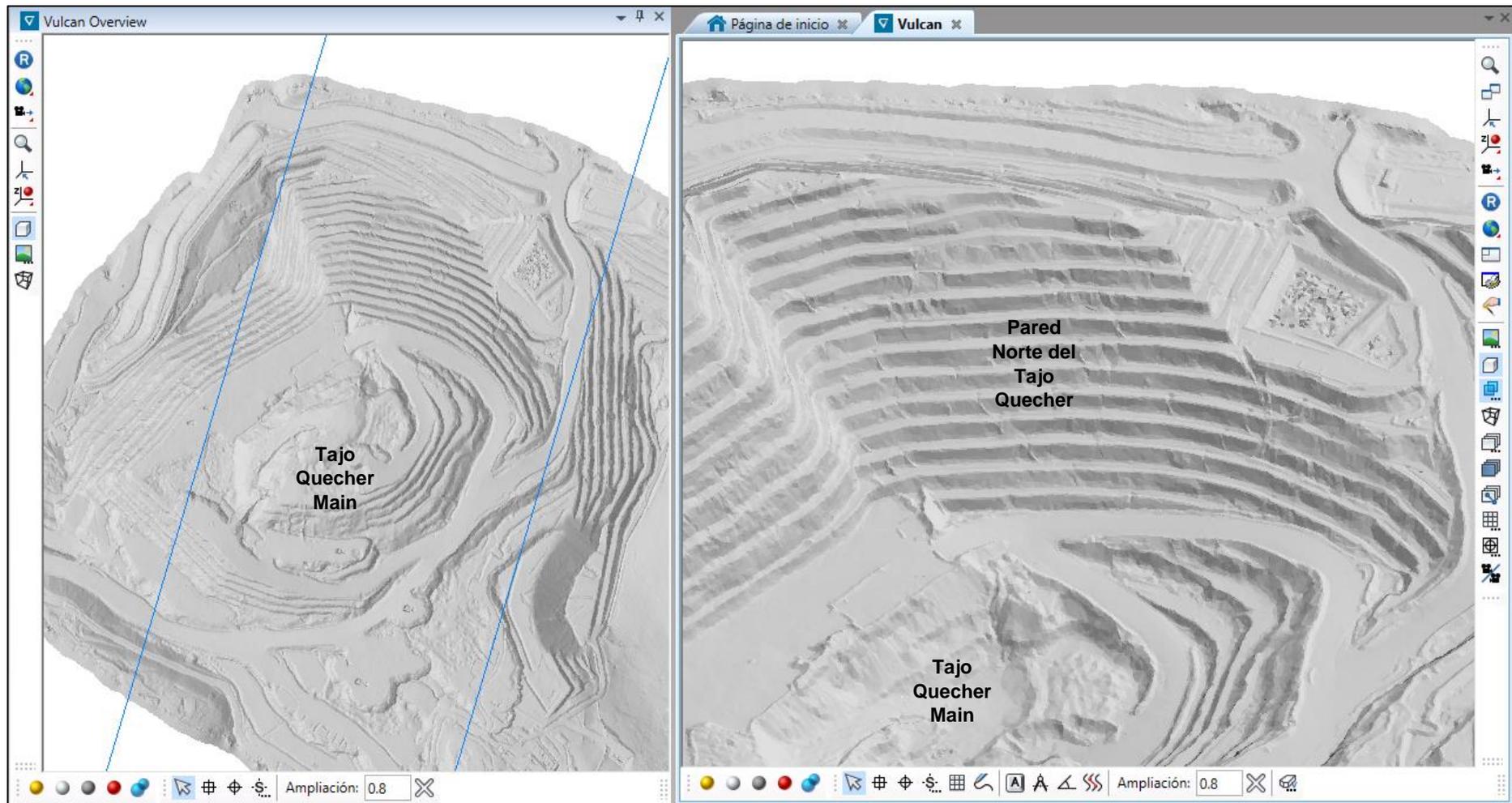
La fotogrametría con el Dron Industrial modelo M300 RTK permitió adquirir la superficie de triangulación con alta precisión del Tajo Quecher Main, con una notable ventaja en términos de seguridad, tiempo y costo.

En la Figura 28 se muestra el Dron Industrial modelo M300 RTK utilizado para realizar la fotogrametría del Tajo Quecher Main.



**Figura 28.** Dron Industrial Modelo M300 RTK, utilizado para el proceso de fotogrametría.

Como resultado del proceso de fotogrametría del Tajo Quecher para obtener la superficie de triangulación de las condiciones actuales de la Pared Norte, se generaron dos archivos: un archivo ráster con extensión *.00t* (QM\_230214\_s1.00t) que se puede visualizar en el software Vulcan y un archivo con curvas de nivel en extensión *.dxf* (QM\_230214\_s2.dxf) que puede ser visualizado en el software AutoCAD Civil 3D.



**Figura 29.** Izquierda: Vista en Planta de la superficie de triangulación del Tajo Quecher Main. Derecha: Vista 3D de superficie de triangulación del Tajo Quecher Main.

En el plano P-02 se muestra el Modelo Digital de Elevaciones con curvas de nivel cada 2 metros de la Pared Norte del Tajo Quecher Main. Asimismo, en el plano P-03, se muestra el diseño final (a medio banco) del tajo y la topografía actualizada al 14 de febrero del 2023. Con esta información, podemos verificar que los taludes de la Pared Norte del Tajo Quecher Main entre los niveles 3970 y 4050 han llegado a su diseño final.

#### **4.1.2. PARÁMETROS DE DISEÑO GEOTÉCNICO**

La formulación de los criterios de diseño de taludes implica fundamentalmente el análisis frente a los modos de falla previstos que podrían afectar el talud a escala de banco, interrampa y escala global.

El proceso de diseño de taludes comienza con la división del modelo geotécnico para el área del tajo propuesto en dominios geotécnicos con características geológicas, estructurales y de propiedades materiales similares.

En el Cuadro 6 se detalla los parámetros de diseño para cada tipo de dominio geotécnico en el Tajo Quecher Main basados en los niveles de aceptación requeridos que han sido establecidos por el área de geotécnica de MYSRL.

**Cuadro 6.** Parámetros de diseño para cada dominio geotécnico en el Tajo Quecher Main.

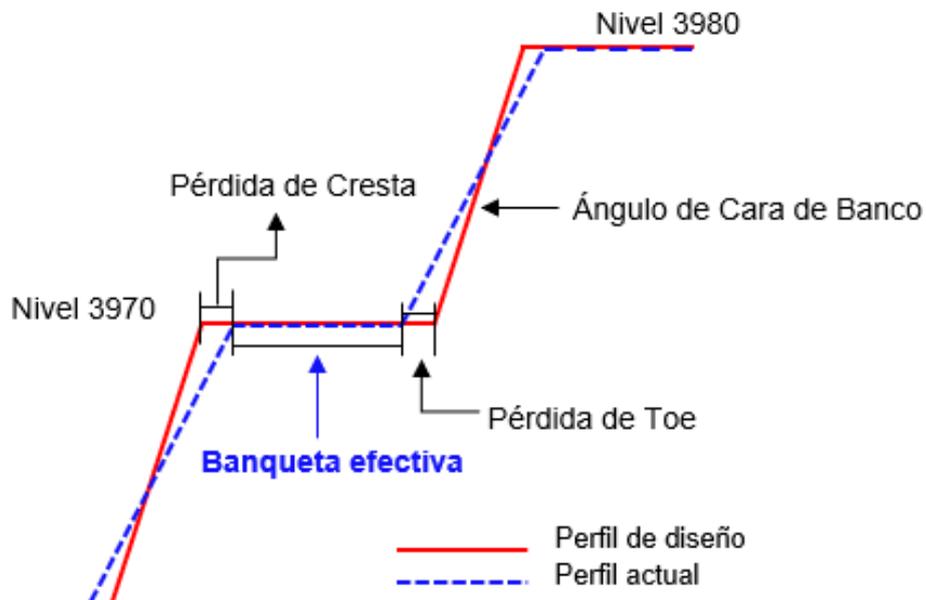
Dominio geotécnico		Altura del banco	Ángulo de Cara de Banco	Ángulo Interampa	Ancho de banqueta	Ancho de banqueta mínimo aceptable
Nombre	Color	(m)	(°)	(°)	(m)	(m)
Sílice Alunita 2		10	55	30	<b>10.32</b>	8.25
Sílice Clay 2		10	55	30	<b>10.32</b>	8.25
Sílice Clay 3		10	55	30	<b>10.32</b>	8.25
Sílice Clay 1		20	65	43	<b>12.12</b>	9.70
Sílice Granular 3		20	65	43	<b>12.12</b>	9.70
Sílice Granular 2		20	70	50	<b>9.50</b>	7.60
Sílice Alunita 1		20	70	50	<b>9.50</b>	7.60
Sílice Masiva		20	75	54	<b>9.17</b>	7.37
Propilítico		10	55	30	<b>10.32</b>	8.25

Fuente: MYSRL, 2023.

### 4.1.3. CRITERIOS DE CUMPLIMIENTO

Los criterios de evaluación son indicadores que nos ayudan a medir el grado de cumplimiento de objetivos. Para evaluar objetivamente el desempeño de los bancos en el Tajo Quecher Main, se ha establecido calcular los anchos efectivos de banqueteta y compararlos con los anchos de diseño para determinar la relación de cumplimiento.

Se debe tener que las actividades operativas de minado de los bancos (proceso de voladura, minado y perfilado), pueden generar desviaciones del diseño de bancos e influir en la condición actual de los anchos de banquetetas. La Figura 26 esquematiza la comparación entre un perfil de diseño y un perfil actual de un banco.



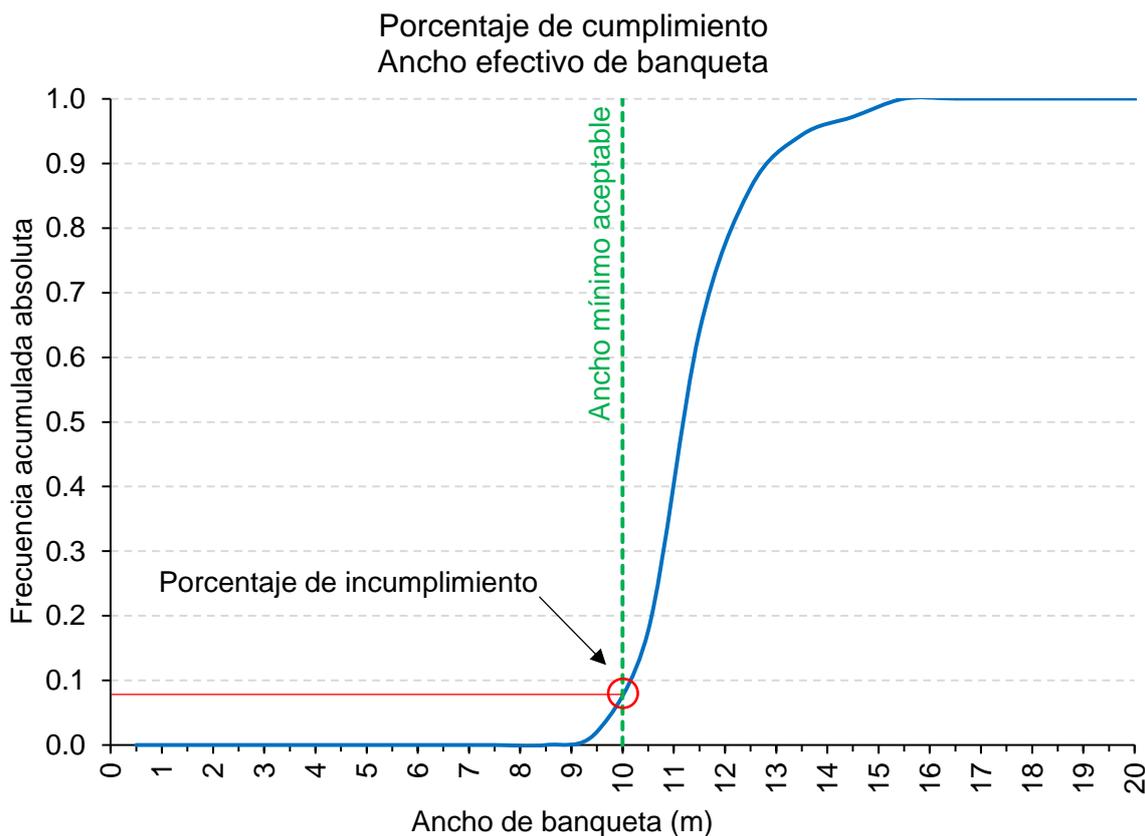
**Figura 30.** Esquema de comparación entre un perfil de diseño y un perfil actual de un banco.

El criterio de cumplimiento para el ancho de banquetetas en el Tajo Quecher se basa en la teoría propuesta por Read y Stacey (2009) basado en el volumen de material fallado que se puede contener en el banco. En este caso, una banqueteta se considera aceptable, siempre y cuando la banqueteta efectiva tenga un ancho mayor al 80 % del diseño. Es decir, si la banqueteta tiene un ancho de diseño de 10 m., el ancho mínimo aceptable será de 8 m.

#### 4.1.4. CONCILIACIÓN DE ANCHO EFECTIVO DE BANQUETAS

Los gráficos de dispersión permiten visualizar los anchos efectivos de banqueteta por cada sección evaluada y comparar con los anchos de diseño y los anchos mínimos aceptables.

El porcentaje de cumplimiento se determina con los gráficos de frecuencia acumulada. La línea discontinua verde representa el ancho de banqueteta mínimo aceptable (80% del ancho de diseño). La intersección entre la curva de frecuencia acumulada de anchos actuales de banqueteta (color azul) y la línea de ancho mínimo aceptable (línea discontinua verde) determina el porcentaje de secciones que no cumplen con el ancho mínimo aceptable; por lo que el porcentaje final de cumplimiento se determina entre la diferencia del porcentaje total de secciones evaluadas (100%) y el valor de intersección (Porcentaje de incumplimiento)



**Figura 31.** Análisis estadístico de porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetetas.

Asimismo, en el Plano P-05 se muestra las secciones evaluadas de las banquetetas del nivel 3970 al 4050 en la Pared Norte del Tajo Quecher Main.

