

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS RMR DE BIENIAWSKI (1989) Y SMR DE  
ROMANA (1985) PARA CLASIFICAR UN TALUD DE ROCAS DE LA  
FORMACIÓN HUAYLILLAS EN EL KM. 1297 DE LA CARRETERA  
PANAMERICANA SUR EN LA CIUDAD DE TACNA**

TESIS

Presentada por:

**Bach. WAGNER LEONCIO OCHOA GUTIERREZ**

Para optar el título profesional de

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

TACNA - PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
Faculta de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

## HOJA DE JURADO

TESIS

"ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS RMR DE BIENIAWSKI (1989) Y SMR DE ROMANA (1985) PARA CLASIFICAR UN TALUD DE ROCAS DE LA FORMACIÓN HUAYLILLAS EN EL KM.1297 DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR EN LA CIUDAD DE TACNA"

Presentado por el bachiller Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez  
Para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo-Geotécnico

Tesis sustentada y aprobada el 17 de julio del 2023 (RE N°433-23-FIAG/UNJBG)  
con el siguiente jurado:

Presidente

  
: \_\_\_\_\_  
MSc. Ing. CONRADO GABINO BEDOYA JAÉN

Miembro – Secretario

  
: \_\_\_\_\_  
Mgr. Ing. FREDY CLETO CABRERA OLIVERA

Miembro

  
: \_\_\_\_\_  
Ing. JONATHAN FARAZ DAWIS ZAVALA CURASI

Asesor de Tesis

  
: \_\_\_\_\_  
M.Sc. Ing. GINA MACKLINA CHAMBI TAPAHUASCO

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Gina Macklina Chambi Tapahuasco, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 133-2020-FIAG/UNJBG, y ampliación de plazo con Resolución de Facultad N° 428-2021-FIAG/UNJBG, de la tesis titulado: "ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS RMR DE BIENIAWSKI (1989) Y SMR DE ROMANA (1985) PARA CLASIFICAR UN TALUD DE ROCAS DE LA FORMACIÓN HUAYLILLAS EN EL KM. 1297 DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR EN LA CIUDAD DE TACNA", presentado por la Bach. WAGNER LEONCIO OCHOA GUTIERREZ, para optar el título de Ingeniero Geólogo – Geotécnico.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Antiplagio TURNITIN, cuenta con el Nivel de similitud permitido, cuyo porcentaje es de 9 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis titulado: "ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS RMR DE BIENIAWSKI (1989) Y SMR DE ROMANA (1985) PARA CLASIFICAR UN TALUD DE ROCAS DE LA FORMACIÓN HUAYLILLAS EN EL KM. 1297 DE LA CARRETERA PANAMERICANA SUR EN LA CIUDAD DE TACNA", está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los tramites respectivos para su obtención del título profesional.

Atentamente,



---

M.Sc. Gina M. CHAMBI TAPAHUASCO  
Docente Adscrito a la ESGE

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi esposa Zeze y a mi hijo Derek, por el apoyo y afecto que siempre y de manera incondicional me han brindado cada día desde que formamos una familia.

También se lo dedico a mis padres y mis hermanos por la confianza brindada.

## **AGRADECIMIENTO**

A dios por brindarme todo lo necesario para forjar mi futuro.

Al M.Sc. Pio Coila, por su apoyo moral aun fuera de la universidad.

A mi asesora de tesis, M.Sc. Gina Chambi, que me supo guiar desde el inicio en el proceso de entendimiento y desarrollo de la presente tesis.

Al Dr. André Steenken, por el enorme conocimiento aportado en la manera de ver las ciencias de la tierra.

Y finalmente a mi amigo Dr. Miguel Rodríguez, por aportar en mi formación profesional, los más sólidos conocimientos en geotecnia.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>v</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xix</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>21</b>
<b>ASPECTOS GENERALES .....</b>	<b>21</b>
1.1 GENERALIDADES.....	21
1.1.1 Ubicación del área de estudio .....	22
1.1.2 Accesibilidad al área de estudio .....	24
1.2 CARACTERÍSTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS.....	24
1.2.1 Temperatura.....	25
1.2.2 Humedad relativa .....	30
1.2.3 Viento .....	32

1.2.4	Precipitación.....	33
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	36
1.3.1	Formulación del problema .....	38
1.3.2	Problema específico .....	38
1.4	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
1.4.1	Hipótesis General .....	38
1.4.2	Hipótesis Específica .....	38
1.5	OBJETIVOS.....	39
1.5.1	Objetivo General.....	39
1.5.2	Objetivos Específicos .....	39
1.6	JUSTIFICACIÓN.....	40
1.7	ALCANCES Y LIMITACIONES.....	41
	<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>42</b>
	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>42</b>
2.1	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS.....	42
2.2	SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA .....	46
2.2.1	Índice Rock Quality Designation (RQD) .....	47

2.2.2	Índice Rock Mass Rating (RMR) .....	51
2.2.3	Índice Rock Mass Strength (SMR) .....	57
2.3	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
	<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>62</b>
	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>62</b>
3.1	ETAPA PRELIMINAR .....	62
3.2	TRABAJO DE CAMPO A NIVEL LOCAL .....	62
3.3	TRABAJO DE GABINETE .....	64
	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>65</b>
	<b>MARCO GEOLÓGICO GEOMORFOLÓGICO .....</b>	<b>65</b>
4.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	65
4.2	GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	67
4.2.1	Geomorfología regional .....	67
4.2.2	Geomorfología local .....	68
4.3	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	69
4.3.1	Geología Regional .....	69
4.3.2	Geología local .....	72

4.3.3	Geología estructural de la zona de estudio .....	73
	<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>74</b>
	<b>MAPEO GEOMECÁNICO .....</b>	<b>74</b>
5.1	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA.....	74
5.2	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA .....	91
5.2.1	Grado de fracturamiento.....	92
5.2.2	Clasificación geomecánica (Bieniawski 1989).....	92
5.2.3	Clasificación geomecánica (Romana 1985) .....	93
	<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>104</b>
	<b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>104</b>
6.1	EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	104
6.1.1	Resultados del cálculo de los índices RMR 1989 y SMR 1985	104
6.1.2	Evaluación de cada sector.....	107
6.2	ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE UN MACIZO ROCOSO POR LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES .....	110
	<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>112</b>
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>

7.1 CONCLUSIONES .....	112
7.2 RECOMENDACIONES.....	115
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>122</b>
Anexo A.....	123
Anexo B.....	141
Anexo C.....	150
Anexo D.....	153
Anexo E.....	154

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ubicación de estaciones geomecánicas.....	24
<b>Tabla 2.</b> Temperatura Máxima media (°C) .....	26
<b>Tabla 3.</b> Temperatura Mínima media (°C) .....	26
<b>Tabla 4.</b> Temperatura Máxima Media (°C) .....	28
<b>Tabla 5.</b> Temperatura Mínima Media (°C) .....	28
<b>Tabla 6.</b> Humedad Relativa media (%).....	30
<b>Tabla 7.</b> Humedad Relativa media (%).....	31
<b>Tabla 8.</b> Precipitación total mensual (mm) .....	34
<b>Tabla 9.</b> Precipitación total mensual (mm) .....	35
<b>Tabla 10.</b> Grado de fracturamiento según ISMR 1978 .....	51
<b>Tabla 11.</b> Resistencia de la roca inalterada.....	53
<b>Tabla 12.</b> Índice de calidad de la roca según Deere.....	53
<b>Tabla 13.</b> Espaciamiento de discontinuidades .....	54
<b>Tabla 14.</b> Condición de discontinuidades .....	55
<b>Tabla 15.</b> Condición de agua.....	56
<b>Tabla 16.</b> Ajuste por orientación de estructuras .....	56
<b>Tabla 17.</b> Valoración total RMR 1989.....	57
<b>Tabla 18.</b> Clases de estabilidad según el SMR .....	59

<b>Tabla 19.</b> Sectores geotécnicos evaluados .....	75
<b>Tabla 20.</b> Grado de fracturamiento del macizo.....	92
<b>Tabla 21.</b> Clasificación RMR .....	93
<b>Tabla 22.</b> Clasificación del índice SMR .....	103
<b>Tabla 23.</b> Tabla comparativa de resultados.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio.....	23
<b>Figura 2.</b> Histograma de Frecuencia de la Temperatura Máxima Media (°C) .....	27
<b>Figura 3.</b> Histograma de Frecuencia de la Temperatura Mínima Media (°C) .....	27
<b>Figura 4.</b> Histograma de Frecuencia de la Temperatura Máxima Media (°C) .....	29
<b>Figura 5.</b> Histograma de Frecuencia de la Temperatura Mínima Media (°C) .....	29
<b>Figura 6.</b> Histograma de Frecuencia de la Humedad Relativa Media (%)	31
<b>Figura 7.</b> Histograma de Frecuencia de la Humedad Relativa Media (%)	32
<b>Figura 8.</b> Histograma de Frecuencia de la Precipitación Media (mm).....	34
<b>Figura 9.</b> Histograma de Frecuencia de la Precipitación Media (mm).....	36
<b>Figura 10.</b> Calibración del equipo topográfico .....	66
<b>Figura 11.</b> Formación Moquegua superior y Formación Huaylillas .....	70
<b>Figura 12.</b> Vista del contacto litológico en el sector 1 .....	76
<b>Figura 13.</b> Vista del talud en el sector 2 .....	78
<b>Figura 14.</b> Vista del talud en el sector 3 .....	80

<b>Figura 15.</b> Vista del talud en el sector 4 .....	82
<b>Figura 16.</b> Vista del talud en el sector 5 .....	84
<b>Figura 17.</b> Vista de talud en el sector 6 .....	86
<b>Figura 18.</b> Vista del talud en el sector 7 .....	87
<b>Figura 19.</b> Vista de talud en el sector 8 .....	89
<b>Figura 20.</b> Vista de talud en el sector 8 .....	90
<b>Figura 21.</b> Estereofalsilla del sector 1 .....	94
<b>Figura 22.</b> Estereofalsilla del sector 2 .....	95
<b>Figura 23.</b> Estereofalsilla del sector 3 .....	96
<b>Figura 24.</b> Estereofalsilla del sector 4 .....	97
<b>Figura 25.</b> Estereofalsilla del sector 5 .....	98
<b>Figura 26.</b> Estereofalsilla del sector 6 .....	99
<b>Figura 27.</b> Estereofalsilla del sector 7 .....	100
<b>Figura 28.</b> Estereofalsilla del sector 8 .....	101
<b>Figura 29.</b> Estereofalsilla del sector 9 .....	102
<b>Figura 30.</b> Comparación de resultados SMR y RMR .....	106

## **ANEXOS**

### **ANEXO A:**

#### **Data base del mapeo geotécnico realizado**

- Proyección estereográfica de las estructuras mapeadas en cada estación.
- Concentraciones de polos.
- Curvas de isovalores.
- Diagrama de rosas.

### **ANEXO B:**

#### **Formatos de mapeo de estructuras**

- Formato de mapeo de estructuras del Sector 1.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 2.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 3.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 4.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 5.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 6.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 7.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 8.
- Formato de mapeo de estructuras del Sector 9.

## **ANEXO C:**

### **Representación de láminas**

- Lámina 1: Estaciones geomecánicas EG1, EG2 y EG3. Valoración RMR 1989 (Básico y ajustado).
- Lámina 2: Estaciones geomecánicas EG4, EG5 y EG6. Valoración RMR 1989 (Básico y ajustado).
- Lámina 3: Estaciones geomecánicas EG7, EG8 y EG9. Valoración RMR 1989 (Básico y ajustado).

## **ANEXO D:**

- Representación del cálculo del SMR 1985 para las estaciones geomecánicas.

## **ANEXO E:**

### **Planos**

- T-1 Plano Topográfico
- GE-1 Plano Geológico regional
- GE-2 Plano Geológico local
- GM-1 Plano Geomorfológico local
- E-1 Plano de Estructuras
- GT-1 Plano de Clasificación geotécnica.