#### 4.1.4.1. Nivel 3970

Para la conciliación de banqueta del nivel 3970, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 391 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

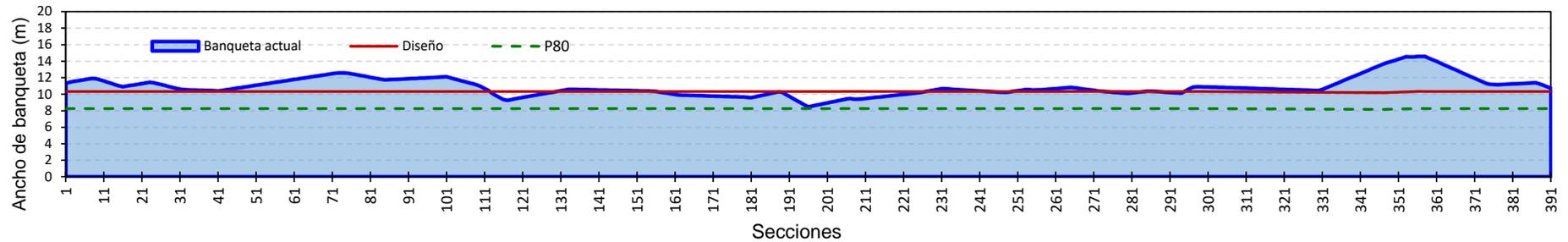


Figura 32. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3970.

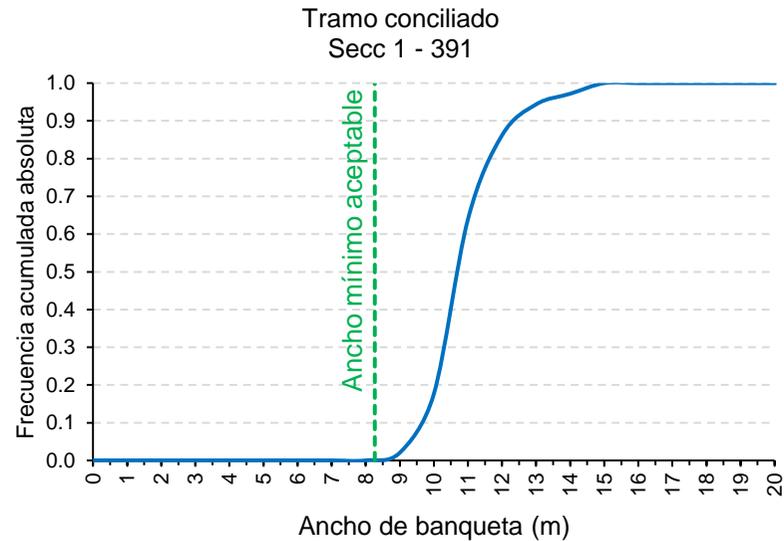


Figura 33. Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3970.

#### 4.1.4.2. Nivel 3980

Para la conciliación de banqueta del nivel 3980, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 457 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

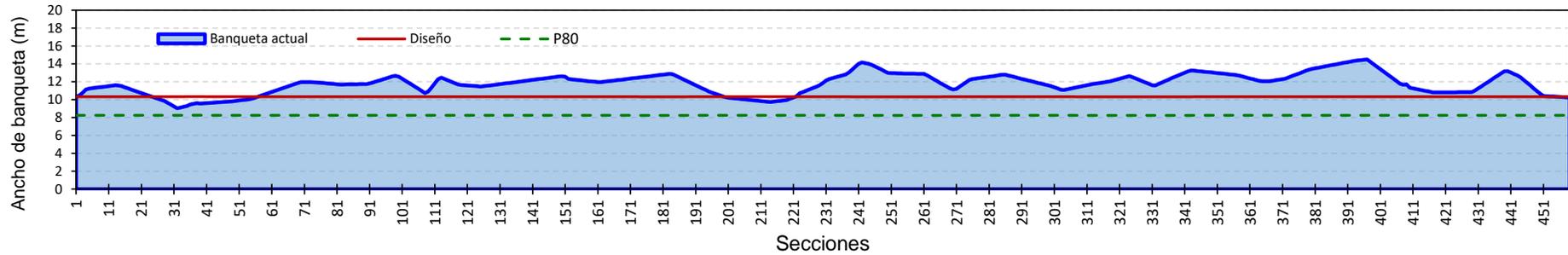


Figura 34. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3980.

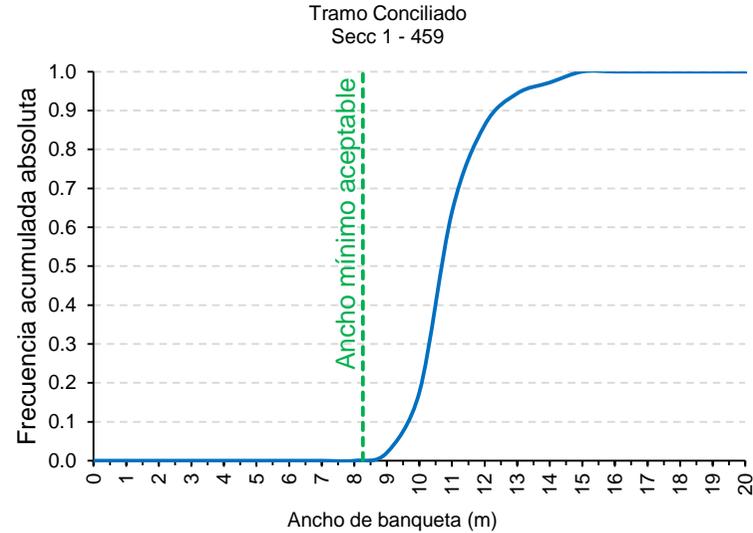
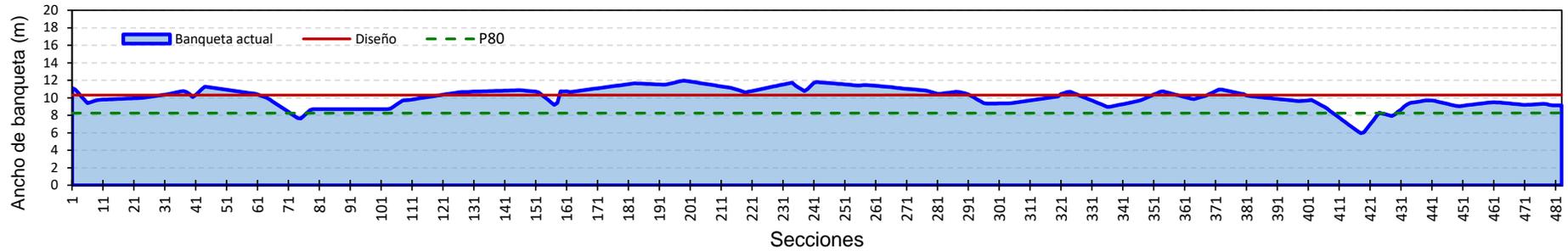


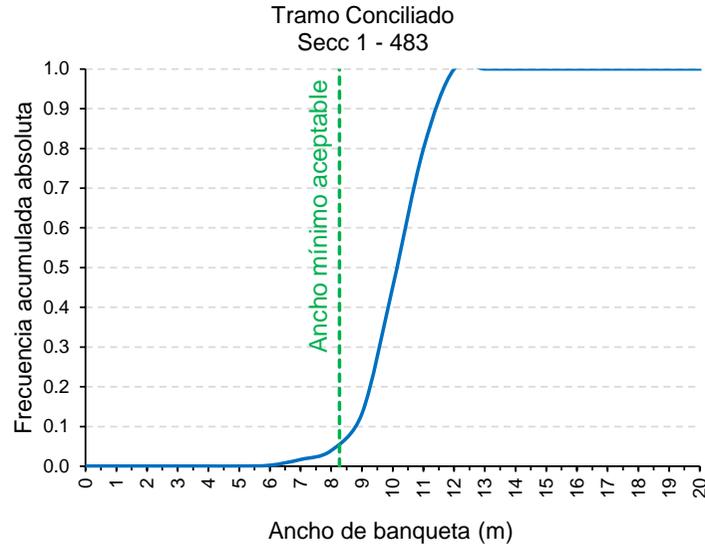
Figura 35. Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3980.

### 4.1.4.3. Nivel 3990

Para la conciliación de banqueta del nivel 3990, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 483 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 95 % secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.



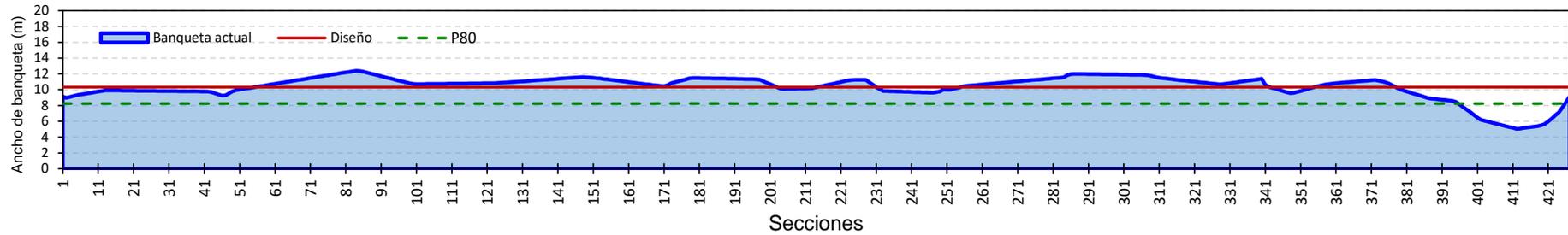
**Figura 36.** Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3990.



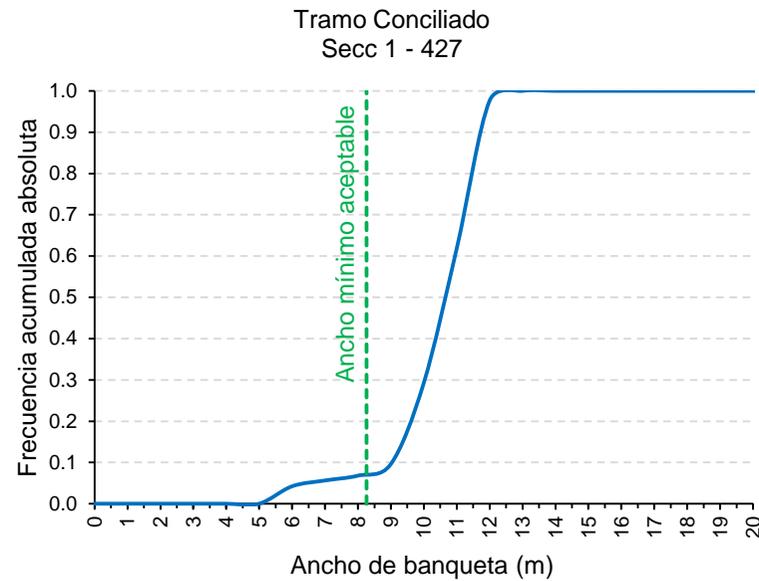
**Figura 37.** Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 3990.

#### 4.1.4.4. Nivel 4000

Para la conciliación de banqueta del nivel 4000, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 427 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 93 % de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.



**Figura 38.** Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4000.



**Figura 39.** Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4000.

#### 4.1.4.5. Nivel 4010

Para la conciliación de banqueta del nivel 4010, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 406 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 92 % de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

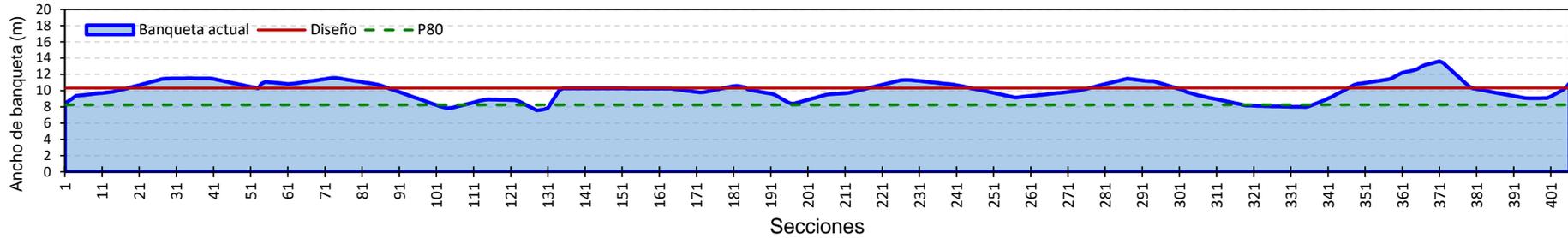


Figura 40. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4010.

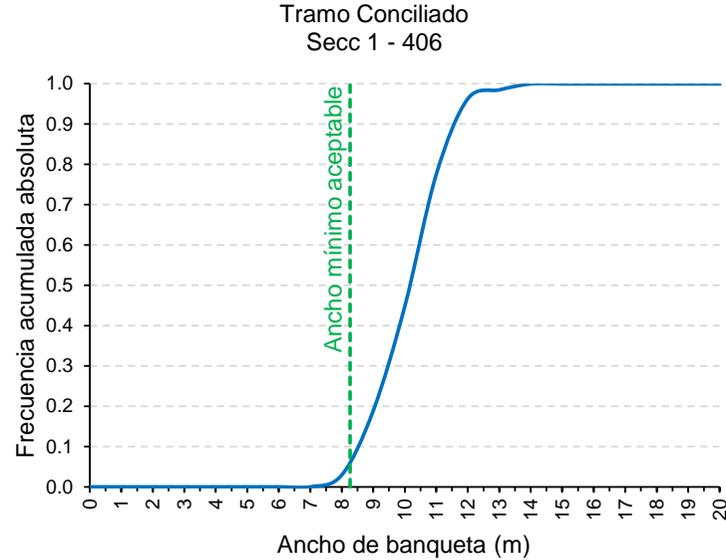
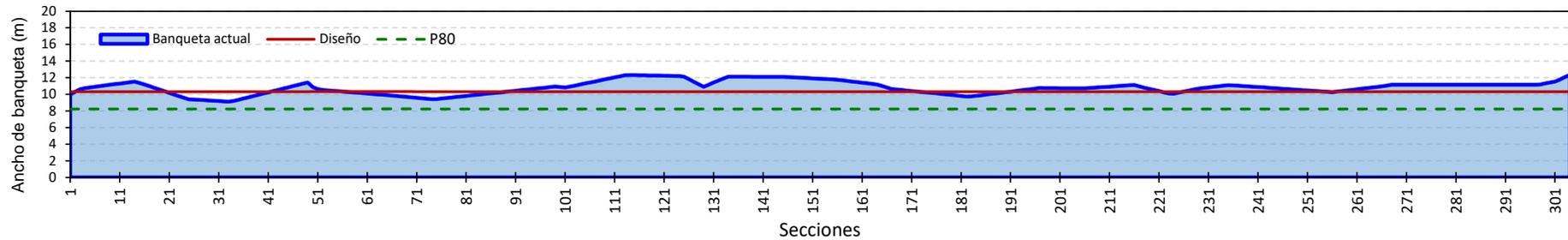


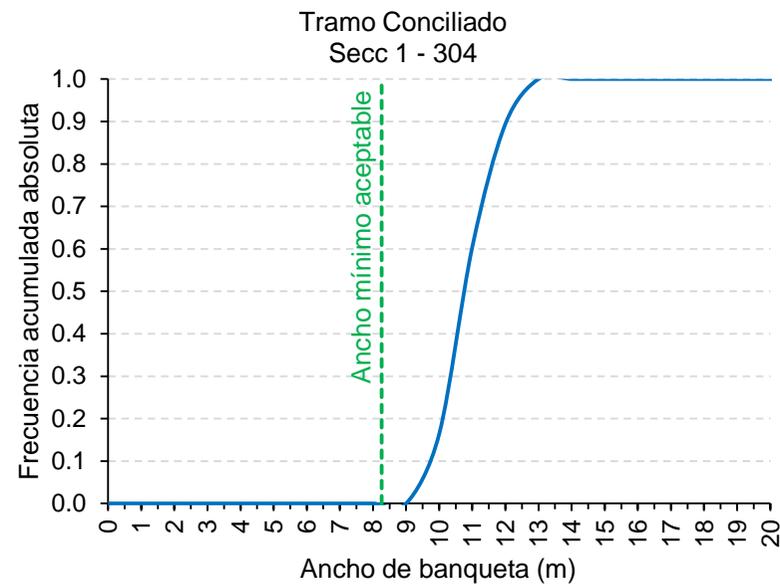
Figura 41. Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4010.