## RESUMEN

La presente tesis ha sido realizada con el fin de comparar y evaluar dos tipos de metodologías de caracterización geomecánica, la propuesta por Richard Bieniawski catalogada como RMR (Rock Mass Rating), actualizada al año 1989 y la propuesta por Manuel Romana catalogada como SMR (Slope Mass Rating), desarrollada en 1985. Ambos métodos son utilizados en la industria minera y civil. Las metodologías de clasificación se diferencian básicamente en la calificación que se brinda a la interacción de las orientaciones de discontinuidades respecto al talud, resultando necesario cuestionarse cual caracterización representa mejor al comportamiento del macizo rocoso. A fin de alcanzar el objetivo del presente estudio se ha realizado la caracterización geomecánica de nueve (09) sectores (estaciones geomecánicas) de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna, específicamente desde las progresivas km 1296+665 hasta el km 1297+590, donde afloran rocas de la formación Huaylillas y ocurren cambios de dirección de buzamiento de los taludes, lo cual determinará la afectación de discontinuidades respecto a la orientación del talud.

Finalmente se ha logrado realizar la clasificación geomecánica por los dos métodos previamente mencionados, dando como resultado un macizo rocoso de calidad regular a buena, según el criterio de clasificación de Bieniawski y del mismo modo con el criterio de clasificación de Romana. En este sentido ambos índices representan correctamente a las condiciones estables del talud, por lo tanto, para un macizo con características semejantes, ambas caracterizaciones son recomendables. Así mismo es necesario indicar que los taludes no tienen un control estructural definido o estratificación preferente.

## **ABSTRACT**

This thesis has been developed in order to compare and evaluate two types of geomechanical characterization methodologies, the one proposed by Richard Bieniawski cataloged as RMR (Rock Mass Rating), updated to 1989 and the one proposed by Manuel Romana, SMR (Slope Mass Rating), developed in 1985. Both methods are used in the mining and civil industries. The classification methodologies differ basically in the qualification given to the interaction of discontinuity orientations with respect to the slope, making it necessary to question which characterization best represents the behavior of the rock mass. For this case, the development of this study has carried out the geomechanical characterization of nine (09) sectors (geomechanical stations) of Carretera Panamericana Sur in the city of Tacna, specifically from the km. 1296 + 665 to km 1297 + 590, where rocks outcrop of the Huaylillas formation and changes in slope dip direction occur, which will determine the affectation of discontinuities with respect to slope orientation.

Finally, the geomechanical classification has been achieved by the two previous methods, resulting in a rock mass of fair to good quality, according

to Bieniawski's classification criteria and in the same way with Romana's classification criteria. In this sense, both indices correctly represent the stable conditions of the slope, Therefore, for a massif with similar characteristics, both characterizations are recommended. Likewise, it is necessary to indicate that the slopes do not have a defined structural control or preferential stratification.

## **CAPÍTULO I**

### **ASPECTOS GENERALES**

#### **1.1 GENERALIDADES**

Los índices de caracterización geomecánica aplicados a macizos rocosos, son metodologías altamente difundidas que ayudan al especialista en geotecnia a obtener valoraciones numéricas que, a su vez se correlacionan con el grado de calidad y/o resistencia del macizo rocoso. Siendo este un paso muy importante y a veces el único a nivel preliminar, para determinar si el macizo puede soportar ser alterado por acción del hombre.

En las áreas circundantes al valle de Tacna afloran rocas de la formación Huaylillas, compuestas de tobas ignimbríticas producto de actividad volcánica que ha ocurrido en el periodo plioceno inferior a medio. Las zonas mencionadas han sido estudiadas geológicamente y a nivel regional por Wilson (1962) y otros investigadores. Las rocas de la formación Huaylillas afloran cercanos al corte de la carretera Panamericana Sur, por cuanto y a efectos de la presente tesis se ha visto conveniente utilizar los afloramientos en un sector específico para evaluar sobre el mismo

escenario, la variación de la calificación que sucede cuando se realiza una caracterización geomecánica por distintos métodos.

Localmente, en la zona de estudio se han reconocido las cuatro (04) unidades geológicas que afloran en las zonas circundantes a la ciudad de Tacna:

- a) Rocas volcánicas de composición Ignimbrita, característicos de la formación Huaylillas con orígenes en el periodo del Mioceno inferior.
- b) Rocas tipo conglomerado típicos de la Unidad Magollo o Millo del periodo Plioceno superior.
- c) Rocas sedimentarias de la formación Moquegua superior.
- d) Depósitos eólicos que son reconocidos del periodo Cuaternario reciente.

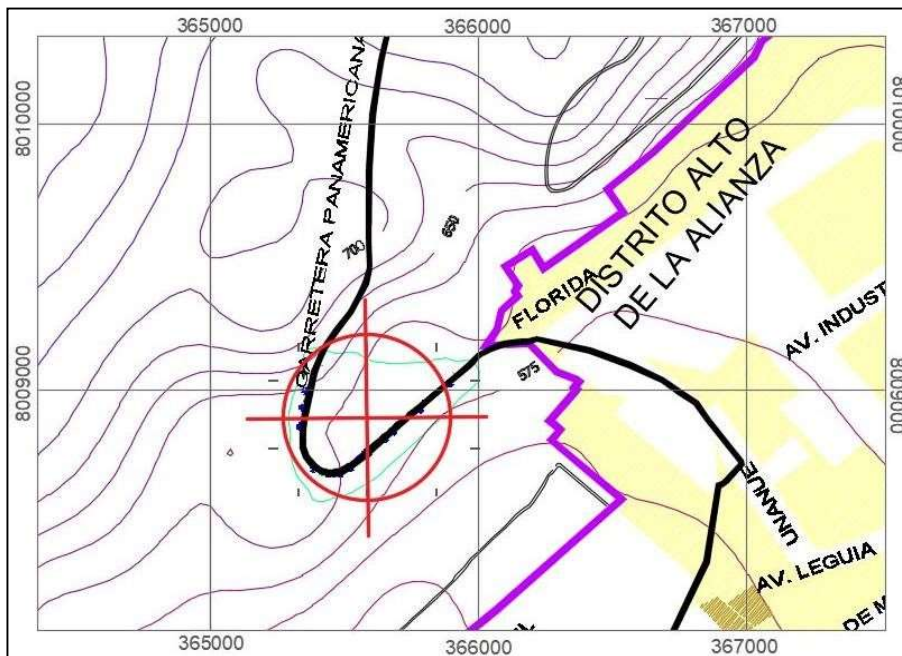
### **1.1.1 Ubicación del área de estudio**

El área utilizada para la realización del presente estudio, se ubica al noroeste de la ciudad de Tacna, abarca un tramo del flanco sur del cerro Intiorko en el corte de la vía carretera Panamericana Sur, km 1296+665

hasta 1297+590. En la Figura 1, se muestra un esquema de la ubicación del área de estudio, de igual manera en el Plano T-1 del anexo E.

**Figura 1.**

*Ubicación del área de estudio*



En la Tabla 1 se muestra la ubicación de las estaciones geotécnicas evaluadas en coordenadas UTM Datum WGS 84.

**Tabla 1***Ubicación de estaciones geomecánicas*

Estación	Inicio			Final		
	Este	Norte	Elevación (msnm.)	Este	Norte	Elevación (msnm.)
EG1	365365	8008999	700	365348	8008930	696
EG2	365348	8008930	696	365341	8008860	692
EG3	365391	8008708	684	365448	8008689	681
EG4	365448	8008689	681	365479	8008693	679
EG5	365479	8008693	679	365515	8008712	677
EG6	365581	8008766	674	365644	8008823	671
EG7	365644	8008823	671	365675	8008849	668
EG8	365675	8008849	668	365775	8008931	661
EG9	365775	8008931	661	365889	8009029	653

### 1.1.2 Accesibilidad al área de estudio

La accesibilidad al área de estudio ha sido mediante la autopista asfaltada de la vía Panamericana Sur y se encuentra a 10 minutos del Centro Cívico de la ciudad de Tacna.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS HIDROMETEOROLÓGICAS

Según González (2004), los procesos de que definen la meteorización de las rocas están normalmente controlados por ciertas condiciones climáticas y sus condicionales que pueden ser: Variación de temperatura, humedad, precipitaciones, vientos, etc., que pueden determinar la intensidad de las transformaciones fisicoquímicas que afectan al terreno.

Según Coila (2019), los aspectos hidrometeorológicos referidos a temperatura máxima y mínima, humedad relativa máxima, mínima y media; dirección y velocidad del viento y precipitación total mensual, inciden ligera y negativamente sobre las unidades geológicas circundantes a la ciudad de Tacna. La región de Tacna presenta características del clima de la cabecera del desierto de Atacama (Desértico – Árido - Sub tropical), con alta variación térmica entre día y la noche con escasa precipitación.

Se ha adquirido información de SENAMHI Tacna “Estación Jorge Basadre” y “Estación Calana”, para un periodo de 4 años (2018 - 2021); referente a temperaturas máximas y mínimas; humedad relativa y precipitación máxima mensual.

### **1.2.1 Temperatura**

La temperatura obedece a diversos factores, entre ellos la inclinación de los rayos solares, el tipo de terreno, fuerza del viento, la dirección, etc. La temperatura que impacta en las rocas de la formación Huaylillas en la ciudad de Tacna, provoca un efecto de termoclastia ya que los cambios de temperatura son por lo general mayores a 10 grados entre el día y la noche, alcanzando temperatura promedio máximas de 23,64°C, mínimas 13,94°C y media de 18,79°C (SENAMHI, 2022).

A continuación, se presenta la Tabla 2 y Tabla 3 con la temperatura máxima media y mínima media respectivamente de la ciudad de Tacna, obtenida de la estación meteorológica Jorge Basadre.

**Tabla 2**

*Temperatura Máxima media (°C)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2018	28,24	29,46	27,38	25,32	22,7	19,93	19,25	19,75	21,83	23,49	25,73	26,89	24,16
2019	27,88	29,11	27,41	24,74	21,88	19,95	18,37	19,91	20,54	22,36	24,88	26,84	23,66
2020	28,18	28,71	28,2	15,41	12,88	11,65	19,49	19,87	20,8	22,95	24,49	26,3	24,33
2021	27,44	27,74	27,14	S/D	S/D	S/D	18,68	18,95	19,34	21,92	23,74	25,32	22,95
Promedio	27,94	28,76	27,53	24,63	22,24	19,68	18,95	19,62	20,63	22,68	24,71	26,34	23,64

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

**Tabla 3**

*Temperatura Mínima media (°C)*

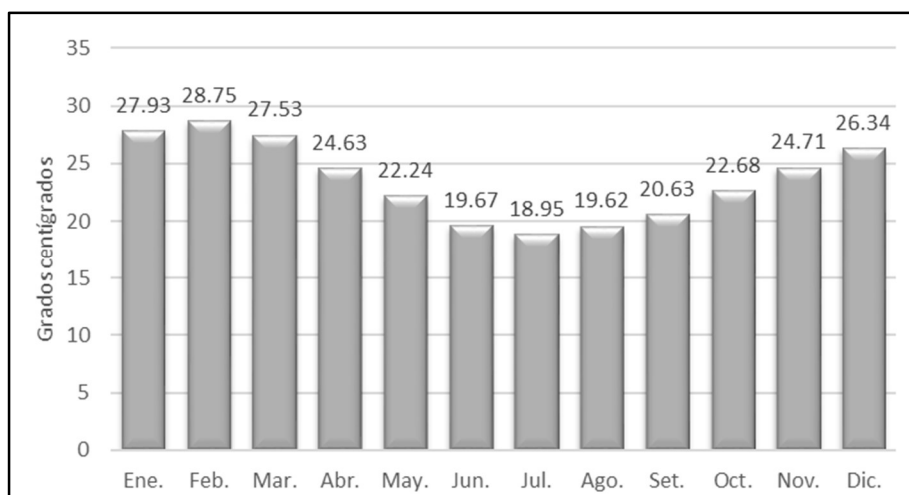
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2018	16,8	18,49	17,01	15,53	13,84	12,45	11,17	10,6	11,63	13,47	15,34	16,04	14,36
2019	17,94	18,98	16,62	15,41	12,88	11,65	10,83	9,94	11,22	11,97	14,76	16,21	14,03
2020	18,55	18,78	18,7	S/D	S/D	S/D	9,96	9,57	11,15	13,01	13,13	15,83	14,3
2021	16,98	17,29	16,56	14,72	13,31	10,72	10,12	10,29	10,19	10,9	12,97	15,6	13,3
Promedio	17,57	18,39	17,22	15,22	13,34	11,61	10,52	10,1	11,05	12,34	14,05	15,92	13,94

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 2 y Figura 3, se muestran los histogramas de frecuencias de temperatura máxima media y mínima media respectivamente.

**Figura 2**

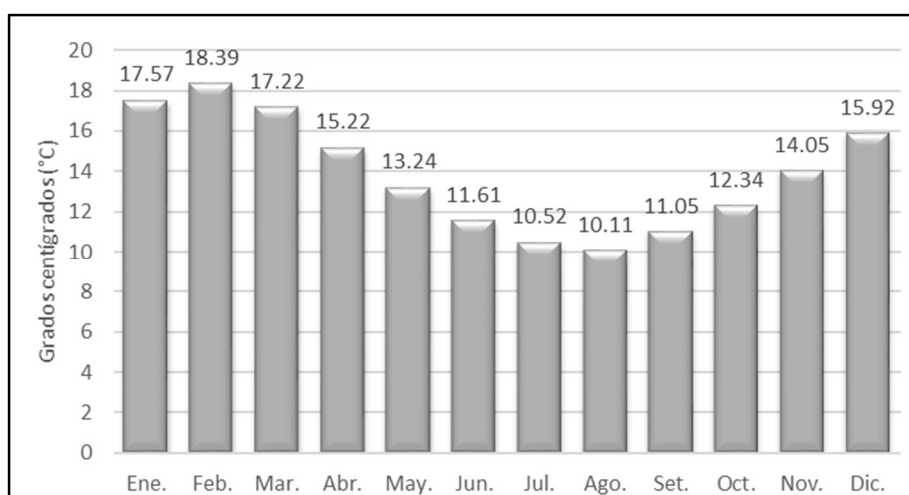
*Histograma de Frecuencia de la Temperatura Máxima Media (°C)*



Nota. Adaptado de SENAMHI, 2022.

**Figura 3**

*Histograma de Frecuencia de la Temperatura Mínima Media (°C)*



Nota. Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presenta la temperatura máxima media y mínima media, obtenida de la estación meteorológica Calana.

**Tabla 4**

*Temperatura Máxima Media (°C)*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2018	24,08	21,19	23,88	25,94	27,75	21,22	21,73	23,28	25,79	26,65	27,35	28,5	24,78
2019	26,87	28,8	28,1	25,55	23,37	21,53	20,3	21,9	21,67	23,39	25,29	26,97	24,48
2020	27,28	28,93	28,0	S/D	S/D	S/D	21,39	21,13	22,27	23,59	24,81	26,23	24,85
2021	27,4	27,75	27,41	24,66	23,48	21,53	21,13	21,69	21,69	24,01	24,64	24,64	24,17
Promedio	26,41	26,67	26,85	25,38	24,87	21,43	21,14	22,0	22,86	24,41	25,52	26,59	24,51

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

**Tabla 5**

*Temperatura Mínima Media (°C)*

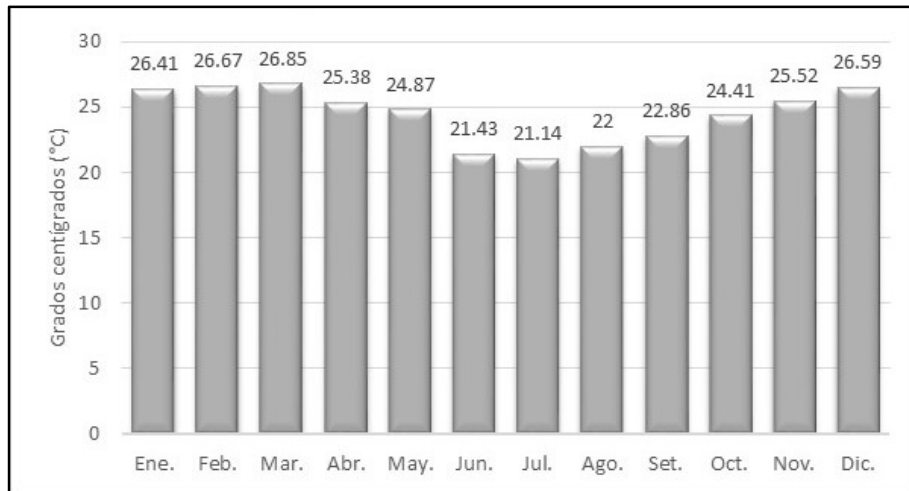
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2018	11,57	9,54	10,51	12,14	13,7	8,69	7,91	8,82	12,96	13,33	13,81	15,13	11,5
2019	15,51	16,14	13,43	12,58	10,12	8,73	7,78	7,5	9,31	9,95	12,74	13,74	11,46
2020	15,98	15,99	15,75	S/D	S/D	S/D	6,71	8,39	9,27	11,14	10,8	13,34	11,93
2021	13,98	13,99	13,32	12,01	10,52	8,08	7,37	8,92	8,92	9,16	10,79	10,79	10,65
Promedio	14,26	13,91	13,25	12,24	11,44	8,5	7,44	8,4	10,11	10,89	12,03	13,25	11,68

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 4 y Figura 5, se muestran las gráficas de frecuencias de temperatura máxima media y mínima media respectivamente obtenidas de la estación Calana.

**Figura 4.**

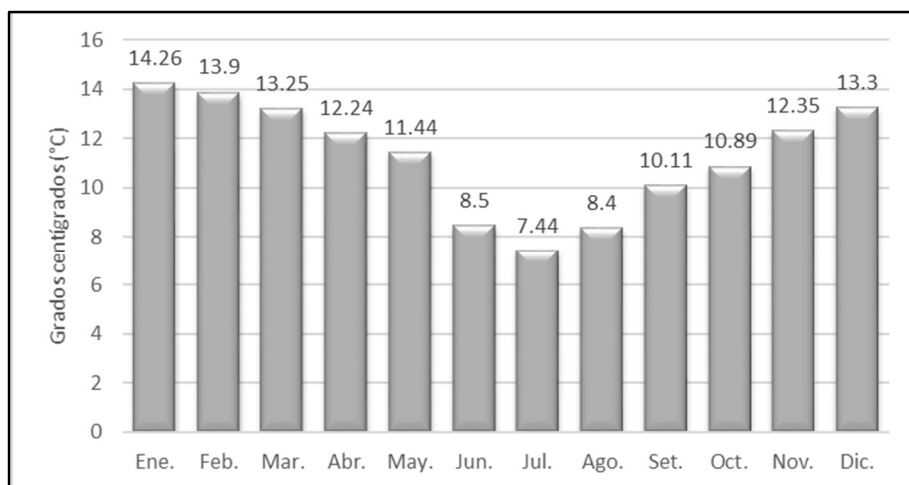
*Histograma de Frecuencia de la Temperatura Máxima Media (°C)*



*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

**Figura 5**

*Histograma de Frecuencia de la Temperatura Mínima Media (°C)*



*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

### 1.2.2 Humedad relativa

La humedad relativa promedio representa el porcentaje de agua en el aire. Según Coila (2019), los meses de máxima humedad son de abril a octubre, y la mínima se presenta en febrero.

En la Tabla 6 se presenta un resumen de las humedades relativas medias de los años 2018 a 2021 obtenidas de la estación Jorge Basadre.

**Tabla 6**

*Humedad Relativa media (%)*

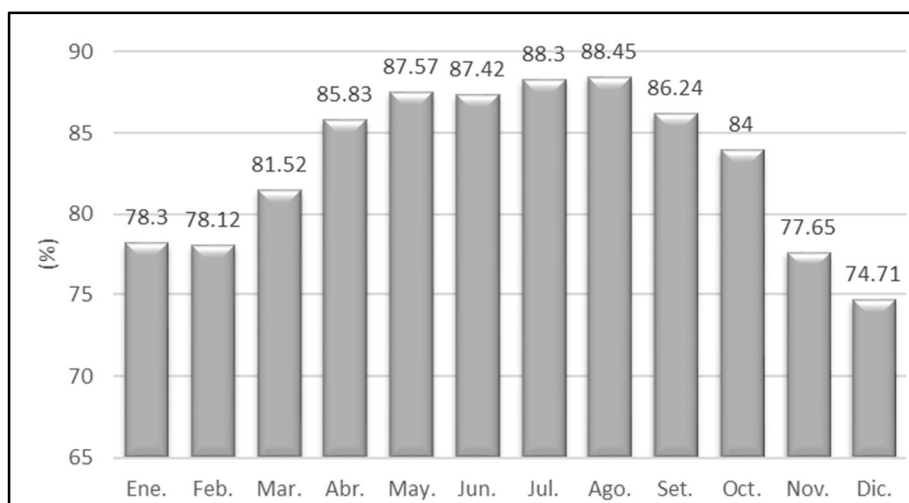
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
2018	89,27	87,04	87,85	86,26	88,65	85,0	91,27	83,76	78,85	79,52	74,28	69,84	83,47
2019	73,38	73,76	76,33	78,49	82,77	86,42	87,75	87,75	88,01	79,31	74,64	71,03	74,64
2020	71,82	70,04	74,28	S/D	S/D	S/D	81,64	89,55	85,66	85,7	80	78,26	79,66
2021	78,72	81,65	87,62	92,73	91,28	90,84	91,73	92,74	92,42	91,48	92,66	79,71	88,63
Promedio	78,3	78,12	81,52	85,83	87,57	87,42	88,1	88,45	86,24	84,0	80,4	74,71	83,63

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 6, se muestra el Promedio de Frecuencias de Humedad Relativa en la ciudad de Tacna.

**Figura 6**

*Histograma de Frecuencia de la Humedad Relativa Media (%)*



Nota. Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Tabla 7 se presenta el resumen de las Humedades Relativas medias de los años 2018 a 2021 obtenidas de la estación Calana.

**Tabla 7**

*Humedad Relativa media (%)*

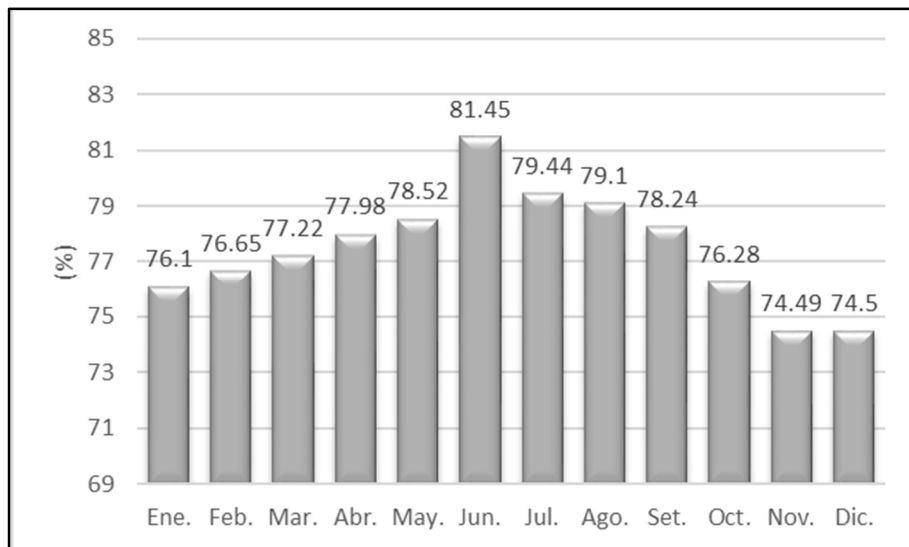
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio
2018	77,42	82,03	79,44	77,08	74,61	81,28	77,46	77,29	74,29	74,3	72,02	72,78	76,6
2019	75,45	77,12	76,35	77,83	80,13	81,85	82,04	78,11	80,36	77,45	76,47	75,96	78,6
2020	77,56	76,61	78,72	S/D	S/D	S/D	77,53	80,87	77,89	76,9	74,22	74,15	77,6
2021	73,99	70,87	74,37	79,04	80,83	81,22	80,74	80,43	80,43	76,47	75,28	75,28	77,43
Promedio	76,10	76,65	77,22	77,98	78,52	81,45	79,44	79,17	78,24	76,28	74,49	74,54	77,55

Nota. Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 7, se muestra el Promedio de Frecuencias de Humedad Relativa en la ciudad de Tacna.

**Figura 7**

*Histograma de Frecuencia de la Humedad Relativa Media (%)*



*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

Según la información obtenida, se ha verificado que los meses de menor humedad promedio son noviembre y diciembre; y los meses con mayor humedad son de febrero a octubre, datos que concuerdan con la información obtenida de Coila (2019). Estas condiciones no afectan directamente a la calidad del macizo.