#### 4.1.4.6. Nivel 4020

Para la conciliación la banqueta del nivel 4020, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 304 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.



**Figura 42.** Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4020.



**Figura 43.** Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4020.

#### 4.1.4.7. Nivel 4030

Para la conciliación de banqueta del nivel 4030, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 415 secciones. Se dividió en 2 tramos por tener distintos anchos de diseño. Los cuadros de frecuencia acumulada por cada tramo muestran que el 95% de las secciones en el primer tramo tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable, mientras que en el segundo tramo todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

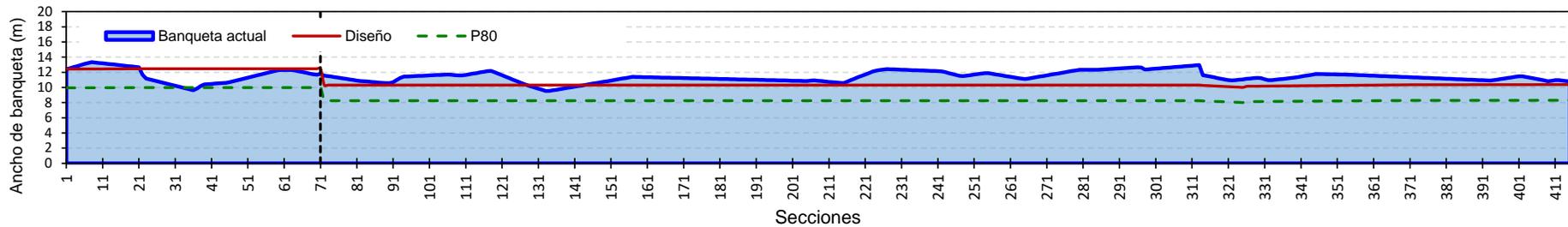


Figura 44. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4030.

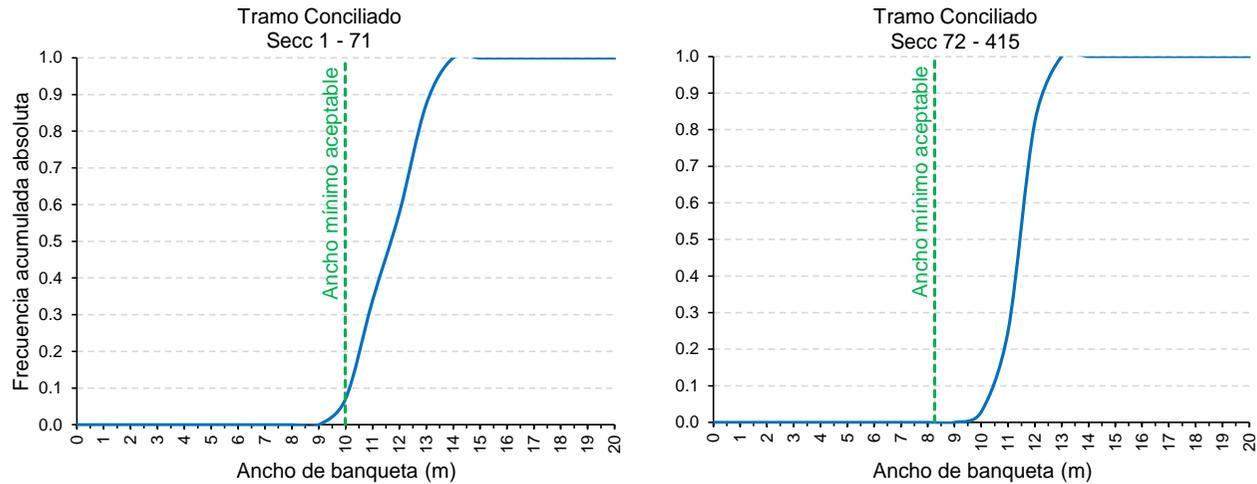


Figura 45. Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4030.

#### 4.1.4.8. Nivel 4040

Para la conciliación de banqueta del nivel 4040, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 376 secciones. Se dividió en 2 tramos por tener distintos anchos de diseño. Los cuadros de frecuencia acumulada por cada tramo muestran que el 93% de las secciones en el primer tramo tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable, mientras que en el segundo tramo todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

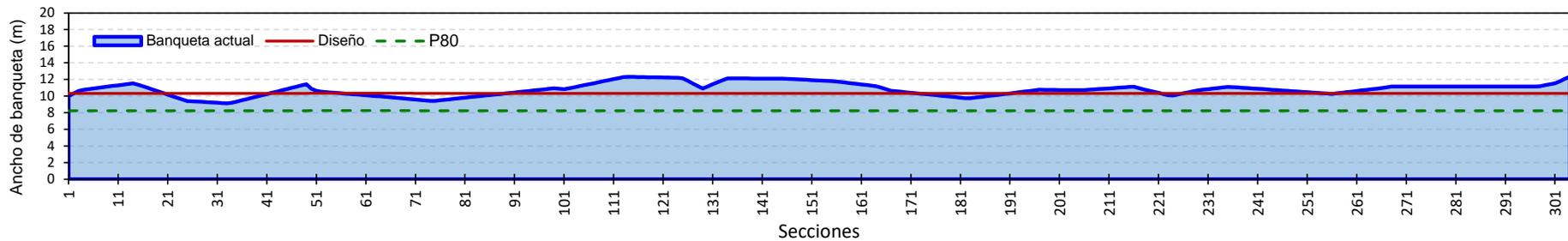


Figura 46. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4040.

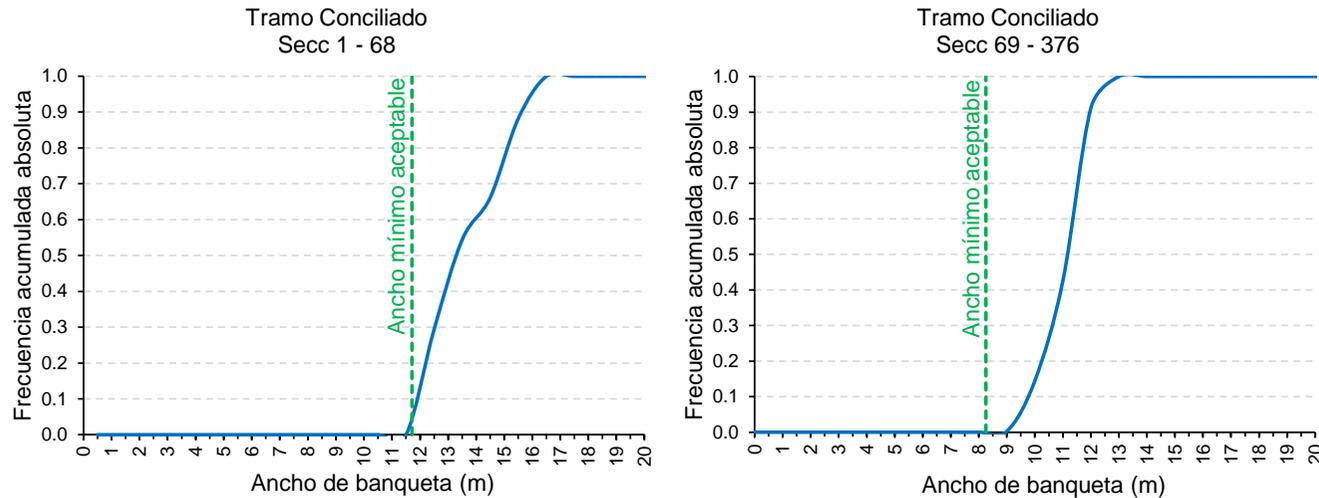


Figura 47. Gráfico de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4040.

#### 4.1.4.9. Nivel 4050

Para la conciliación de banqueta del nivel 4050, de la Pared Norte del Tajo Quecher Main, se evaluaron 356 secciones. Se dividió en 3 tramos por tener distintos anchos de diseño. Los cuadros de frecuencia acumulada de los 2 primeros tramos muestran que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable; mientras que en el tercer tramo el 99 % de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable

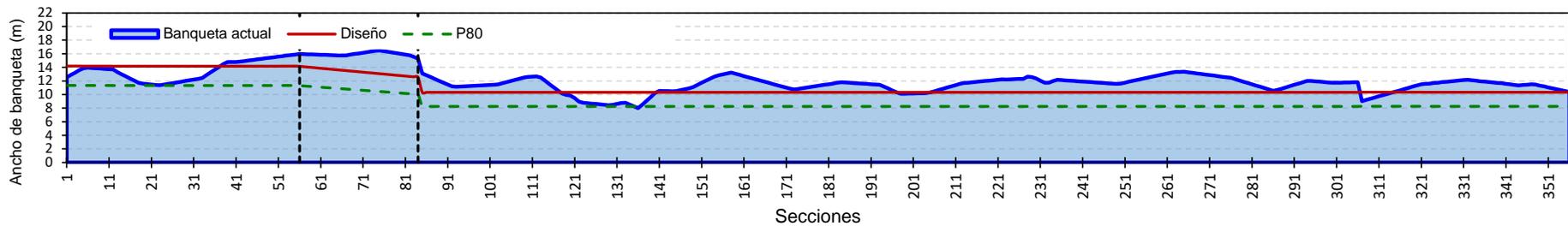


Figura 48. Gráfico de dispersión de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4050.

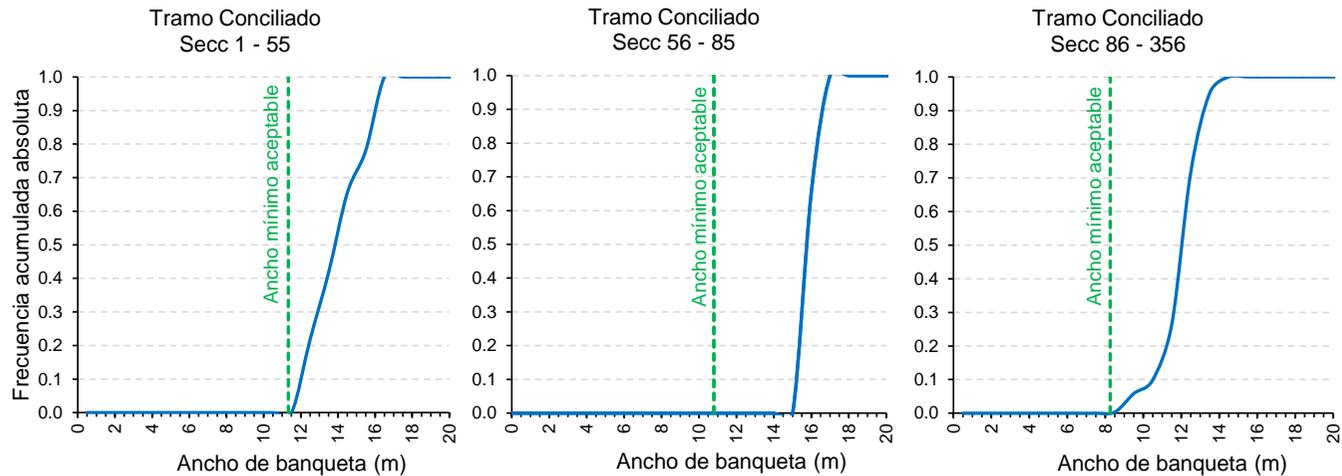


Figura 49. Gráficos de frecuencia acumulada de los anchos efectivos de banqueta en el nivel 4050.

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para dominios geotécnicos de baja resistencia como Sílice Alunita 2, Sílice Clay 2, Sílice Clay 3 y Propilítico corresponden parámetros de diseño geotécnico en bancos de 10 metros de altura (bancos simples); mientras que, para dominios de geotécnicos de mayor resistencia corresponden parámetros de diseño geotécnico en bancos de 20 metros de altura (bancos dobles).

Para evaluar objetivamente el desempeño de los bancos en el Tajo Quecher Main, se ha establecido calcular los anchos efectivos de banqueteta y compararlos con los anchos de diseño para determinar la relación de cumplimiento.