### **1.2.3 Viento**

El viento está definido como una turbulencia de aire, que por su naturaleza tiene la capacidad de transportar materiales disgregados y erosionar los macizos rocosos, y depositar estos sedimentos, transportar

nubosidad o la humedad. Es un fluido con la capacidad de producir el intemperismo mecánico de las ignimbritas, sobre todo cuando la resistencia de las mismas se ve previamente afectada por otro tipo de intemperismo.

Según Coila (2019), en Tacna la velocidad máxima del viento es 3 m/s y la media es 2 m/s, la dirección predominante del viento es hacia el suroeste SW.

#### **1.2.4 Precipitación**

Las lluvias en la zona de estudio son muy escasas en la mayor parte del año excepto en años considerados húmedos, llegando a precipitaciones de moderada intensidad. Coila (2019), ha realizado una evaluación de las precipitaciones medias ocurridas la estación pluviométrica Jorge Basadre del distrito de Tacna, dando como resultado que el año más húmedo ha sido el 2011 con 30,3 mm, mientras que el más seco ha sido en 2010 con 7,7 mm.

En la Tabla 8 se muestra la evaluación de la precipitación en la zona de estudio realizada con la información del SENAMHI desde el año 2018 al 2021, dando como resultado que el año en promedio más húmedo ha sido el 2020 con 68,5 mm y el más seco 2018 con 15,42 mm.

**Tabla 8**

*Precipitación total mensual (mm)*

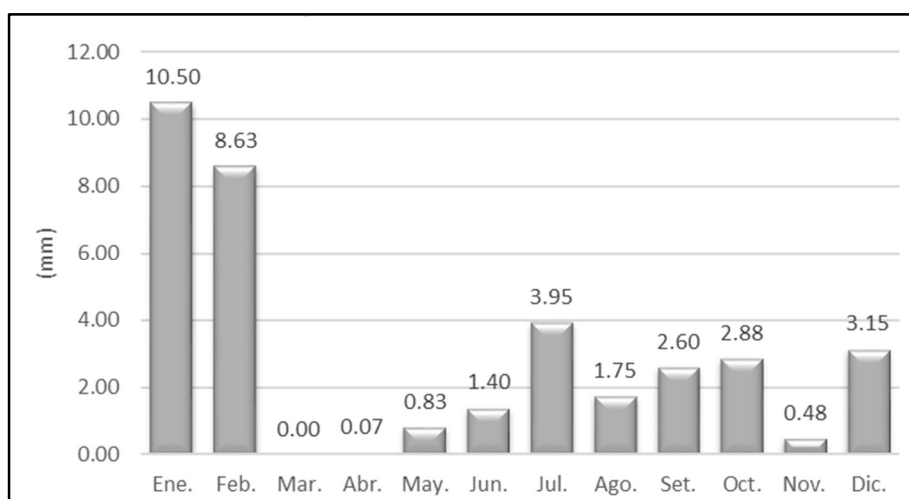
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2018	0,10	0,32	0,00	0,00	0,60	2,70	5,30	1,00	0,10	4,20	0,30	0,80
2019	14,10	8,30	0,00	0,20	0,40	1,20	6,20	0,50	4,80	3,10	0,90	0,00
2020	26,50	25,90	0,00	S/D	S/D	S/D	0,00	2,50	0,60	2,20	0,60	10,10
2021	1,30	0,00	0,00	0,00	1,50	0,30	4,30	3,00	4,90	2,00	0,10	1,70
Max	26,50	25,90	0,00	0,20	1,50	2,70	6,20	3,00	4,90	4,20	0,90	10,10
Min	0,10	0,00	0,00	0,00	0,40	0,30	0,00	0,50	0,10	2,00	0,10	0,00
Promedio	10,50	8,63	0,00	0,07	0,83	1,40	3,95	1,75	2,60	2,88	0,48	3,15

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 8, se muestra el promedio de precipitaciones totales mensual, ocurridos en la ciudad de Tacna.

**Figura 8**

*Histograma de Frecuencia de la Precipitación Media (mm)*



*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Tabla 9 se muestra la evaluación realizada de la información de precipitaciones del SENAMHI en la estación Calana desde el año 2018 al 2021, dando como resultado que el año más húmedo ha sido el 2020 con 44,20 mm y el año más seco ha sido el 2018 con 5,40 mm.

**Tabla 9**

*Precipitación total mensual (mm)*

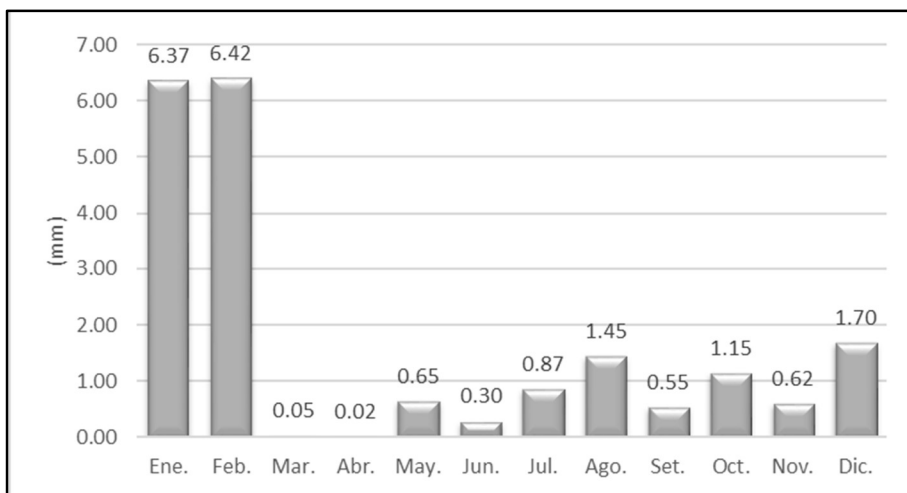
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2018	0,3	0,3	0,0	0,0	0,6	0,7	0,8	0,7	0,0	1,8	0,2	0,0
2019	12,0	4,3	0,0	0,1	0,2	0,4	1,5	1,1	1,3	1,5	2,0	0,1
2020	13,2	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,4	0,2	0,6	0,3	6,7
2021	0,0	0,0	0,2	0,0	1,8	0,1	0,5	2,6	0,7	0,7	0,0	0,0
Max	13,2	21,1	0,2	0,1	1,8	0,7	1,5	2,6	1,3	1,8	2,0	6,7
Min	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	0,0	0,6	0,0	0,0
Promedio	6,37	6,42	0,05	0,02	0,65	0,3	0,87	1,45	0,55	1,15	0,62	1,7

*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

En la Figura 9, se muestra el promedio de precipitaciones totales mensuales, ocurridos en la ciudad de Tacna obtenidos de la estación Calana.

**Figura 9**

*Histograma de Frecuencia de la Precipitación Media (mm)*



*Nota.* Adaptado de SENAMHI, 2022.

Se ha verificado que la precipitación es mínima y típica de climas desérticos, en tal sentido, las precipitaciones que ocurren en la zona de estudio no afectan a la calidad del macizo rocoso evaluado.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los proyectos civiles o mineros, es necesario como elemento básico, la clasificación del macizo rocoso donde se va a realizar la obra, en ese sentido, a lo largo del tiempo se han planteado diversos métodos de clasificación, los cuales están enfocados a darle una valoración numérica a las propiedades del macizo rocoso y mediante operaciones algebraicas, determinar el número representativo que a su vez es un índice de calidad.

Los macizos rocosos en su mayoría son afectados por diversas condiciones estructurales, meteorológicas, etc, que serán identificados en cada clasificación con diferente relevancia, esto implica que las clasificaciones variarán y que algunas serán más y otras menos representativas del macizo rocoso. La clasificación RMR 1989 de Bieniawski es la más utilizada, el índice SMR 1985 de Romana, es una modificación al RMR, y que toma en cuenta con funciones matemáticas, la implicancia de discontinuidades en la clasificación del macizo rocoso. Así mismo, cuando en un trabajo de ingeniería que va a alterar las condiciones iniciales de un macizo rocoso se presenta el problema de saber cuál es la clasificación más representativa y por lo tanto la que se debería de priorizar.

En el cerro Intiorko se han realizado cortes para la construcción de la Panamericana Sur desde el km 1296+665 hasta el km 1297+590. Este macizo rocoso es de tipo volcánico y no tiene problemas de caída de rocas, de este modo, la investigación se centra principalmente en clasificar por los dos métodos mencionados realizando la comparación y de este modo estimar cuál de los dos métodos en estudio se debe utilizar en macizos de semejantes características.

### **1.3.1 Formulación del problema**

¿Cuál de los métodos de caracterización geomecánica aplicado a taludes representa mejor las características geomecánicas de un macizo rocoso?

### **1.3.2 Problema específico**

P1: ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso en la carretera Panamericana Sur entre el Km 1296+665 hasta el km 1297+590?

P2: ¿Existen factores hidrometeorológicos que van a afectar la calidad del macizo rocoso en estudio?

## **1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Hipótesis General**

El método de SMR de Romana, representa de mejor manera las características geomecánicas del macizo rocoso aplicado a taludes.

### **1.4.2 Hipótesis Específica**

Realizar el mapeo geomecánico aplicando los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985), se va determinar las calidades del macizo.

La temperatura en el área de estudio genera meteorización mecánica que afecta la calidad del macizo rocoso. Por otro lado, las precipitaciones son escasas y no resultan un factor determinante para la estabilidad del macizo.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Demostrar cuál de los métodos de mapeo geomecánico es más representativo en el cálculo de la estabilidad de un macizo rocoso.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos se presentan a continuación:

- Realizar una compilación y evaluación de información hidrometeorológica en el área de estudio.
- Realizar un mapeo geomorfológico, geológico local y levantamiento de discontinuidades estructurales en el área del estudio entre el km 1296+665 y el km 1297+590.
- Realizar la caracterización geomecánica de un sector de la vía Panamericana Sur aplicando los métodos RMR de Bieniawski

(1989) y SMR de Romana (1985), entre el km 1296+665 y el km 1297+590.

- Obtener el grado profesional de ingeniero Geólogo-Geotécnico.

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

Previo a trabajos de ingeniería, por ejemplo, realizar el corte de una ladera para la construcción de una vía, es necesario considerar todos los aspectos que tengan influencia sobre la calidad del mismo, en el caso específico de macizos rocosos, utilizar un índice de clasificación geomecánica es la parte inicial de estudios más complejos y a detalle.

El índice de calidad de roca más utilizado es el RMR de Bieniawski (1989), el cual considera a la masa de roca como un todo, sin embargo, las discontinuidades o juntas, promueven inestabilidades bajo ciertas condiciones espaciales, por tal motivo es importante la comparación con el índice SMR 1985 para determinar cuál clasificación es la más conveniente y representativa.

Las condiciones del macizo rocoso en el corte de carretera de la Panamericana Sur, son ideales para la determinación de índices de calidad basado en los conceptos de RMR y SMR. El macizo tiene características

de tufo volcánico fracturado donde el corte de carretera deja aflorando el macizo, con una altura promedio que facilita el mapeo de estaciones geomecánicas

### **1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES**

El afloramiento estudiado tiene una altura máxima de 8 metros compuesto por un solo talud, por tal motivo, se dificulta apreciar estrictamente el sistema de discontinuidades, además se debe tener en cuenta que la roca ha sufrido fracturamiento mecánico al momento de ser cortada, de tal manera que pueden aparecer discontinuidades mecánicas (no naturales), que no siguen la tendencia del control estructural del macizo rocoso. El macizo rocoso tiene características particulares, en este sentido la caracterización más representativa se restringe a macizos con semejantes características.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS**

##### **Abertura**

Correspondiente a la separación medida en milímetros que hay entre las paredes dentro de una estructura o discontinuidad en una roca (Bieniawski, 1989).

##### **Cenizas Volcánicas**

Está referida a toda partícula de carácter piroclástico con un diámetro menor de 2 mm y que a su vez contiene principalmente material vítreo, o pequeños fragmentos de roca, los cuales se han formado cuando ocurre la erupción volcánica.

##### **Discontinuidad**

Son las superficies con características físicas variables a lo largo de las cuales ha sido interrumpida la continuidad de la roca intacta, estos tipos pueden ser: Fracturas, planos de estratificación, planos de esquistosidad, zonas de debilidad, fallas, etc.

### **Diaclasa**

Es un tipo de fractura o junta en las rocas, que aparece ocasionalmente y es realizada por esfuerzos tectónicos, presentando orientaciones definidas las cuales se denominan sistema de diaclasa. El diaclasamiento está controlado principalmente por la estructura geológica del terreno y por las deformaciones tectónicas. (Dávila, 1997).

### **Geomorfología**

Correspondiente al estudio del relieve actual, para lo cual se evalúa todas las formas del relieve terrestre tomando en consideración su génesis, la naturaleza del terreno, las condiciones climáticas y los esfuerzos de carácter endógeno y exógeno a los cuales están sometidos y que finalmente entran como constructores del paisaje (Dávila, 1997).

### **Geología**

Es la ciencia que comprende el estudio de la tierra y las rocas que la comprenden desde su creación, evolución y condiciones actuales.

### **GPS Diferencial**

Es un sistema de posicionamiento global que recibe a tiempo real datos de satélites GPS con los cuales se generan correcciones de ubicación para calcular con una mayor precisión la posición del equipo. Los

equipos diferenciales tienen mayor certeza de datos que los GPS de mano convencionales. Siendo a nivel de milímetros.

### **Matriz Rocosa**

Es el material rocoso libre de fracturamiento, también llamado bloques de “roca intacta”, la cual se presenta naturalmente. Esta matriz, aunque se suele considerar continua, normalmente presenta unas características anisotrópicas y heterogéneas ligadas a sus características de origen y a la microestructura mineral del cual está compuesta. (González, 2004).

### **Macizo Rocoso**

Por definición se trata de una agrupación de bloques intactos (Matriz rocosa), alternado con intervalos de diversos tipos. Mecánicamente los macizos rocosos son un medio con características discontinuas, anisótropas y heterogéneas. (González, 2004).

### **Meteorización o intemperismo**

Se define como la alteración de las rocas que tienen exposición a agentes exógenos tales como el aire, la humedad y agentes endógenos como la materia orgánica; puede también ocurrir intemperismo tipo mecánico, y químico, sin embargo, normalmente estos procesos interactúan. (Duque, 2017).

### **Piroclastos**

Estas rocas son producto de diversos tipos de explosiones tipo volcánico, constituidos principalmente por fragmentos de tipo piroclástico de tamaños y formas diversos, según las características iniciales del material y las condiciones con las cuales se formaron. Dentro de los principales tipos de rocas piroclásticas, se encuentran las Ignimbritas.

### **Rugosidad**

Referida a la irregularidad o aspereza que muestra una superficie de discontinuidad. (Bieniawski, 1989).

### **Toba**

Son un tipo de roca ígnea de origen volcánico, producto de la compactación de los minerales o materiales con características piroclásticas, tales como, cenizas que por causa de la meteorización a la cual han sido afectadas, generan arenas con características cementantes. Poseen una composición que puede variar dependiendo del magma de origen. (Dávila, 1997).

### **Termoclastia**

Se define como un proceso de meteorización mecánica producto de constantes dilataciones y contracciones en la roca, que suceden específicamente por los cambios de temperatura del ambiente

### **Inestabilidad tipo Planar**

Se define como interacción de una estructura (Junta, familia de juntas, estratificación o falla) con un talud cuando existe una dirección de buzamiento casi paralela en ambos. Para que la inestabilidad tipo planar sea posible, el ángulo de buzamiento del talud debe ser mayor al ángulo de fricción.

### **Inestabilidad tipo Cuña**

Se define como la intersección de dos estructuras (Junta, familia de juntas, estratificación o falla), donde la línea de intersección de los dos planos tiene una inclinación menor al talud.

## **2.2 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA**

Las clasificaciones geomecánicas son métodos estandarizados que utilizados correctamente generan una vía de comunicación entre sus usuarios, a fin de mejorar el conocimiento sobre el comportamiento del

macizo rocoso y en ese sentido proporcionar una valoración o calificación cuantitativa del mismo (Tomas, 2009). La valoración debe ser revisada por un especialista quien tomará decisiones respecto a las necesidades de la labor a realizar.

A continuación, se procede con la descripción de los métodos de caracterización geomecánica más utilizados.

### **2.2.1 Índice Rock Quality Designation (RQD)**

En la etapa inicial de un proyecto de ingeniería que va a interferir con el equilibrio de esfuerzos de un macizo rocoso en estado natural, es necesario conocer el tipo de roca sobre el que se va a trabajar y las condiciones en la que se presenta.

Las primeras clasificaciones geomecánicas se basaban principalmente en descripciones de carácter cualitativo, siendo en un inicio muy básicos y aun así podían predecir los posibles comportamientos del terreno. En la actualidad existen estándares y metodologías que sirven para una mejor clasificación con base en los siguientes parámetros del macizo rocoso: Resistencia de la roca matriz, disposición y estado de discontinuidades. Generalmente las clasificaciones se diferencian entre

ellas según la cantidad de parámetros que se van considerando a criterio de cada autor y la valoración asignada.

Los primeros intentos por clasificar la roca se realizaron desde principios de los años 60's. Deere (1963), propone el índice de calidad de roca más reconocido como Índice RQD por sus siglas en inglés, este índice era un buen comienzo para designar una calidad numérica a la masa rocosa, basada en la frecuencia de discontinuidades encontradas en testigos o cores de perforación diamantina. El testigo debe ser de un diámetro mínimo de 54,7 mm y debe ser extraído con una perforadora de doble tubo. El RQD se define como "El porcentaje de rocas intactas de tamaño mayor de 100 mm respecto al total de la longitud del core", (Deere, 1963). Expresada de manera matemática como la ecuación (1).

$$RQD = \frac{\sum \text{Ripios} > 100 \text{mm}}{\text{Total de perforacion}} \times 100 \quad \dots(1)$$

El RQD se encuentra como un parámetro muy utilizado para logueo de cores de perforación, sin embargo, resulta insuficiente para proveer una adecuada y correcta descripción de la masa de roca (Bieniawski, 1984). El resultado obtenido es expresado en porcentaje, donde la mejor calidad se acerca a 100 %. Para aplicar este método era necesario utilizar la perforadora de doble tubo, el cual por el tamaño y a causa de la logística

necesaria, no resultaba tan conveniente para proyectos en etapa temprana, por eso cuando no es posible obtener cores de perforación, el RQD puede ser estimado por el número de discontinuidades o juntas por unidad de volumen ( $J_v$ ). Una relación que suele convertir  $J_v$  en RQD para masas de roca libres de arcilla (Palmstrom, 1982).

$$RQD = 115 - 3,3 \times J_v \quad \dots (2)$$

Continuos ensayos han llevado a mejorar la fórmula en la ecuación (3) para masas de roca cuyas discontinuidades tienden a formar cubos (Palmstrom, 2005).

$$RQD = 110 - 2,5 \times J_v \quad \dots (3)$$

Finalmente Priest y Hudson (1976), propusieron una nueva relación en base a la experiencia en campo, la cual se basa en la frecuencia de discontinuidades que interceptan una línea de una longitud específica (línea de detalle), en un afloramiento de roca sea cual sean las direcciones, esta frecuencia se representa por el símbolo ( $\lambda$ ) en la ecuación (4).

$$RQD = 100e^{(-0,1\lambda)} \times (0,1\lambda + 1) \quad \dots (4)$$

Este método es muy práctico y ligeramente más rápido que el anterior, para una mejor visión de la línea por la que se va a trabajar, se suele marcar con spray todo el sector trabajado aproximadamente a 1.5 metros de altura

a nivel del piso según se den las posibilidades, ya que el especialista ha de estar en contacto directo con cara del talud. Este método tiene la desventaja de que se pueden obviar discontinuidades con rumbo paralelo o casi paralelo a la línea de detalle.

No existe una norma que indique cual método se debe utilizar para un determinado caso, pero basado en la experiencia del especialista y las posibilidades logísticas que tenga, podrá considerar trabajar con uno u otro método y obtener los resultados que se ajusten al comportamiento del macizo rocoso.

El RQD es quizá todavía el método más común para caracterizar el grado de unión de cores de perforación, aunque este parámetro puede incluir implícitamente otras características de la roca como meteorización y pérdida de núcleo (Bieniawski, 1989).

Un método alternativo propuesto por la International Society for Rock Mechanics (ISMR) en 1978, es el Grado de fracturamiento de la roca, que se aplica según la siguiente tabla.

**Tabla 10**

*Grado de fracturamiento según ISMR 1978*

<b>Grado</b>	<b>Espaciamiento de fracturas (m)</b>	<b>Calificación</b>
F-1	> 2,0	Masivo
F-2	0,60 – 2,00	Poco fracturado
F-3	0,20 – 0,60	Fracturado
F-4	0,06 – 0,20	Muy Fracturado
F-5	< 0,06	Triturado

*Fuente: ISMR, 1978*

### **2.2.2 Índice Rock Mass Rating (RMR)**

En los años 70's, el South African Council for Scientific and Industrial Research (SCIR), propuso una clasificación que consideraba varios de estos parámetros. La cual tenía dos grandes ventajas:

- Era sencilla y significativa en la aplicación de sus términos.
- Cuantifica parámetros medibles in-situ que se pueden corroborar en gabinete de manera rápida y económica.

En principio se propuso una clasificación geomecánica compuesta de los siguientes parámetros básicos donde se han evaluado grado de fracturamiento, condición de fracturas e infiltración de agua en distinto grado.

“Después de considerar y verificar en la práctica que unos parámetros guardaban una relación proporcional entre ellas y que no era necesario considerarlas. Bieniawski (1976), modificó el sistema, eliminando el grado de meteorización como parámetro separado, ya que su efecto ya se considera dentro del parámetro de resistencia a la compresión”.

Posterior a estas modificaciones se propuso el índice RMR en 1979 y en base a la experiencia en diversos trabajos se mejoró en 1989. Para lo cual, finalmente los parámetros básicos de este método quedaron de la siguiente manera:

- a. Resistencia de la roca inalterada: Es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta o también llamado ensayo de compresión simple, este ensayo se realiza en un laboratorio con la ayuda de una prensa. No obstante, para la presente tesis, se ha calificado en base a la resistencia mostrada en campo con la picota de geólogo.

**Tabla 11***Resistencia de la roca inalterada*

<b>Descripción</b>	<b>Resistencia a la compresión simple (MPa)</b>	<b>Valoración</b>
Extremadamente dura	> 250	15
Muy dura	100 - 250	12
Dura	50 - 100	7
Moderadamente dura	25 - 50	4
Blanda	50-25	2
Muy blanda	25 - 1	1
	< 1	0

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

- b. RDQ índice de calidad de la roca según Deere (1968) y su relación con la calidad de roca.

**Tabla 12***Índice de calidad de la roca según Deere*

<b>Índice de calidad RQD %</b>	<b>Calidad de roca</b>	<b>Valoración</b>
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

- c. Espaciamiento de discontinuidades. Considerada como toda discontinuidad que promueve una debilidad en la masa rocosa.

**Tabla 13***Espaciamiento de discontinuidades*

<b>Descripción</b>	<b>Espaciado de diaclasas</b>	<b>Tipo de macizo rocoso</b>	<b>Valoración</b>
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 - 2 m	Masivo	15
Moderadamente juntas	200 - 600 mm	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm	Machacado	5

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

- d. Estado de las diaclasas. Este parámetro toma en cuenta la separación o abertura de las diaclasas, su continuidad, la rugosidad de su superficie, el estado de las paredes y la presencia de relleno en las fisuras.

**Tabla 14***Condición de discontinuidades*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Separación de fisuras	Abierta > 5 mm	0
	Moderadamente abierta 1 - 5 mm	1
	Cerrada 0.1 - 1 mm	4
	Muy cerrada < 0.1 mm	5
	Ninguna 0	6
Continuidad o persistencia de discontinuidad	Muy baja < 1 m	6
	Baja 1 - 3 m	4
	Media 3 - 10 m	2
	Alta 10 - 20 m	1
	Muy alta > 20 m	0
Rugosidad de las discontinuidades	Muy rugosa	6
	Rugosa	5
	Ligeramente rugosa	3
	Lisa	1
	Plana (espejo de falla)	0
Relleno	Blando > 5mm	0
	Blando < 5mm	2
	Duro > 5 mm	2
	Duro < 5 mm	4
	Ninguno	6
Alteración de discontinuidades	Descompuesta	0
	Muy alterada	1
	Moderadamente alterada	3
	Ligeramente alterada	5
	No alterada	6

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

e. Condiciones de agua subterránea.