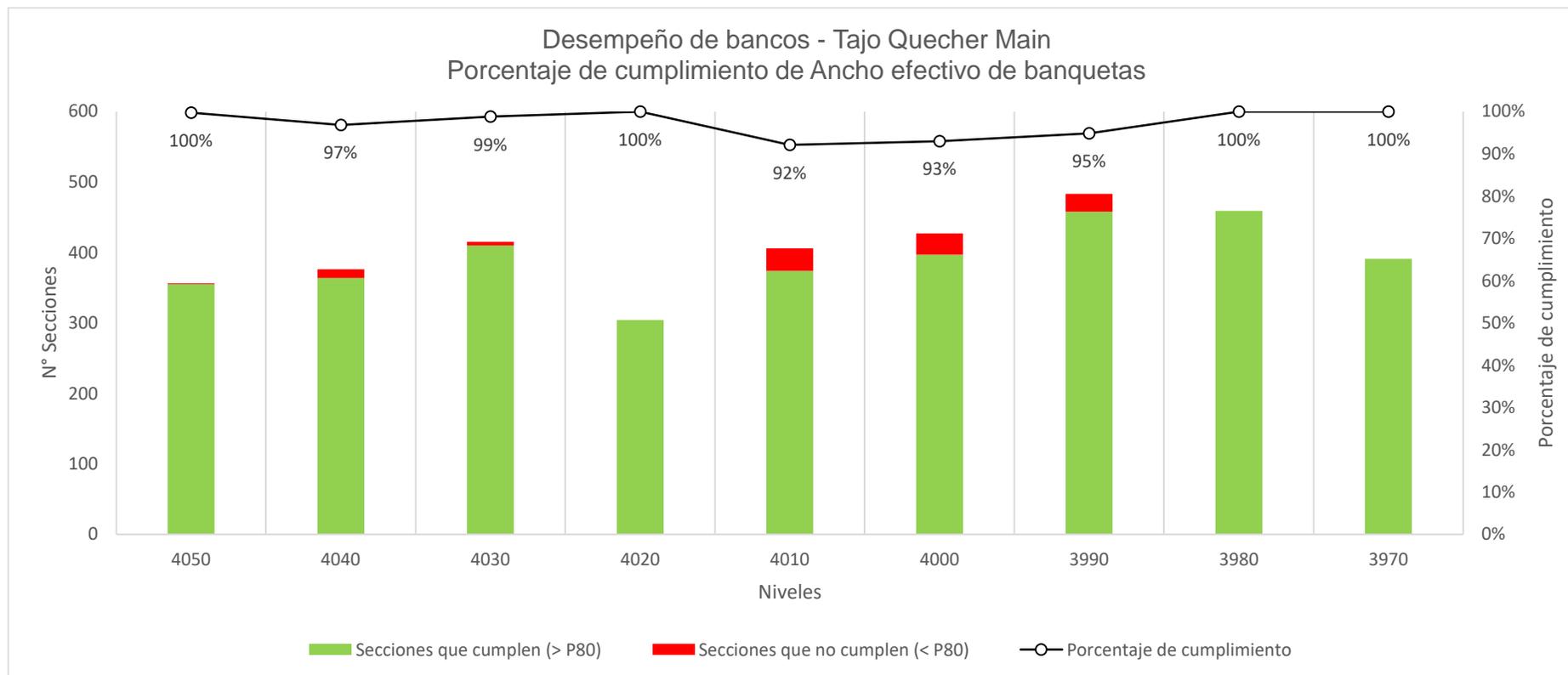
El criterio de cumplimiento para el ancho de banquetetas en la Pared Norte del Tajo Quecher se basa en la teoría propuesta por Read y Stacey (2009) basado en el volumen de material fallado que razonablemente se puede contener en el banco. En este caso, una banqueteta se considera aceptable, siempre y cuando la banqueteta efectiva tenga un ancho mayor al 80 % del ancho diseñado.

Los anchos efectivos de cada banqueteta han sido ploteados en gráficos de dispersión y en gráficos de distribución de frecuencias acumulada para determinar si estos se encuentran dentro de los criterios de cumplimiento aceptables.

**Cuadro 7.** Resumen de porcentajes de cumplimiento en ancho efectivo de banquetetas.

Tajo	Sector	Nivel	Total de Secciones evaluadas	Secciones que cumplen ( $> P_{80}$ )	Secciones que no cumplen ( $< P_{80}$ )	Porcentaje de cumplimiento
Quecher Main	Norte	4050	356	355	1	100%
		4040	375	363	12	97%
		4030	415	410	5	99%
		4020	304	304	0	100%
		4010	406	374	32	92%
		4000	427	397	30	93%
		3990	483	458	25	95%
		3980	459	459	0	100%
		3970	391	391	0	100%

En la Figura 41 podemos observar el desempeño de los bancos finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main en relación con el porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetetas a medida que se profundiza el minado de los bancos.



**Figura 50.** Desempeño de bancos. Porcentaje de cumplimiento de ancho efectivo de banquetas entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.

### **4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS**

Los resultados de la conciliación geotécnica demuestran que el menor porcentaje de cumplimiento de las secciones evaluadas entre los niveles 3970 y 4050 de los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main es del 92%.

Por tanto, se valida que más del 90% de secciones evaluadas para el cálculo de ancho efectivo de banqueta de los taludes finales entre los niveles 3970 y 4050 de la Pared Norte del Tajo Quecher Main superan el ancho mínimo aceptable (80% de ancho de diseño).

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

En la Pared Norte del Tajo Quecher Main predominan dominios geotécnicos de baja resistencia como Sílice Alunita 2, Sílice Clay 2 y Sílice Clay 3, con parámetros de diseño geotécnico correspondiente a bancos simples de 10 metros de altura, con ángulo de cara de banco de 55° y ángulos interrampa de 30°.

Se estableció que el requerimiento mínimo aceptable de ancho de banquetta efectiva es el 80% del ancho de diseño en base al criterio de cumplimiento propuesto por Read y Stacey (2009).

Se determinó que más del 90% de las secciones evaluadas entre los niveles 3970 y 4050 de los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main, tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

Los porcentajes de cumplimiento de ancho efectivo de banquetta han mejorado a medida que se profundizó el minado de los taludes finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

A la empresa MYSRL:

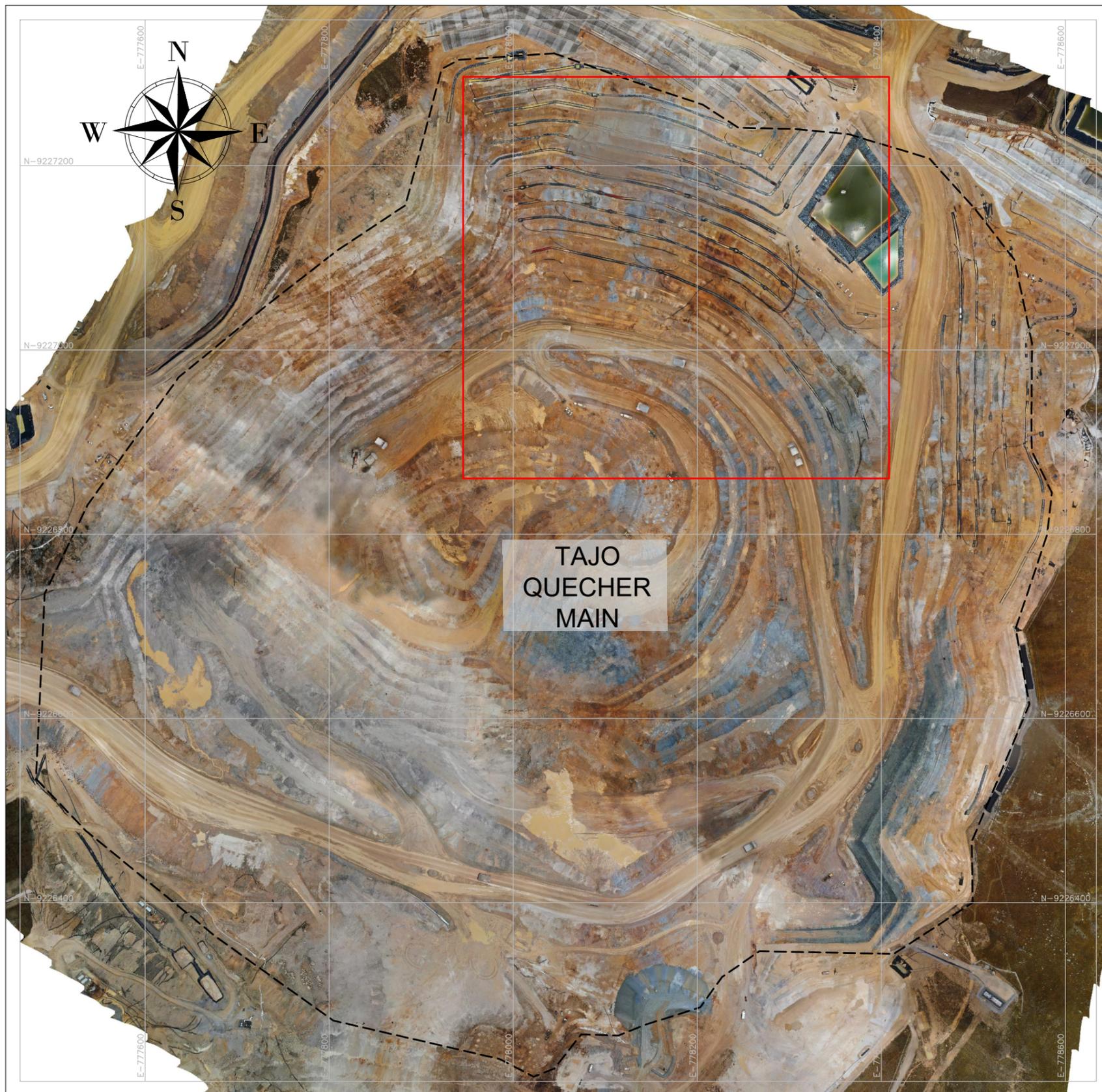
Realizar las conciliaciones de ancho efectivo de banquetta por proyecto de voladura para identificar mejoras en el proceso de perforación, voladura y perfilado de paredes de los bancos inferiores.

Continuar con el proceso de conciliaciones de ancho efectivo de banquetta para todos los taludes del Tajo Quecher Main que están llegando a su diseño final.

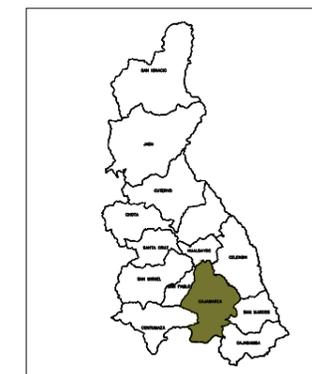
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology). 1976. Pit Slope Manual. Ottawa. Canadá. 75 p.
- De Graaf, P. y Wessels, S. 2016. A framework for managing geotechnical risk across multiple operations. The journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Cape Town Convention Centre, Cape Town. 52 p.
- Dixo, R.; Johnson, T.; Graaf, P.; Wessels, S.; Venter, J. 2011. Risk Based Geotechnical Slope Reconciliation at Rio Tinto Iron Ore Pilbara Operations. International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering. Vancouver, Canadá. 14 p.
- Google Maps. 2023. Consulta de ubicación (en línea, sitio web). Consultado el 27 de diciembre de 2022. Disponible en <https://www.google.com/maps/dir/>
- Guerreros, P. y Peralta, J. 2016. Quecher Main Project Geology Report Stage 3. Cajamarca, Perú. 38 p.
- Hustrulid, W.; Kuchta, M. y Martin, R. 2013. Open Pit Mine Planning and Design. Leiden. Países Bajos. CRC Press. 1027 p.
- Hormazabal, E.; Prudencio, M. y Cofre, M. 2019. Diseño y Desempeño de Taludes en Roca a Escala de Banco – Berma. Primer Congreso Boliviano de Mecánica de Rocas. Cochabamba, Bolivia. 88 p.
- DJI Enterprise. 2023. Catálogo digital (en línea, sitio web). Consultado el 13 de abril del 2023. Disponible en <https://enterprise.dji.com/matrice-300>
- Langford, J.; Corkum, B. y Curran, J. (2014). Preliminary selection of optimum bench face angle using uniformly distributed wedges. International Discrete Fracture Network Engineering Conference. Vancouver, Canadá. 28 p.
- MYSRL (Minera Yanacocha S.R.L.) 2023. Actualización de Modelo geotécnico del Tajo Quecher Main. Cajamarca, Perú. 23 p.

- Owusu-Bempah, G. 2020. Streamlining geotechnical slope reconciliation for open pits, a slope optimization and recommendation approach at Brockman 2 Operations in the Pilbara Region in Australia, Proceedings of 6th UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference, Tarkwa, Accra, Ghana. 26 p.
- Poma, J. 2012. Importancia de la Fragmentación de la Roca en el Proceso Gold Mill (Caso Minera Yanacocha). Tesis de Licenciatura. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 84 p.
- RAE (Real Academia de la Lengua Española). 2010. Ortografía de la lengua española. Madrid, España. 743 p.
- Read, J. y Stacey, P. 2009. Guidelines for Open Pit Slope Design. Queensland, Australia. CSIRO. 511 p.
- Sánchez, A. 2021. Metodología para el cálculo de parámetros geométricos de diseño en el control de la estabilidad de taludes aplicando Programación Visual Lisp y Visual Basic. Tesis. Arequipa, Perú. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. 159 p.
- Santamaría, J. y Sanz, T. 2011. Fundamentos de Fotogrametría. Universidad de la Rioja. Logroño, España. 70 p.
- Soncco, J. 2020. Conciliación geotécnica de taludes en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. Informe por Servicios Profesionales. Arequipa. Perú. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. 121 p.
- Suarez, J. 2010. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Santander, Colombia. Universidad de Santander. 582 p.
- WSP Perú Consultoría S.A. 2020. Estudio Climatológico para la Segunda Modificación del EIA Yanacocha – Estudio Climatológico. Lima, Perú. 465 p.