**Tabla 15**

*Condición de agua*

<b>Caudal de agua largo de 10 metros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valoración</b>
Nulo	Seco	15
< 10 litros/ min	Ligeramente húmedo	10
10 - 25 litros/ min	Húmedo	7
25 - 125 litros/ min	Goteando	4
> 125 litros/ min	Fluyendo	0

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

Bieniawski (1989), propone un ajuste por orientación de estructuras considerando que para un talud pueden considerarse penalidades desde 0 a 60 puntos.

**Tabla 16**

*Ajuste por orientación de estructuras*

<b>Calificativo</b>	<b>Valoración</b>
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

La sumatoria del valor correspondiente a cada parámetro da como resultado un índice de valoración RMR que va desde 15 hasta 100 (ver Tabla 17), así mismo cual se indica la clase y calidad de roca con la que se está trabajando y se proyecta un valor aproximado de cohesión para la roca y un ángulo de rozamiento que son referenciales pero muy útiles para trabajos preliminares.

**Tabla 17**

*Valoración total RMR 1989*

<b>Clase</b>	<b>Calidad</b>	<b>Valoración RMR</b>	<b>Cohesión aproximada</b>	<b>Ángulo de rozamiento</b>
I	Muy buena	100 - 81	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm <sup>2</sup>	25 - 35
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm <sup>2</sup>	15 - 25
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm <sup>2</sup>	< 15°

*Nota.* Adaptado de "Engineering Rock Mass Classification", por Bieniawski, Z., 1989.

### **2.2.3 Índice Rock Mass Strength (SMR)**

Romana (1985), propone el Índice Rock Mass Strength (SMR), una de las ventajas del SMR respecto al RMR es la amplia consideración que se tiene al efecto de la orientación del sistema de discontinuidades en un talud con dirección específica.

El índice SMR se calcula sumando al índice RMR básico de Bieniawski, un conjunto de parámetros que se explican a continuación.

- F1 depende del paralelismo entre las direcciones de las discontinuidades y las pendientes del talud. En el caso de roturas en cuña se refiere al ángulo que forma la línea de máxima pendiente del talud con la línea de intersección de las discontinuidades. Varía de 0,15 a 1,0.
- F2 se calcula a partir del buzamiento de la discontinuidad para roturas tipo planar. Su valor varía entre 0,15 a 1,0.
- F3 se determina a partir de la relación entre los buzamientos de la pendiente y las discontinuidades. Se mantienen los valores propuestos por Bieniawski (1976 / 79) y en adelante, que son siempre negativos.
- F4 es un factor de ajuste por el método de excavación empleado, incluye la pendiente natural, pre corte, voladura suave, voladura normal o excavación mecánica y voladura deficiente. Con valores de +15 a -8.

Según Romana (1985), estos valores ajustan el índice RMR a partir de la siguiente ecuación.

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4 \dots (5)$$

En base a los valores que se pueden obtener con la clasificación SMR, Romana establece cinco tipos de condiciones de estabilidad que a su vez están complementadas con recomendaciones de operación. Además de inferir de manera preliminar el tipo de deslizamiento, ya sea una rotura plana o por volcadura, como muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Clases de estabilidad según el SMR*

CLASE Nº	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente inestable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas grandes o cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

*Nota.* Romana, 1985.

El índice SMR tiene un carácter discreto, en donde se designa a cada propiedad o parámetro del macizo rocoso una determinada puntuación. De tal manera que, en ciertas ocasiones cuando se realizan pequeñas variaciones de una condición del macizo, los valores asignados pueden variar de manera considerable. Además, depende mucho del criterio y juicio del especialista para la designación de características y grados de las

mismas que van a afectar el índice final. El índice RMR básico presenta un carácter escalar con lo cual se puede realizar la valoración de la calidad geomecánica del macizo rocoso. Así mismo, el índice SMR brinda al macizo rocoso de carácter espacial o vectorial al utilizar entre sus cálculos, las variaciones de la dirección y buzamiento de las juntas que están presentes dentro del macizo respecto al talud. En este sentido, hacia un mismo talud puede obtenerse un solo valor de RMR básico y otro valor de SMR producto de la combinación de las características mencionadas. Según González (2004), comúnmente se designa al talud el valor más conservador (desfavorable).

### **2.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

En cuanto al tema propuesto, se tiene conocimiento de la tesis titulada: “Caracterización geomecánica de las ignimbritas de la Formación Huaylillas del Cerro Intiorko con fines de cimentación”, elaborada por Coila (2019), donde se logra realizar un mapeo geomecánico y caracterización geomecánica de diferentes sectores en afloramientos de roca ignimbrita en el cerro Intiorko, en la ciudad de Tacna, en la vía Tacna - Tarata y alrededores. El estudio se enfoca en la obtención de parámetros de carga admisible, así mismo como parte del estudio se desarrolla una

caracterización geotécnica con el método de RMR, obteniéndose que el macizo evaluado tiene calidad tipo II y III, calidad buena y regular respectivamente.

En la biblioteca Scielo Colombia (2018), en el boletín de ciencias de la tierra, se ha publicado el “Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica de un depósito tipo pórfido”, en el cual compara estos métodos de clasificación geomecánica RMR de Bieniawski, MRMR de Laubsher y Q de Barton, el estudio está enfocado en trabajos en minas subterráneas, por lo que hay un componente espacial (profundidad) en los resultados. Se verifica la baja correlación entre el RMR y MRMR, básicamente porque toman algunos parámetros de manera distinta. Y la baja correlación con el Q de Barton que es explicada por los distintos tipos de rocas (con distintos grados de alteraciones), que el Q toma en cuenta con mayor relevancia y castiga más. Respecto al MRMR y el Q, la correlación aumenta, ya que el MRMR tiene parámetros más conservadores. Específicamente para minería subterránea se toma el componente profundidad para estimar condiciones de cambio en el macizo rocoso, para el caso de la presente tesis elaborada en superficie no existe este componente, ya que la máxima diferencia de cota entre la estación geotécnica de mayor y menor cota es 40 metros.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo de la presente tesis se ha realizado en tres etapas que se describen detalladamente a continuación:

#### **3.1 ETAPA PRELIMINAR**

La primera etapa con una duración aproximada de 02 meses, donde se ha plasmado el tema de investigación con un título conveniente al tema tratado, la recopilación de bibliografía digital y física, la toma de apuntes y análisis de los mismos, redacción del proyecto de tesis con todos los ítems que corresponden. Básicamente la elaboración del fundamento de la presente tesis y los aspectos bibliográficos que han servido para la etapa de trabajo de campo, apoyándose en la geología regional definida por el INGEMMET. En el mapa GE-1 del Anexo E se presenta el mapa de Geología regional, obtenido de la carta geológica del Perú (Cuadrángulo de Tacna 37-v).

#### **3.2 TRABAJO DE CAMPO A NIVEL LOCAL**

Consiste en la segunda etapa, desarrollada íntegramente en trabajos de campo, cuyo tiempo de desarrollo han sido tres meses, dando inicio con

el levantamiento topográfico, y posteriores salidas de campo para el mapeo geológico básico, donde se han obtenido aspectos básicos de la zona de estudio como Geología local. Los hallazgos se presentan en el mapa geológico local GE-2 y mapa geomorfológico local GM-1 en el Anexo E.

Posteriormente se ha realizado el trabajo de mapeo geomecánico en ventanas en los afloramientos de roca ignimbrita de la formación Huaylillas, para tal fin se ha aplicado el método de línea de detalle, de tal manera que se cumplan con los objetivos de la presente tesis. Los hallazgos se presentan en el mapa de estructuras (E-1) y mapa de clasificación geotécnica (GT-1) del Anexo E.

A continuación, se pone en manifiesto las principales herramientas utilizadas en el trabajo de campo:

- 01 Picota de geólogo.
- 01 Brújula Brunton.
- 01 Cámara fotográfica.
- 01 GPS diferencial y GPS de mano.
- 01 Flexómetro de 50 metros.

- 01 Tablero con formatos de mapeo.

### **3.3 TRABAJO DE GABINETE**

Finalmente se ha realizado el procesamiento de datos, análisis e interpretación de los mismos y elaboración de mapas acorde al trabajo realizado. A continuación, se describen las principales tareas realizadas durante este proceso:

- Elaboración y procesamiento de los planos topográficos de la zona de interés. Se ha generado una data topográfica a detalle con curvas de nivel cada 1 metro.
- Desplegado de datos estructurales en estereofalsillas para su interpretación. Para esta labor se ha utilizado el software Dips de la empresa Rocscience.
- Análisis de la información obtenida en campo, elaboración de cuadros para el cálculo de RMR y SMR.
- Elaboración de planos.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO GEOLÓGICO GEOMORFOLÓGICO**

#### **4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La representación del terreno donde se desarrolla el presente estudio en un plano topográfico es la base para la elaboración de planos, además de servir para el desarrollo de proyectos de ingeniería, por lo tanto, se ha visto por conveniente realizar el levantamiento topográfico a escala local del área correspondiente a la presente investigación.

El plano topográfico sirve como una herramienta indispensable en los trabajos de ingeniería, para la representación del relieve del área de trabajo, de tal manera que dependiendo del detalle requerido el especialista puede tener en papel, la configuración geométrica a escala para diversos cálculos y/o tomar decisiones respecto al trabajo a realizar.

Específicamente para el presente trabajo se ha realizado un levantamiento topográfico, recorriendo en área de estudio con un GPS diferencial previamente calibrado. En la Figura 10 se muestra el trabajo realizado de levantamiento topográfico utilizando el equipo GPS diferencial Stonex S9 Plus. El equipo tiene un error de +- 5 mm, de tal manera que el

detalle del trabajo de levantamiento topográfico se ajusta a los fines requeridos para el presente estudio y planos a nivel de ingeniería. El levantamiento topográfico ha sido realizado en 2 días, en un área de 250 000 m<sup>2</sup>.

### **Figura 10**

*Calibración del equipo topográfico*



Las características del terreno (pendientes accesibles para el tránsito) han permitido recorrer de manera estratégica los tramos más importantes, de tal manera que se ha obtenido un detalle preciso para el trabajo de caracterización geotécnica posterior. En el Plano T-1 del Anexo E, se muestra el plano topográfico que ha servido como base para los demás estudios, el plano se presenta a una escala 1/2000, con curvas maestras a

cada 5 metros (de color gris) y curvas secundarias a cada 1 metro (color amarillo).

## **4.2 GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **4.2.1 Geomorfología regional**

El área del presente estudio se encuentra dentro del contexto de pampas costeras, caracterizada por presentar una superficie plana, ligeramente inclinada hacia el suroeste (SO), cortada por quebradas de profundidad variable.

Jacay y Sempere (2004), describen que la formación del valle de Tacna y las quebradas conexas se iniciaron posteriormente a la acumulación de Ignimbritas de la formación Huaylillas. Las formaciones Moquegua superior y Huaylillas han sufrido profundas incisiones, las cuales están relacionadas a los procesos tectónicos ligados al levantamiento de Los Andes.

La superficie Huaylillas está compuesta de una acumulación sucesiva de tobas y flujos piroclásticos, que están dispuestas a lo largo de la cadena montañosa, la cuenca Moquegua y puntualmente en valles circundantes. Esta área muestra un relieve de tipo rugoso y ondulado con variación de

pendientes desde 7 % hasta 10 %, con tendencia definida hacia el suroeste. (Wilson y García, 1962).

#### **4.2.2 Geomorfología local**

Coila (2019), señala que el cerro Intiorko, visto desde la ciudad de Tacna, es una elevación alargada de aproximadamente de 340 metros de altura, se extiende paralela al valle de Tacna de noreste a suroeste (NE – SO); y desciende gradualmente hacia la cantera de la “Quebrada del Diablo” o sur oeste (SO). La ladera del Cerro Intiorko, muestra características de un frente de terraza fluvial, cuya superficie es relativamente plana con pendiente promedio de 43 %. Constituida por ignimbritas, conglomerados de la unidad Magollo y cubiertas por suelos residuales, materiales aluviales, arenas eólicos y antrópicos. Esta ladera o flanco sur del cerro Intiorko es el resultado de una erosión lineal que ha alcanzado el nivel del fondo del valle de Tacna.