Ubicación departamental



Ubicación provincial



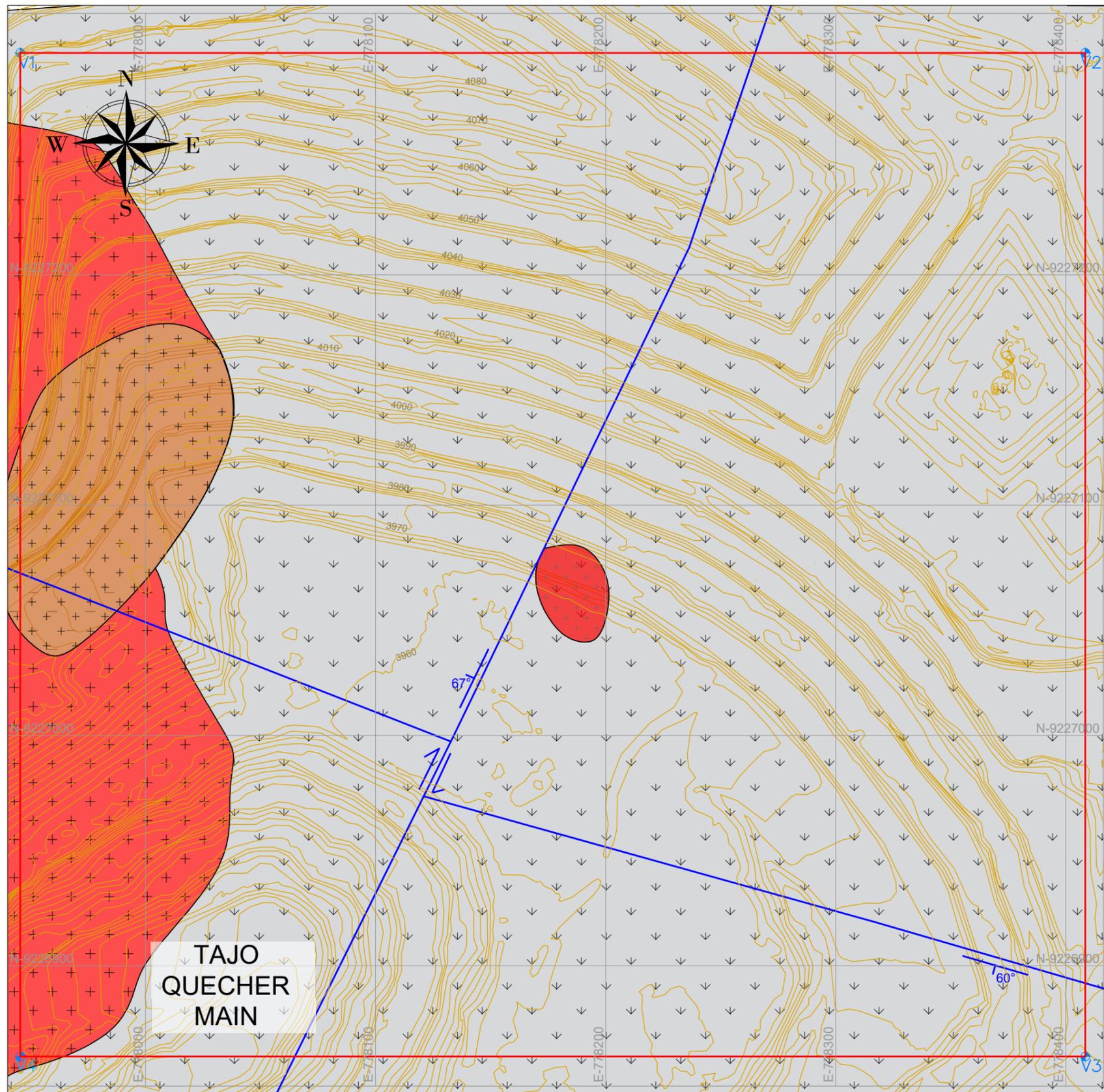
Ubicación distrital

**SIMBOLOGÍA**

-  Límite Tajo Quecher Main
-  Área de investigación



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.		
PLANO: UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO		
TESISTA: Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello		
ASESOR: M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana		
SISTEMA UTM: WGS - 84	ESCALA: 1:5000	FECHA: Abril, 2023
		P-01



### SIMBOLOGÍA

-  Curvas de nivel - Topografía actual
-  Área de investigación
-  Vértice
-  Fallas

### ESTRATIGRAFÍA

#### Rocas Volcánicas

-  Andesita Superior (Fm. Porculla)

#### Rocas Intrusivas

-  Brecha Hidrotermal (Intrusivo Dacítico)
-  Brecha Freática (Intrusivo Dacítico)

### Coordenadas de delimitación

Vértice	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS:  
Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.

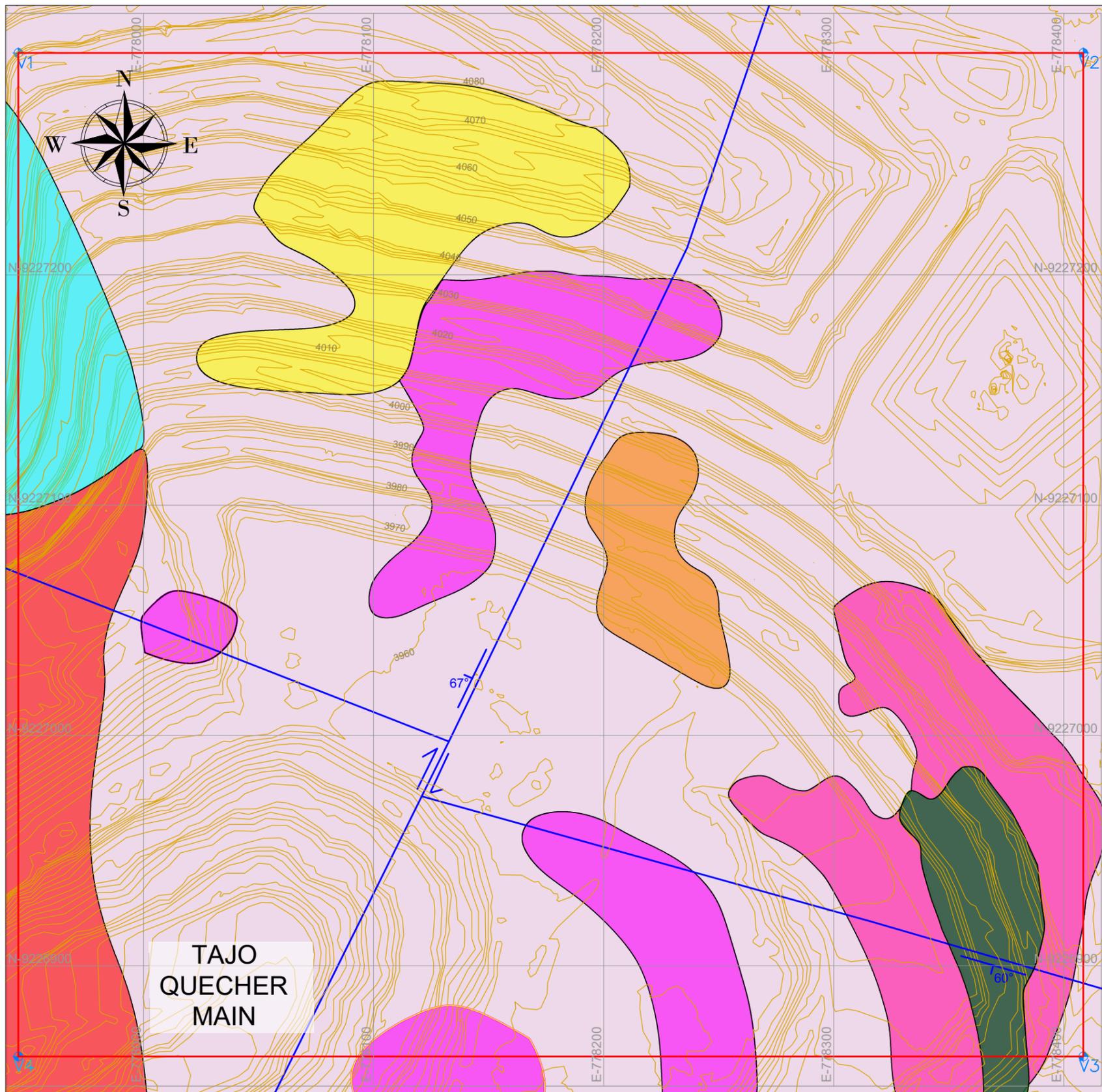
PLANO:  
GEOLOGÍA LOCAL

TESISTA:  
Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello

ASESOR:  
M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana

SISTEMA UTM: WGS - 84    ESCALA: 1:2000    FECHA: Abril, 2023

**P-02**



### SIMBOLOGÍA

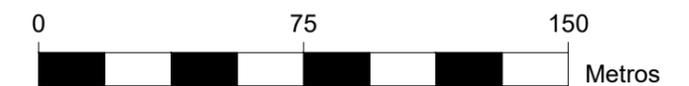
-  Curvas de nivel - Topografía actual
-  Área de investigación
-  Vértice
-  Fallas

### DOMINIOS GEOTÉCNICOS

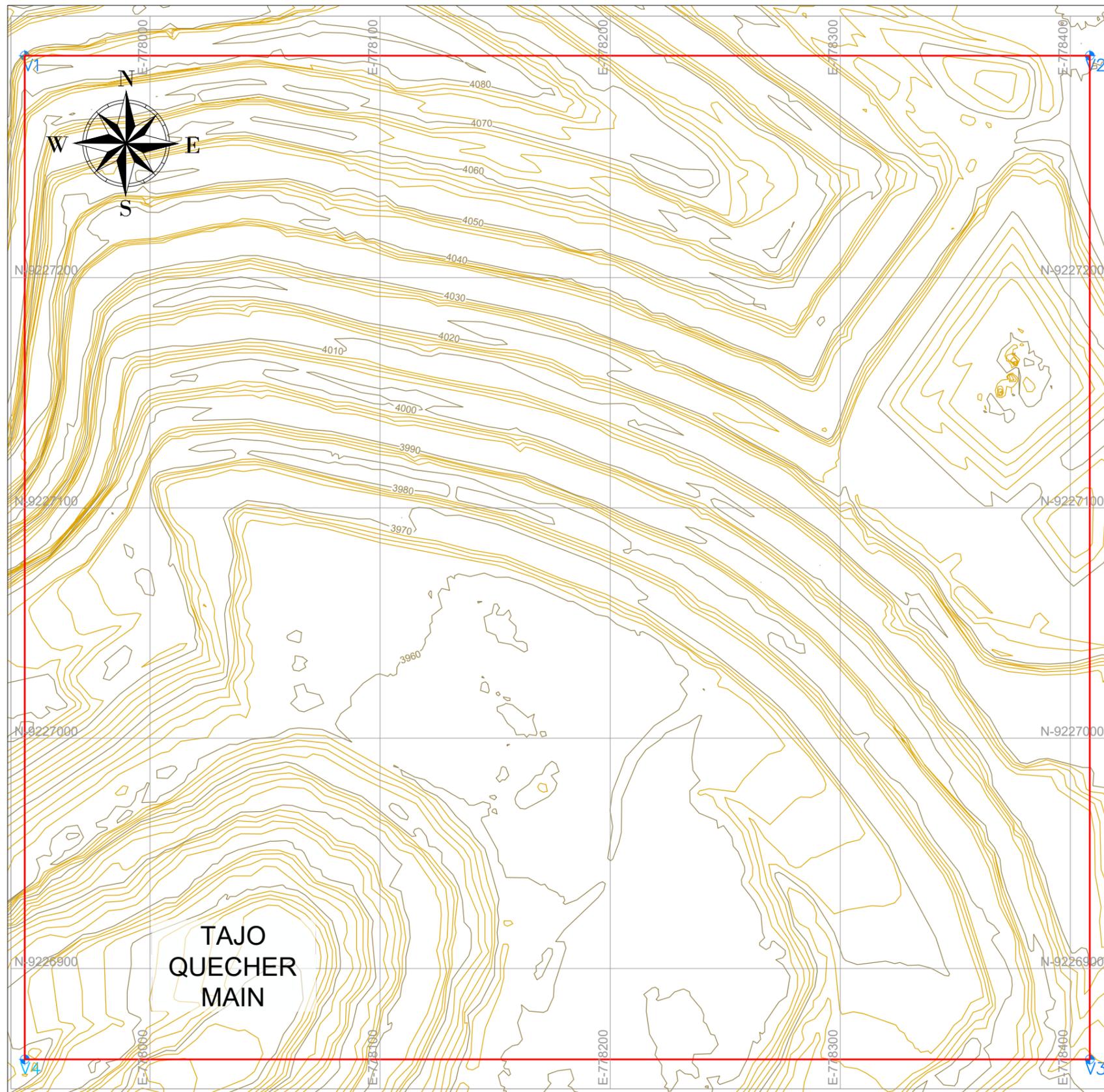
-  Sílice Alunita 1
-  Sílice Alunita 2
-  Sílice Clay 2
-  Sílice Clay 3
-  Sílice Granular 3
-  Sílice Masiva
-  Propilítico

### Coordenadas de delimitación

Vértice	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.		
PLANO: <b>DOMINIOS GEOTÉCNICOS</b>		
TESISTA: Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello		
ASESOR: M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana		<b>P-03</b>
SISTEMA UTM: WGS - 84	ESCALA: 1:2000	



### SIMBOLOGÍA

#### Curvas de nivel - Topografía actual

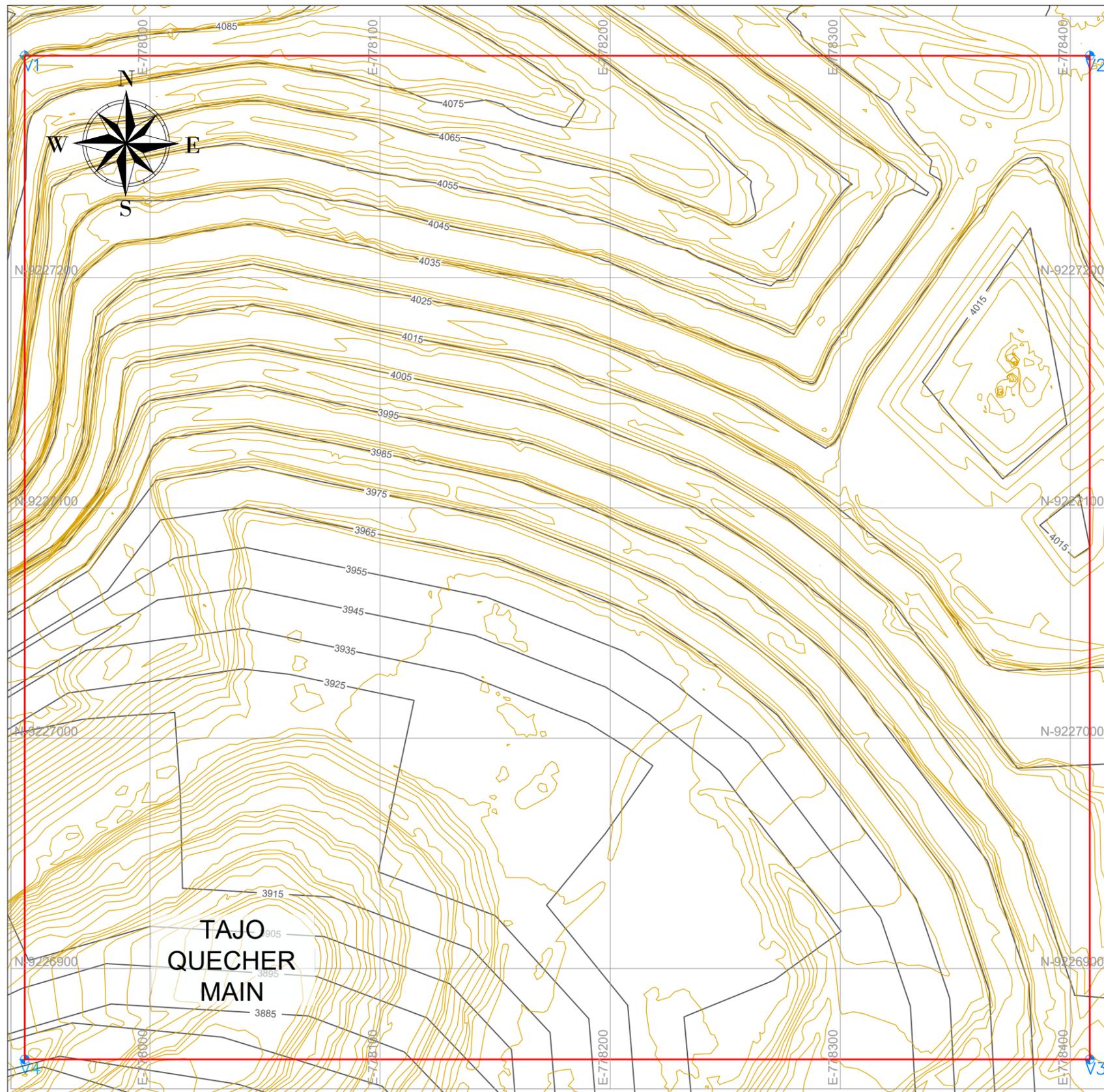
-  Menores (2 metros)
-  Mayores (10 metros)
-  Área de investigación
-  Vértice