Una característica del área de estudio es que la parte superior del cerro Intiorko es una pampa extensa no muy plana, con algunas quebradas poco profundas, dando al terreno un aspecto ondulado.

La ladera del cerro Intiorko está dentro de un sistema morfogenético de tipo vertiente gravedad, donde se pueden esperar movimientos de masa,

sin embargo, en la zona de estudio y por la pendiente estos movimientos tienen poca relevancia además no se observan dichos movimientos en el trabajo de campo. Así mismo, las condiciones de inestabilidad pueden suceder por caída de rocas relacionadas a causas estructurales.

### **4.3 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **4.3.1 Geología Regional**

La Geología Regional incluye, principalmente unidades litológicas asimiladas a las edades que varían desde el Mioceno inferior hasta el Cuaternario reciente. Principalmente la formación litológica que se extiende ampliamente cubriendo el entorno de la ciudad de Tacna, está constituida por rocas piroclásticas de la formación Moquegua superior, también se observan unidades litológicas pertenecientes a las formaciones Huaylillas y Magollo y depósitos del Cuaternario reciente.

A continuación, y en orden de antigüedad se hace una breve descripción de las formaciones siguientes.

##### **4.3.1.1 Formación Moquegua Superior**

Subyace a la formación Huaylillas en discordancia erosiva. Flores y Sempere (2002), reconocieron dos sub cuencas (una al noroeste y la otra al sureste), con posibles conexiones. “En la parte medial de la zona, en los

alrededores de la ciudad de Tacna, solo es observable el tope de la formación. Intercalaciones de paquetes de arenas medias y niveles de arcillas, depositadas en una planicie aluvial, son cortadas localmente por conglomerados de relleno de canal (con sentido de corriente de NE a SO) que gradualmente pasan a intercalaciones de microconglomerados, arenas tobáceas medias y flujos de lodo con pómez flotada”.

En la Figura 11, se muestra la formación Moquegua Superior subyaciendo en discordancia a la formación Huaylillas.

### **Figura 11**

*Formación Moquegua superior y Formación Huaylillas*



#### **4.3.1.2 Formación Huaylillas**

La formación Huaylillas está compuesta por un apilamiento de varios tipos de flujos ignimbríticos que están dispuestos en los alrededores de la ciudad de Tacna, su espesor aproximado varía entre 20 y 40 metros. La edad comprendida de estos depósitos está entre 22,8 y 19,4 millones de años, por lo tanto, nos ubicamos en un tiempo Mioceno inferior para esta formación. El magmatismo que ha dado origen a la formación Huaylillas fue probablemente producido por procesos de fusión cortical (Flores y Sempere, 2002). Esta formación de tobas volcánicas yace en discordancia sobre la formación Moquegua. Wilson y García (1962), han reconocido en la ciudad de Tacna los miembros que se presentan a continuación:

##### **Miembro superior**

El miembro superior tiene una composición de toba riolítica de color blanco en ocasiones rosado con ligeros cambios de compacidad y textura que ocurren de manera local, contiene abundantes inclusiones de pómez.

##### **Miembro medio**

El miembro medio consiste en tobas de composición riolítica y en menor medida riodacita, de color rojo pardo, de textura variable, denso, de compacto y duro, la roca se estructura básicamente de cuarzo, feldespato, ortosa y pequeñas porciones de biotita

#### **4.3.1.3 Formación Millo o Magollo**

Según Jacay y Sempere (2004), la unidad Magollo se ubica en el sector denominado Magollo al sur y oeste de la ciudad de Tacna. Consiste en un apilamiento de conglomerados de arenas gruesas y de tamaño medio; y algunos tramos muy puntuales de material piroclástico. Los conglomerados contienen clastos subredondeadas de naturaleza volcánica. Coila (2019), ha cartografiado la unidad Magollo en el cerro Intiorko, en el corte de carretera de la vía Tacna – Tarata y alrededores, verificando a su vez que espacialmente se encuentra sobreyaciendo a la formación Huaylillas.

#### **4.3.1.4 Depósitos del cuaternario reciente**

Acumulados principalmente en el fondo de las quebradas, formando terrazas y en ocasiones dependiendo de la pendiente del terreno, promoviendo deslizamientos.

#### **4.3.2 Geología local**

En el área de estudio, las rocas piroclásticas de tipo ignimbrita se pueden observar en el talud de corte de la carretera; debido a que todo el cerro Intiorko se encuentra cubierta por materiales del cuaternario reciente como depósitos eólicos y coluviales.

La altura de dichos taludes en general varía de 3 a 10 m según Coila (2019). Las observaciones a escala macroscópica, determinan que la roca es básicamente de color gris claro ligeramente rosácea, de textura fanerítica, con pequeñas vesículas en forma esporádica. En cuanto a su composición mineralógica presenta un buen porcentaje de cuarzo granular transparente de aproximadamente de 1 a 2 mm de diámetro; sin embargo, el contenido de cuarzo no es homogéneo, sino que varía de una zona a otra, igual ocurre con el contenido de feldespatos; además poseen regular cantidad de líticos de origen volcánico de 2 a 3 mm de diámetro, inclusiones de pómez, moscovita, biotita y pequeñas partículas de rocas que le dan a la ignimbrita un aspecto brechoso. Considerando su composición mineralógica se tipifica como una ignimbrita riolítica soldada.

#### **4.3.3 Geología estructural de la zona de estudio**

Las tobas de la formación Huaylillas tienen una ligera inclinación hacia el oeste, que está relacionada a procesos tectónicos principalmente.

En el borde oriental de Tacna se presenta la formación Huaylillas con una flexura en forma de un cuasi monoclinal con rumbo NO-SE. Es posible que esta estructura tenga unas características de nivel regional, pues se ha encontrado evidencia de semejanzas en las zonas de Palca y Pachía. (Wilson y García, 1962).

## **CAPÍTULO V**

### **MAPEO GEOMECÁNICO**

#### **5.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA**

La información requerida para la presente tesis ha sido obtenida del afloramiento de rocas tipo ignimbritas de la formación Huaylillas en el talud del corte de la carretera vía Panamericana Sur a las afueras de la ciudad de Tacna.

Se ha realizado un trabajo de reconocimiento previo, y se ha dividido la zona a estudiar en 9 sectores, se ha considerado para la separación la semejanza en características de litología, alteración, dureza de la roca y dirección de buzamiento del talud. En la Tabla 19 se presentan los sectores evaluados.

**Tabla 19**

*Sectores geotécnicos evaluados*

<b>Sector</b>	<b>Estación</b>	<b>Progresivas</b>
1	EG1	1296+665 - 1296+735
2	EG2	1296+735 - 1296+805
3	EG3	1296+970 - 1297+030
4	EG4	1297+030 - 1297+060
5	EG5	1297+060 - 1297+100
6	EG6	1297+185 - 1297+270
7	EG7	1297+270 - 1297+310
8	EG8	1297+310 - 1297+440
9	EG9	1297+440 - 1297+590

A continuación, se describen los sectores evaluados.

**Sector 1**

Ubicado entre las progresivas 1296+665 - 1296+735 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de 285° y un ángulo de buzamiento de 76°.

El sector está caracterizado por el contacto erosivo de la Formación Huaylillas subyaciendo a la Unidad Magollo compuesta por conglomerados de moderada compactación, mal gradado, matriz arenosa de color café de grano medio a grueso con ocasionales clastos de diámetros de entre 10 – 20 cm.

Las rocas de la formación Huaylillas en este sector son de color gris claro, tienen poco contenido de cuarzo amorfo de grano fino con fenocristales de plagioclasa y ocasionales minerales máficos de grano medio. Tienen una moderada compactación y alterados hasta ser deleznable en zonas puntuales (ver la Figura 12).

### **Figura 12**

*Vista del contacto litológico en el sector 1*



En la lámina 1 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de

los polos de las discontinuidades mapeadas en el Sector 1. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte noroeste y suroeste.

En la lámina 2, se han agrupado 2 sets de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 1.

## **Sector 2**

Ubicado entre las progresivas 1296+735 - 1296+805 de la carretera Panamericana Sur. el talud tiene una dirección de buzamiento de  $280^{\circ}$  y un ángulo de buzamiento de  $70^{\circ}$ . Las rocas de la formación Huaylillas en este sector son de color gris claro, tienen poco contenido de cuarzo amorfo de grano fino con fenocristales de plagioclasas y ocasionales minerales máficos de grano medio. Tienen una moderada compactación y alterados hasta ser deleznableles puntualmente en superficie (ver la Figura 13).

### Figura 13

*Vista del talud en el sector 2*



En la lámina 3 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 2. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en el este y suroeste.

En la lámina 4, se han agrupado 2 sets de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 2.

### **Sector 3**

Ubicado entre las progresivas 1296+970 - 1297+030 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de 215° y un ángulo de buzamiento de 85°.

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales de plagioclasa de grano medio y presencia de vesículas con diámetros de hasta 1 cm. La roca se aprecia compactada y sólida (ver la Figura 14).

## Figura 14

*Vista del talud en el sector 3*



En la lámina 3 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 5. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte central.

En la lámina 6, se ha agrupado 1 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 3.

#### **Sector 4**

Ubicado entre las progresivas 1297+030 - 1297+060 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de  $180^\circ$  y un ángulo de buzamiento de  $85^\circ$ .

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales de plagioclasa de grano medio.

La roca se aprecia compactada y se forman bloques de hasta 1 metro de lado (ver la Figura 15).

## Figura 15

*Vista del talud en el sector 4*



En la lámina 7 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 4. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte central.

En la lámina 8, se ha agrupado 1 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 4.

## **Sector 5**

Ubicado entre las progresivas 1297+060 - 1297+100 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de  $160^\circ$  y un ángulo de buzamiento de  $80^\circ$ .

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales máficos.

La roca se aprecia compactada y se forman bloques de hasta 1 metro de lado. Se encuentra cubierta en la parte superior con una capa de 20 centímetros de material eólico (ver la Figura 16).

## Figura 16

*Vista del talud en el sector 5*



En la lámina 8 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 5. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte Norte.

En la lámina 10, se ha agrupado 1 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 5.

## **Sector 6**

Ubicado entre las progresivas 1297+185 - 1297+270 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de 140° y un ángulo de buzamiento de 60°.

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales máficos.

La roca se aprecia moderadamente compactada. Se encuentra cubierta en la parte superior con una capa de 20 centímetros de material eólico (ver la Figura 17).

## Figura 17

*Vista de talud en el sector 6*



En la lámina 11 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 6. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte suroeste y noreste.

En la lámina 12, se han agrupado 2 sets de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 6.

## **Sector 7**

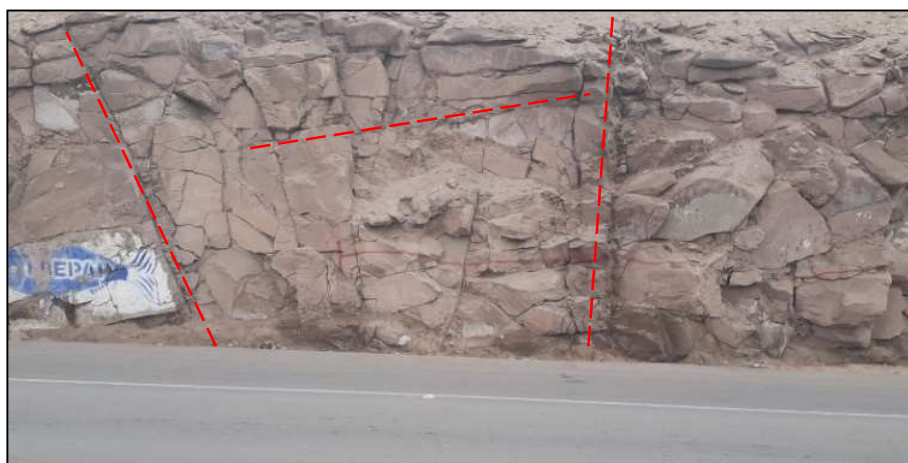
Ubicado entre las progresivas 1297+270 - 1297+310 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de  $140^\circ$  y un ángulo de buzamiento de  $65^\circ$ .

El sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales máficos.

La roca se aprecia moderadamente compactada. Formando bloques de 0.5 metros. Se encuentra cubierta en la parte superior con una capa de 20 centímetros de material eólico (ver la Figura 18).

### **Figura 18.**

*Vista del talud en el sector 7*



En la lámina 13 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 7. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte noreste.