### Coordenadas de delimitación

Vértice	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.		
PLANO: <b>MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES</b>		
TESISTA: <b>Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello</b>		
ASESOR: <b>M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana</b>		
SISTEMA UTM: <b>WGS - 84</b>	ESCALA: <b>1:2000</b>	FECHA: <b>Abril, 2023</b>
		<b>P-04</b>



### SIMBOLOGÍA

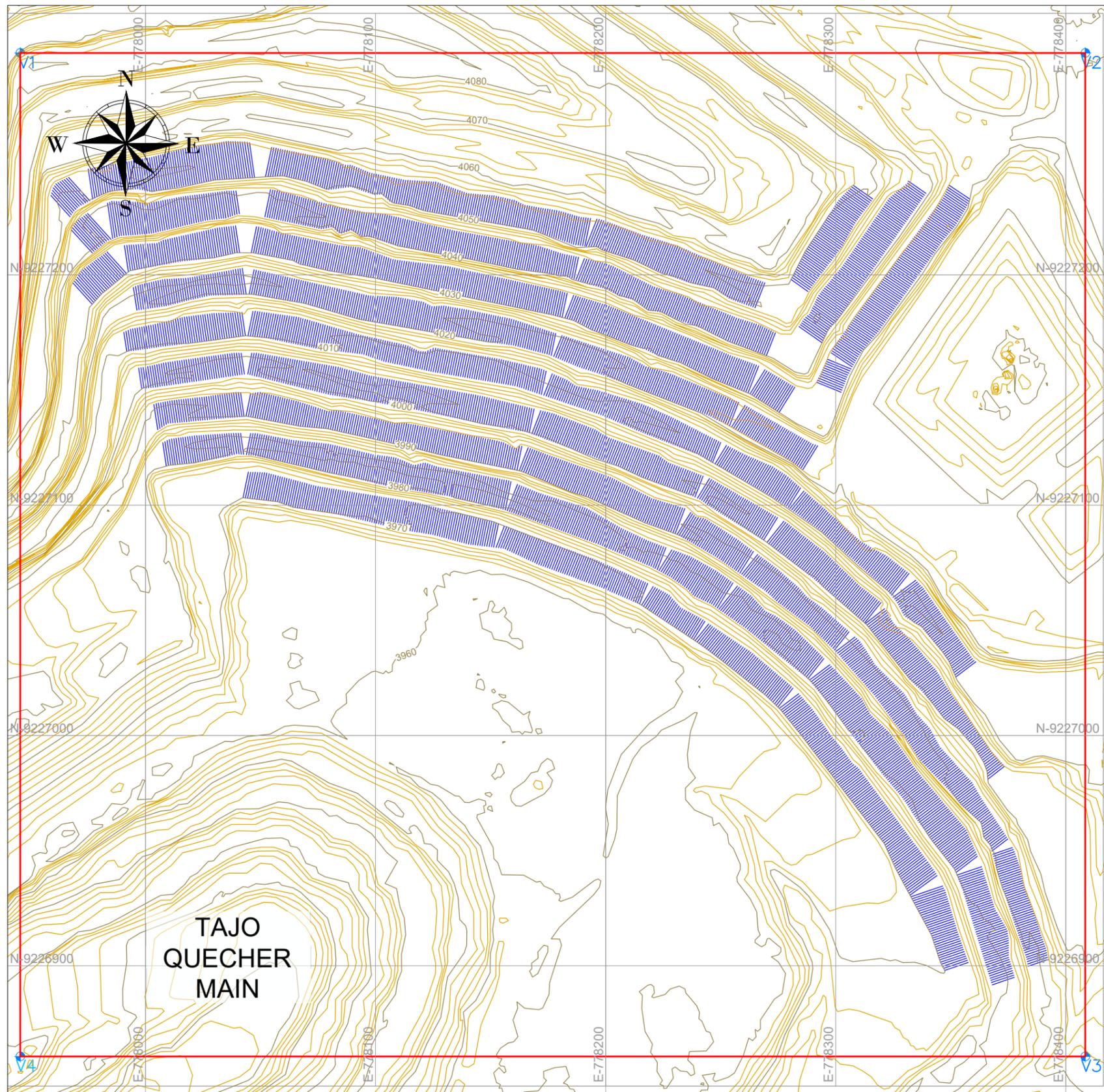
-  Curvas de nivel -Topografía actual (QM\_230214\_s2)
-  Diseño Final de Tajo Quecher Main (QM\_OC\_Desing\_s10)
-  Área de investigación
-  Vértice

### Coordenadas de delimitación

Vértice	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.		
PLANO: DISEÑO FINAL DEL TAJO QUECHER MAIN		
TESISTA: Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello		
ASESOR: M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana		
SISTEMA UTM: WGS - 84	ESCALA: 1:2000	FECHA: Abril, 2023
		P-05



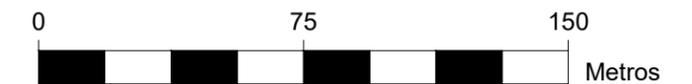
### SIMBOLOGÍA

#### Curvas de nivel - Topografía actual

-  Menores (2 metros)
-  Mayores (10 metros)
-  Área de investigación
-  Vértice
-  Secciones conciliadas

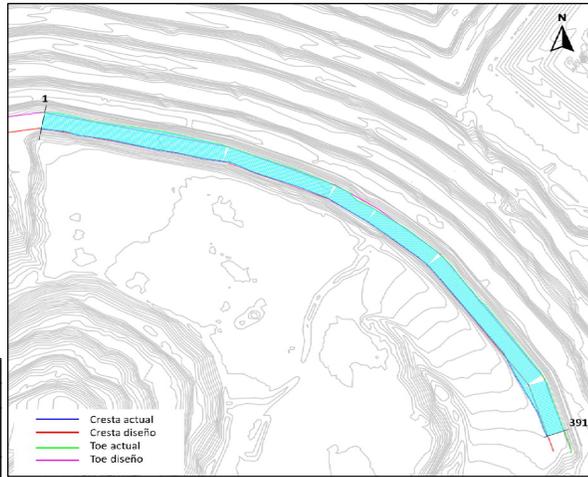
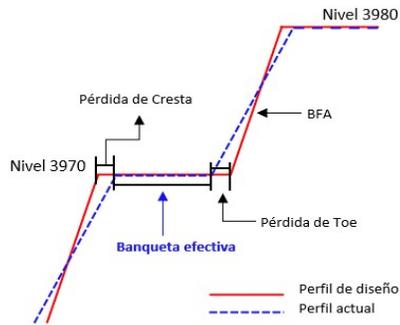
### Coordenadas de delimitación

Vértice	Este	Norte
1	777945.59	9227296.36
2	778408.46	9227296.36
3	778408.46	9226860.59
4	777945.59	9226860.59



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b> FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
TESIS: Evaluación Geotécnica para la Conciliación de Ancho Efectivo de Banquetas en los Taludes Finales de la Pared Norte del Tajo Quecher Main.		
PLANO: SECCIONES DE ANCHO DE BANQUETA CONCILIADAS		
TESISISTA: Bach. Deysi Jackeline Gutiérrez Tello		
ASESOR: M. Cs. Ing. Roberto Gonzáles Yana		
SISTEMA UTM: WGS - 84	ESCALA: 1:2000	FECHA: Abril, 2023
		P-06

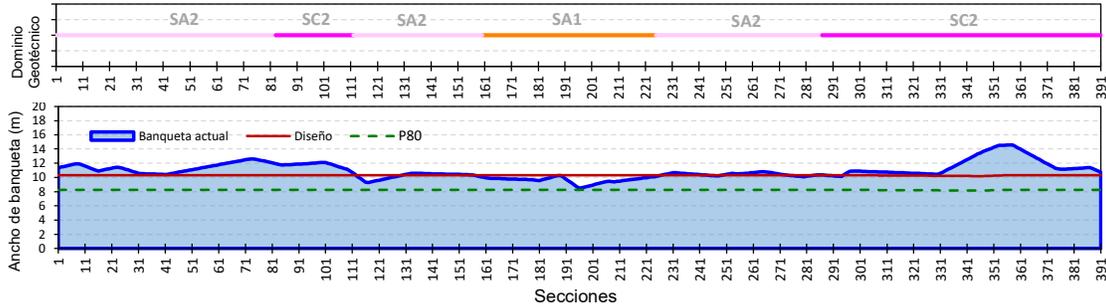
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	3970
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



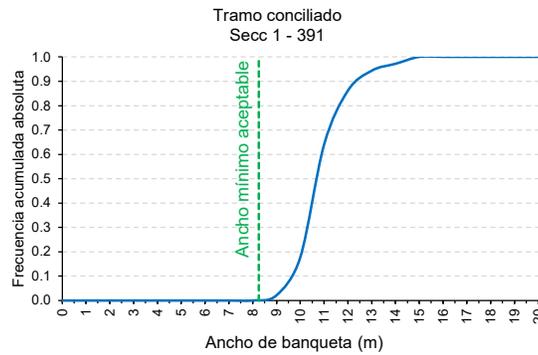
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banqueta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

#### Gráficos de dispersión



#### Gráficos de Frecuencia Acumulada

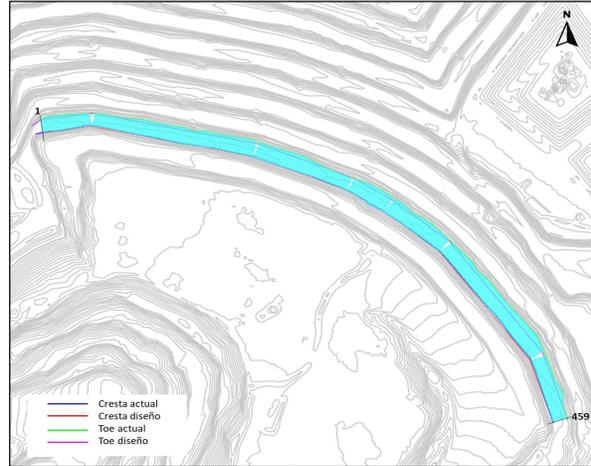
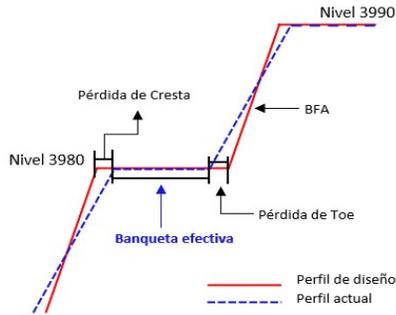


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	391	391	391	0	100%

#### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banqueta del nivel 3970, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 391 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

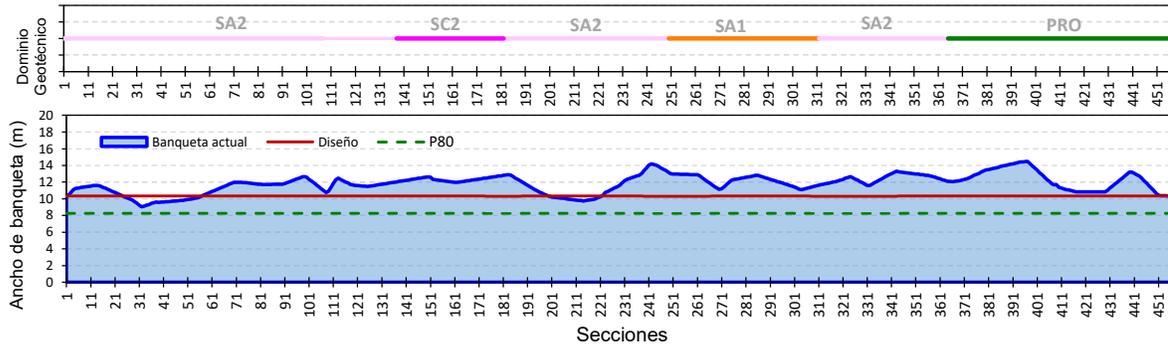
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	3980
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



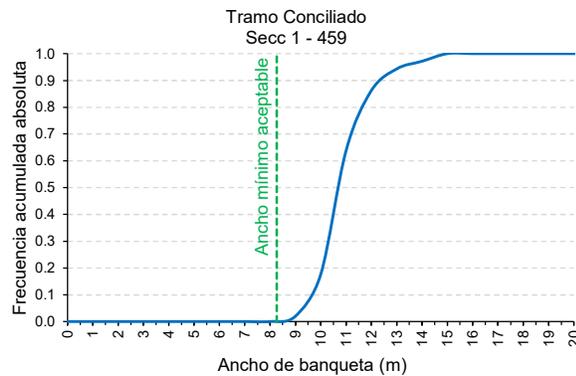
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banqueta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

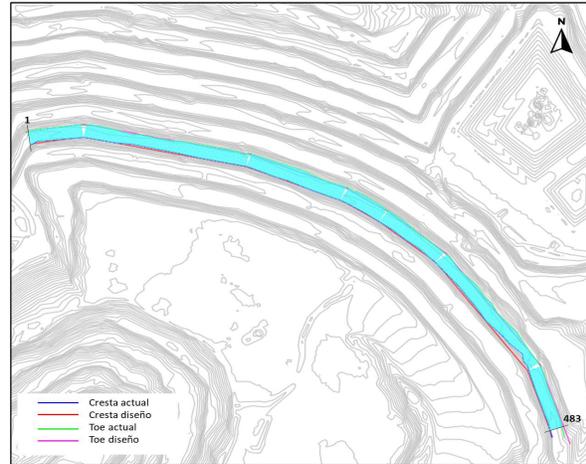
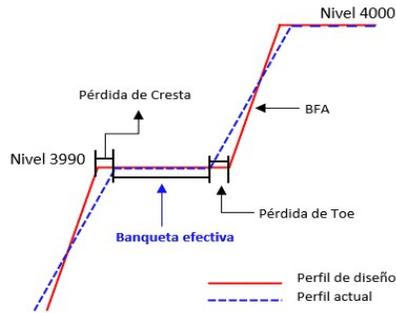


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	459	459	459	0	100%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banqueta del nivel 3980, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 459 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

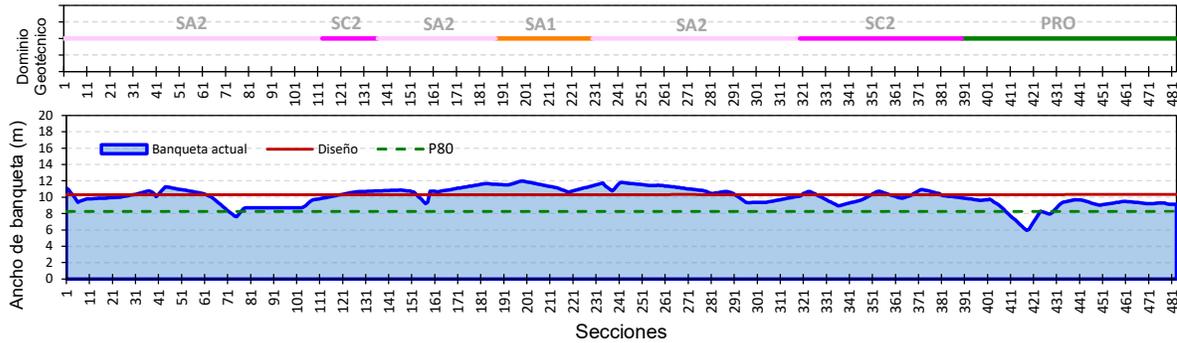
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	3990
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



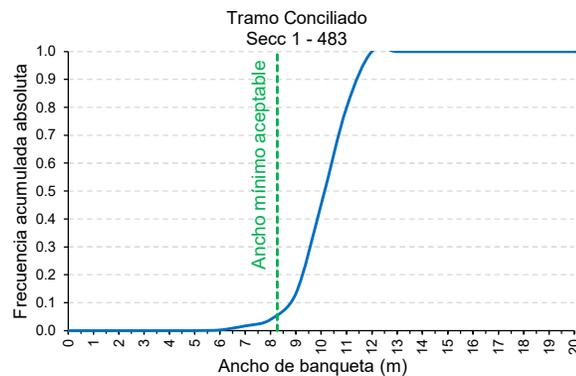
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banqueteta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

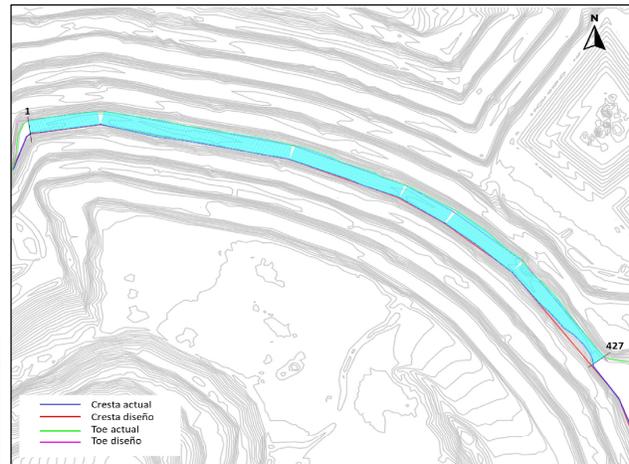
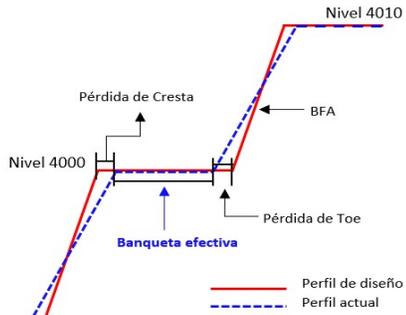


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	483	483	458	25	95%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banqueteta del nivel 3990, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 483 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 95% las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

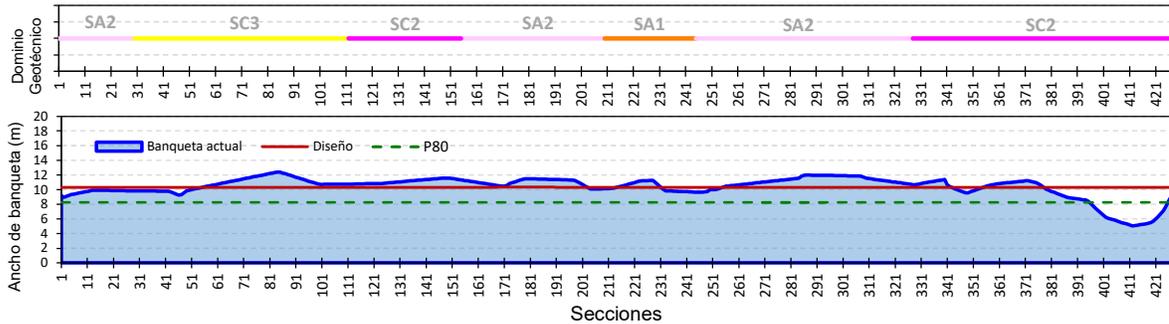
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4000
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



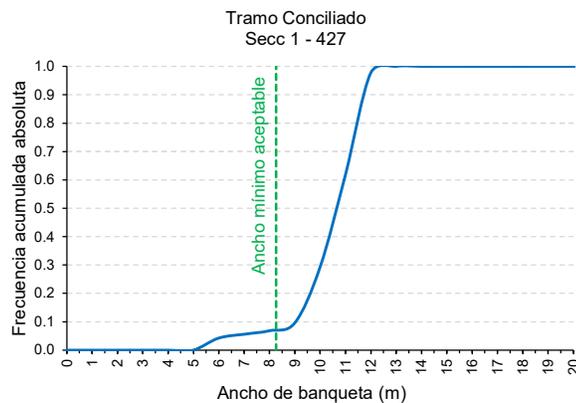
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banquetta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

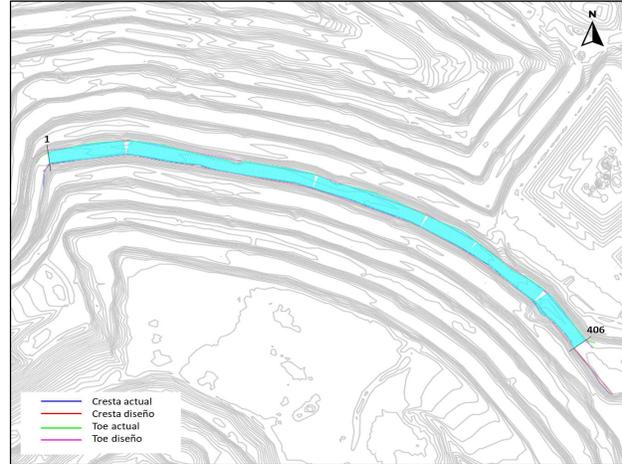
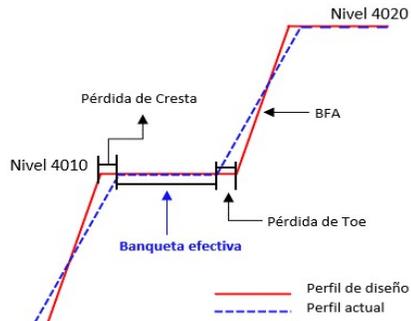


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	427	427	397	30	93%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banquetta del nivel 4000, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 427 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 93% de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

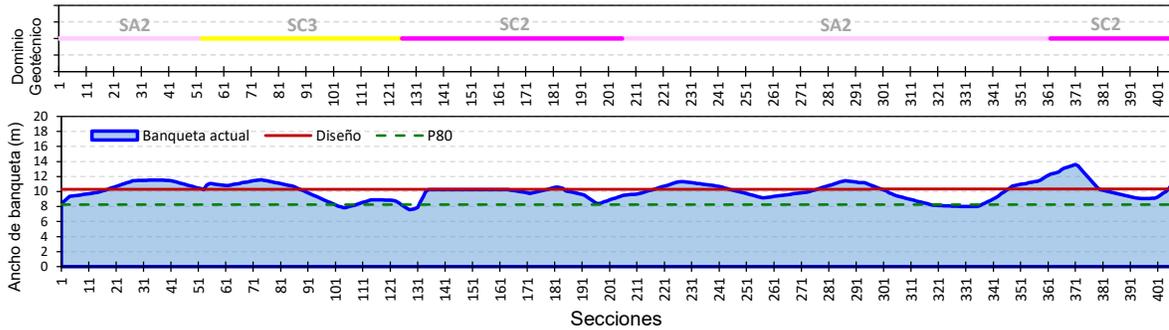
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4010
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



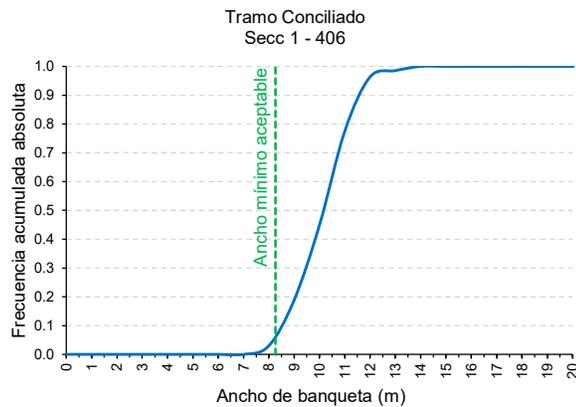
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banqueteta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

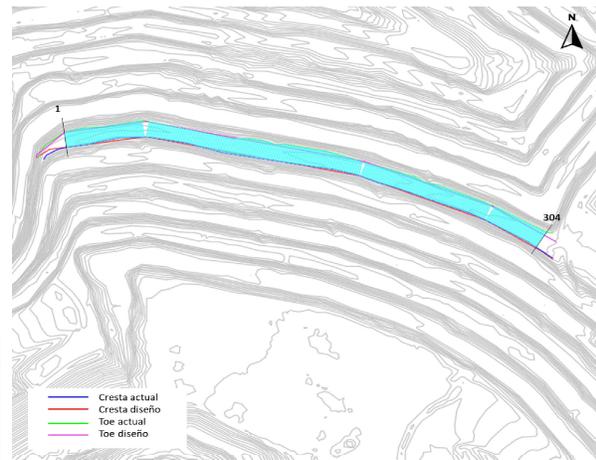
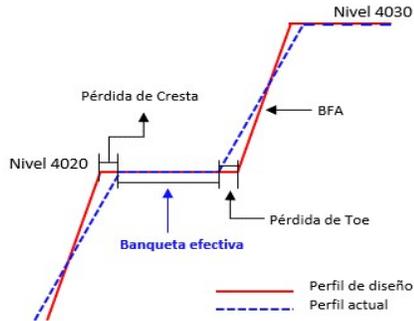


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	406	406	374	32	92%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banqueteta del nivel 4010, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 406 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que el 92% de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

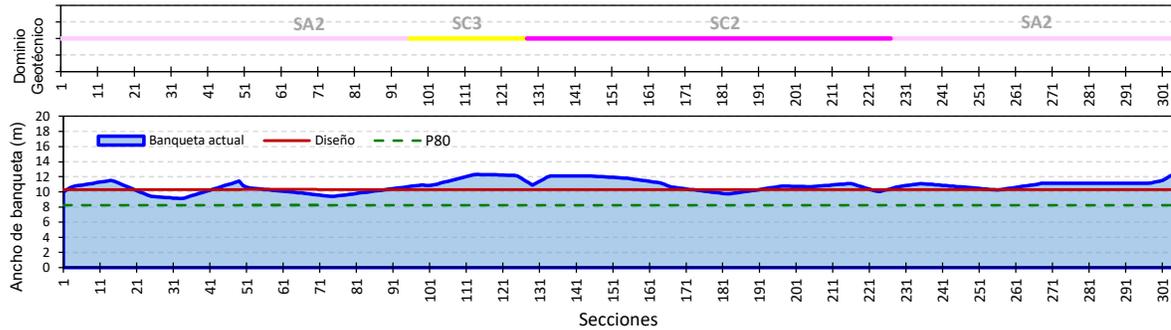
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4020
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



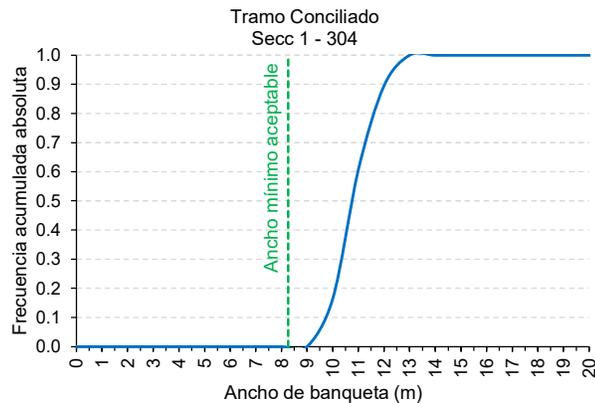
Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banqueta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

Vista en planta del tramo conciliado

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

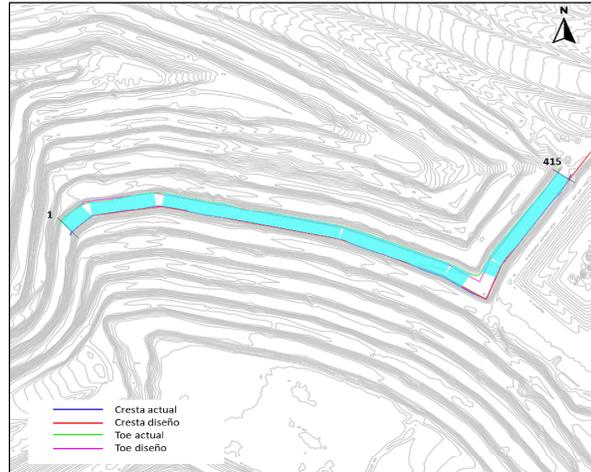
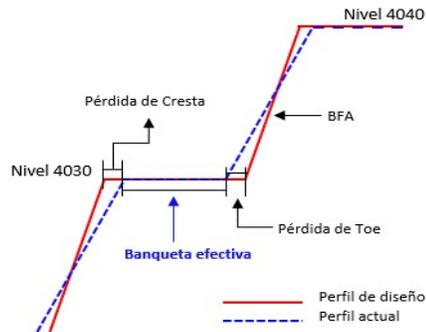


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	304	304	304	0	100%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banqueta del nivel 4020, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 304 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

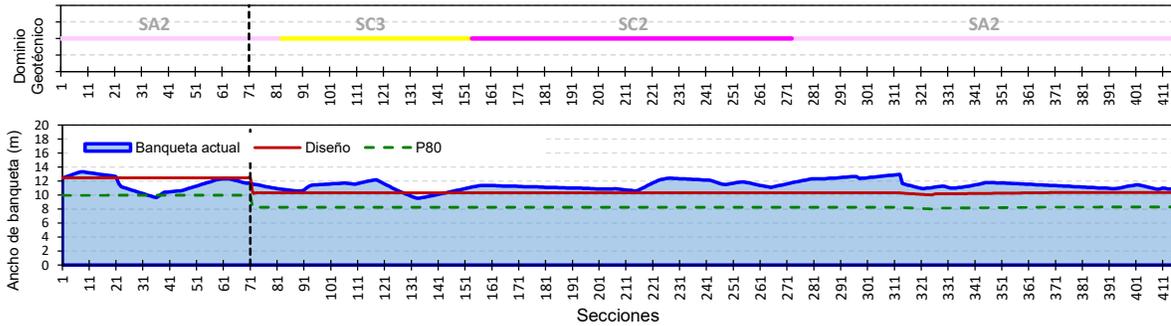
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4030
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



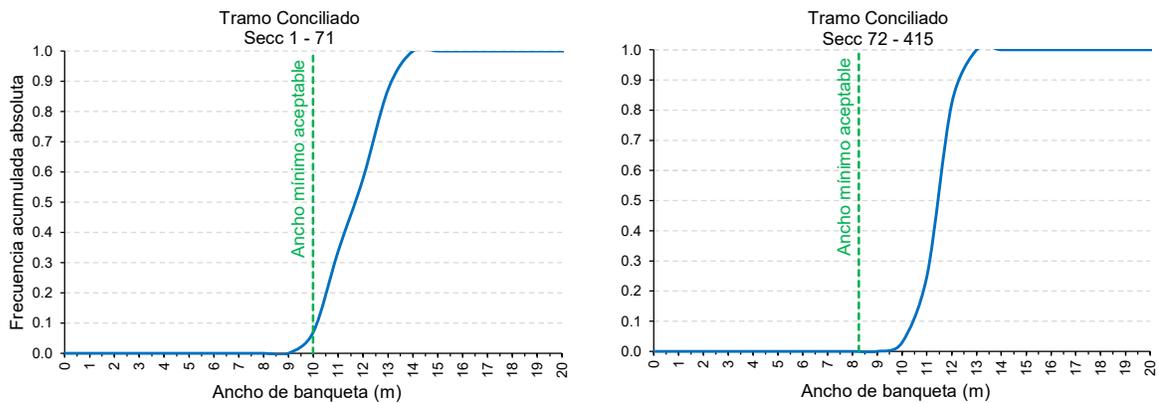
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banquetta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de Frecuencia Acumulada

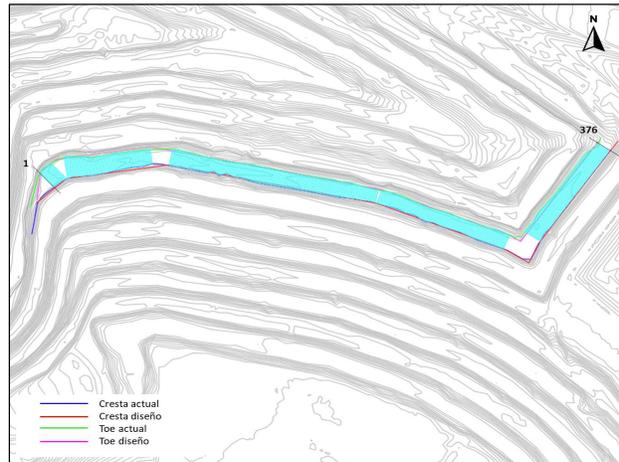
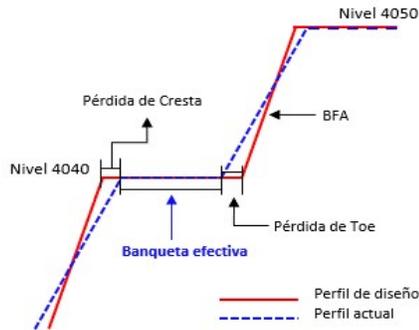


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	71	71	66	5	93%
2	72	415	344	344	0	100%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Se realizó la conciliación la banquetta del nivel 4030, sector Norte, del Tajo Quecher Main, se evaluaron 415 secciones. El cuadro de frecuencia acumulada muestra que todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

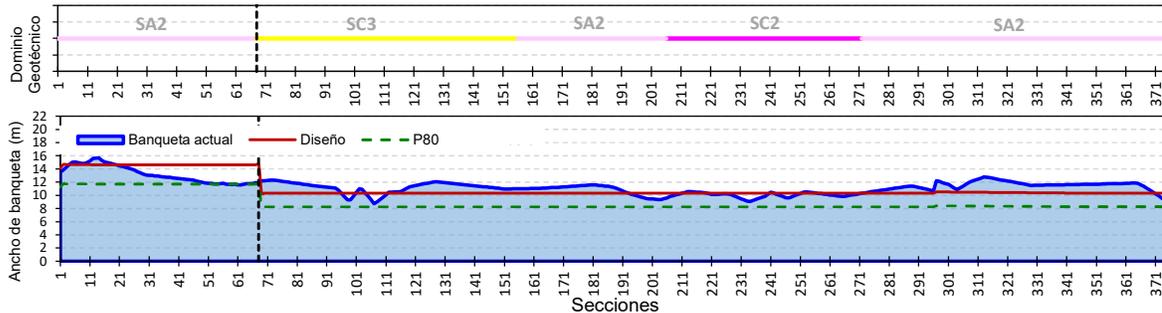
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4040
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



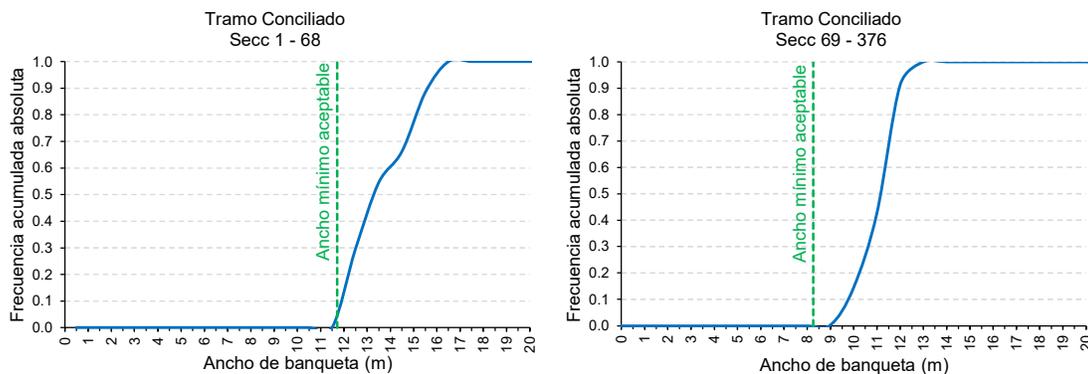
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banquetta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

Gráficos de dispersión



Gráficos de Frecuencia Acumulada

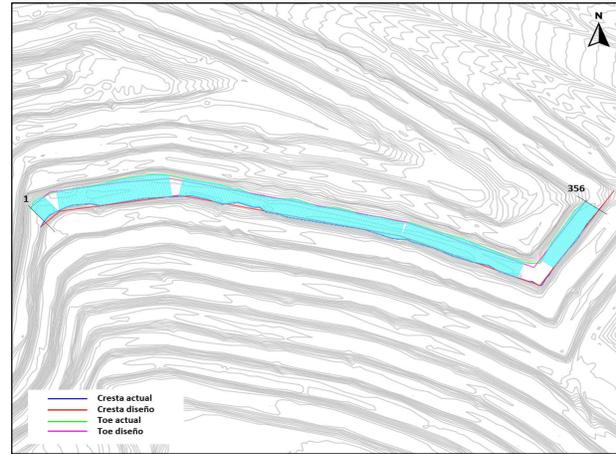
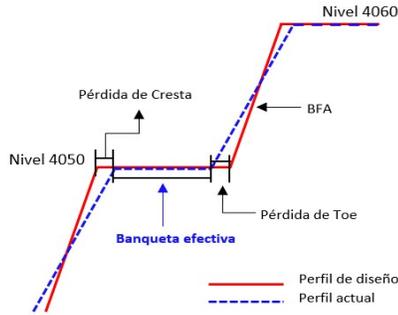


Resumen de cumplimiento						
Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	68	68	64	4	94%
2	69	376	308	308	0	100%

**CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES**

\* Los cuadros de frecuencia acumulada por cada tramo muestran que el 94% de las secciones en el primer tramo tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable, mientras que en el segundo tramo todas las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

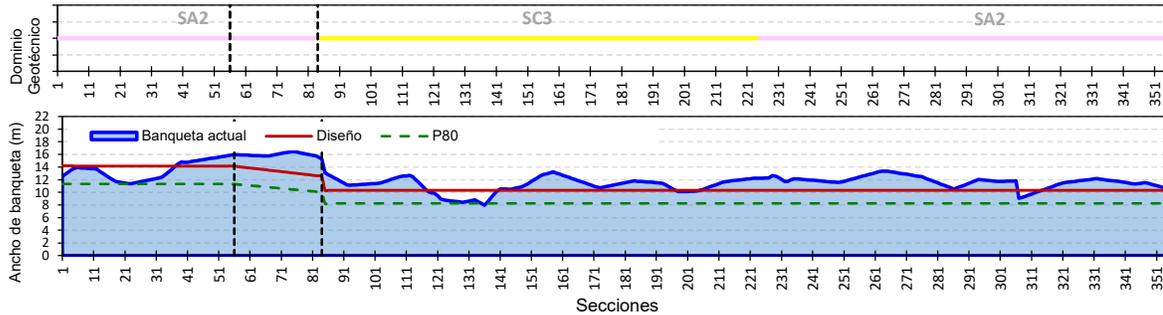
Tajo	Quecher Main	<b>REPORTE DE CONCILIACIÓN</b> <b>Ancho Efectivo de Banqueta</b>	Nivel	4050
Sector	Norte		Fecha	29/04/2023



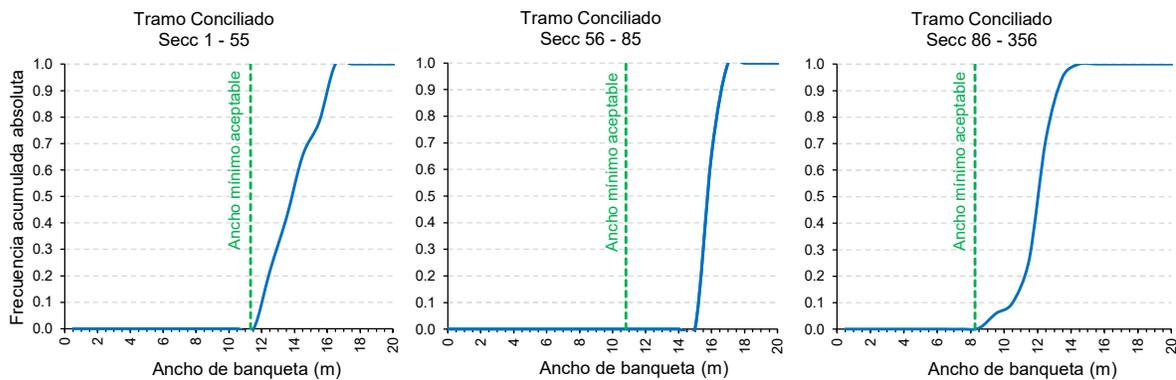
Vista en planta del tramo conciliado

Criterios de cumplimiento		
Ancho efectivo de banquetta		
Secciones que no cumplen	< 80% del diseño	<b>No Aceptable</b>
Secciones que cumplen	> 80% del diseño	<b>Aceptable</b>

### Gráficos de dispersión



### Gráficos de frecuencia acumulada



### Resumen de cumplimiento

Tramo	Secciones		Secciones evaluadas	Secciones que cumplen	Secciones que no cumplen	Porcentaje de cumplimiento
	Desde	Hasta				
1	1	55	55	55	0	100%
2	56	85	30	30	0	100%
3	86	356	271	270	1	99.6%

### CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

\* Los cuadros de frecuencia acumulada por cada tramo muestran que en todas las secciones en el primer y segundo tramo tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable, mientras que en el tercer tramo el 99.6 % de las secciones tienen un ancho efectivo mayor al ancho mínimo aceptable.

**S&ER-I-Nro 349 - 2022**

**Cajamarca, 15 de noviembre del 2022**

**Ing. Alejandro C. Lagos Manrique**  
**Director de la E. A. P de Ingeniería Geológica**  
**Universidad Nacional de Cajamarca**  
**Presente.-**

De nuestra consideración:

Sirva la presente para saludarlo y manifestarle nuestro agradecimiento a nombre de Newmont Yanacocha por habernos considerado como una opción para el desarrollo y crecimiento profesional de sus estudiantes.

Asimismo, confirmamos que nuestra representada ha decidido aceptar el desarrollo del tema de tesis titulada: **“Evaluación Geotécnica para la conciliación de ancho efectivo de banquetas en los taludes finales de la pared norte del tajo Quecher Main”**, que investigará la Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica de la Universidad Nacional de Cajamarca:

- Deysi Jackeline Gutiérrez Tello identificada con D.N.I. N° 71776807

La información brindada para la elaboración de la tesis debe ser considerada estrictamente para fines académicos, debiéndose guardar la reserva correspondiente, excepto durante y sólo para el acto público de sustentación. Adjunto formato de confidencialidad para la firma respectiva del estudiante.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle mis sentimientos de especial consideración y estima.

Atentamente,



**Nahil Hirsh**  
GERENTE SENIOR  
POLÍTICAS PÚBLICAS  
ASUNTOS GUBERNAMENTALES  
Av. La Paz 1049, Oficina 401  
Miraflores, Lima 18  
Peru  
M (51)- 997 521 916  
[NAHIL.HIRSH@NEWMONT.COM](mailto:NAHIL.HIRSH@NEWMONT.COM)