En la lámina 14, se ha agrupado 1 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 7.

### **Sector 8**

Ubicado entre las progresivas 1297+310 - 1297+440 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de  $140^\circ$  y un ángulo de buzamiento de  $60^\circ$ .

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas ricas en cuarzo amorfo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales máficos, en la matriz se presentan fragmentos de pómez de hasta 1 cm de diámetro.

La roca se presenta moderadamente compactada y a su vez superficialmente deleznable al tacto (ver la Figura 19).

## Figura 19

*Vista de talud en el sector 8*



En la lámina 15 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 8. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte noreste.

En la lámina 16, se ha agrupado 1 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 8.

### **Sector 9**

Ubicado entre las progresivas 1297+440 - 1297+590 de la carretera Panamericana Sur. El talud tiene una dirección de buzamiento de  $145^\circ$  y un ángulo de buzamiento de  $70^\circ$ .

Este sector está caracterizado por contener rocas de la Formación Huaylillas con abundante cuarzo de grano fino a medio, moderadamente rico en minerales máficos (ver la Figura 20).

### **Figura 20**

*Vista de talud en el sector 8*



En la lámina 17 del anexo A, se presenta la distribución de polos y las curvas de isovalores, que muestran de manera global la concentración de los polos de las discontinuidades mapeadas en el sector 9. Se aprecia que existe una mayor concentración de polos en la parte norte y noroeste.

En la lámina 18, se han agrupado 2 set de juntas (SJ), para la posterior evaluación del sector 9.

## **5.2 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA**

Se ha realizado el levantamiento de estructuras (discontinuidades) de la pared del talud en todas las estaciones geomecánicas, en el anexo B se muestran los formatos con los resultados obtenidos, básicamente las estructuras con su dirección de buzamiento y buzamiento que servirán para la nube de polos en las posteriores estereofalsillas

El trabajo de mapeo geomecánico se ha realizado directamente sobre superficies de las rocas ignimbritas; a través de una línea marcada horizontalmente sobre la cara del talud rocoso, a una altura aproximada de 1.5 metros del nivel de la carpeta asfáltica; el mapeo fue de izquierda a derecha; teniendo como punto base de arranque la progresiva 1296+665.

### 5.2.1 Grado de fracturamiento

Se han obtenido los valores RQD, para cada estación geomecánica, esta información se ha valorado en la clasificación RMR. Así mismo, se ha utilizado el criterio del ISMR 1978 en la Tabla 19 con el grado de fracturamiento del macizo rocoso, de donde se obtiene principalmente que el macizo está muy fracturado y fracturado.

**Tabla 20.**

*Grado de fracturamiento del macizo*

<b>Espaciamiento de facturas (m)</b>	<b>Grado</b>	<b>Calificación</b>
0.15	F-4	Muy fracturado
0.16	F-4	Muy fracturado
0.11	F-4	Muy fracturado
0.14	F-4	Muy fracturado
0.12	F-4	Muy fracturado
0.16	F-4	Muy fracturado
0.25	F-3	Fracturado
0.2	F-3	Fracturado
0.33	F-3	Fracturado

### 5.2.2 Clasificación geomecánica (Bieniawski 1989)

Se han obtenido los parámetros del macizo rocoso: Dureza y condición de discontinuidades, se ha realizado la valoración según la metodología de Bieniawski, de tal manera que se han realizado los formatos mostrados en el Anexo C, además, se ha considerado el ajuste

propuesto para la orientación de discontinuidades según se muestra en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Clasificación RMR*

<b>Estación</b>	<b>RMR Básico</b>	<b>Ajuste por orientación de discontinuidades</b>	<b>RMR Ajustado</b>	<b>Calidad</b>
EG1	61	0	61	Buena
EG2	61	-5	56	Regular
EG3	61	-5	56	Regular
EG4	60	-5	55	Regular
EG5	67	-5	62	Buena
EG6	62	-5	57	Regular
EG7	68	-5	63	Buena
EG8	67	-5	62	Buena
EG9	71	-5	66	Buena

Mediante el resumen de la tabla, ha verificado que la calidad de roca según el criterio de clasificación de Bieniawski es de tipo regular a buena.

### **5.2.3 Clasificación geomecánica (Romana 1985)**

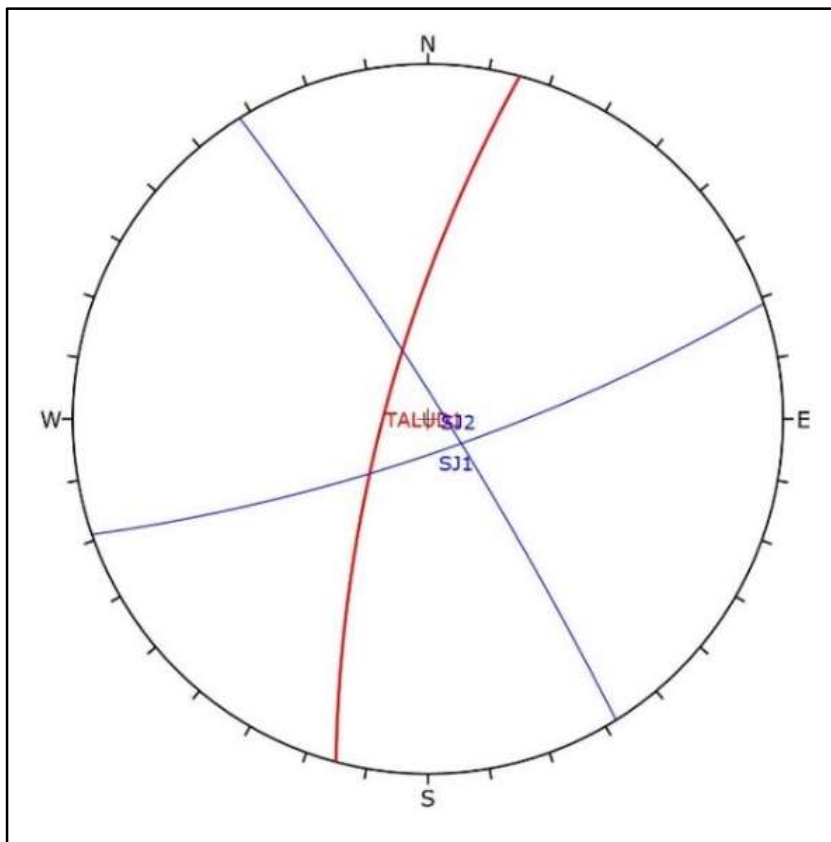
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la evaluación con el método de Romana, para ello se ha realizado el mapeo de estructuras obteniéndose de manera principal la dirección de buzamiento y buzamiento de cada discontinuidad.

### Sector 1

El talud en el sector 1 tiene un buzamiento de  $76^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $285^\circ$ . Del mapeo de estructuras se han obtenido dos sistemas o familias principales de discontinuidades, el SJ1 con  $79/161^\circ$  y el SJ2  $85/085^\circ$ . Las estructuras mapeadas no promueven rupturas tipo cuña ni tipo planar.

**Figura 21.**

*Estereofalsilla del sector 1*

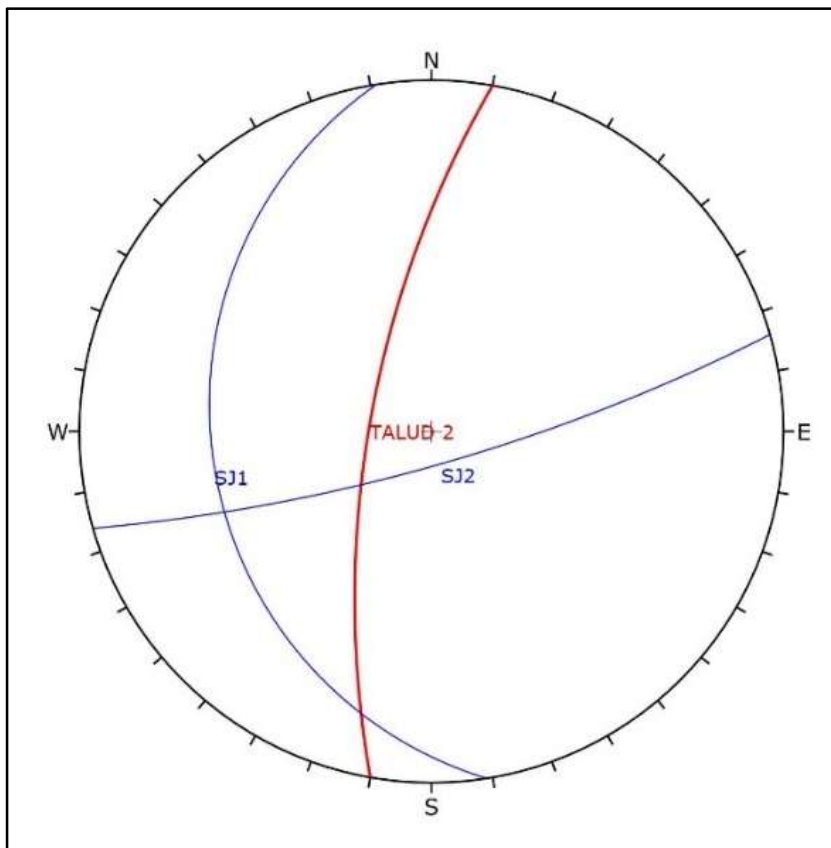


## Sector 2

El talud en el sector 2 tiene un buzamiento de  $70^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $280^\circ$ . Del mapeo de estructuras se han obtenido dos sistemas o familias principales de discontinuidades, el SJ1 con  $26/261^\circ$  y el SJ2  $79/164^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar, y la intersección de las estructuras SJ1 y SJ2 promueven una cuña.

**Figura 22**

*Estereofalsilla del sector 2*

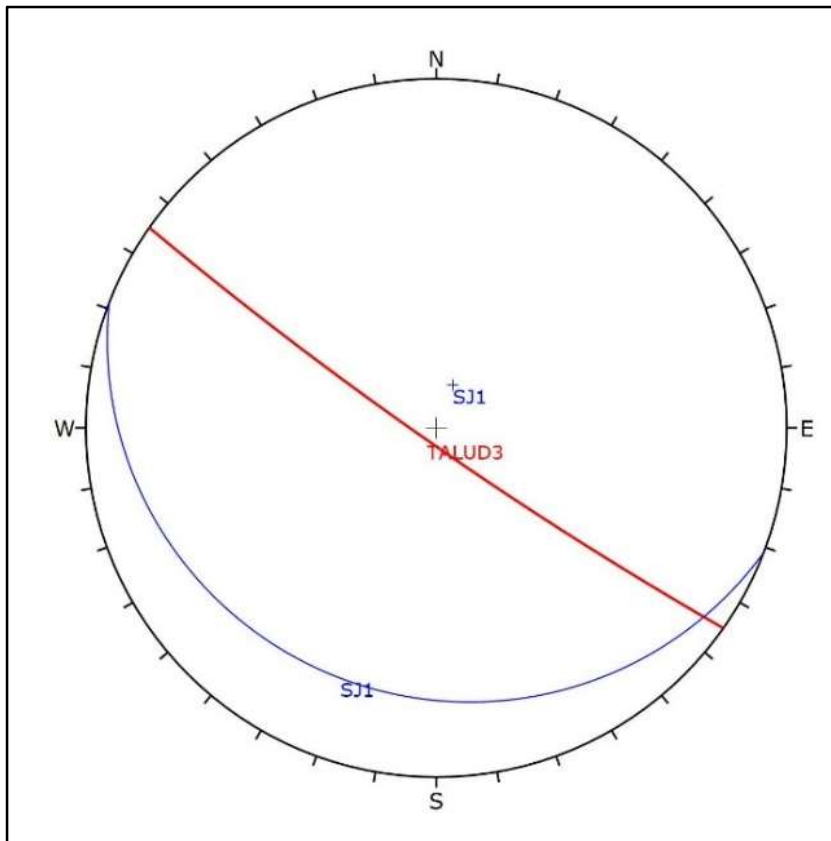


### Sector 3

El talud en el sector 3 tiene un buzamiento de  $85^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $215^\circ$ . Del mapeo de estructuras se ha obtenido un sistema o familia principal de discontinuidades, el SJ1 con  $15/201^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve un tipo de ruptura planar.

**Figura 23.**

*Estereofalsilla del sector 3*

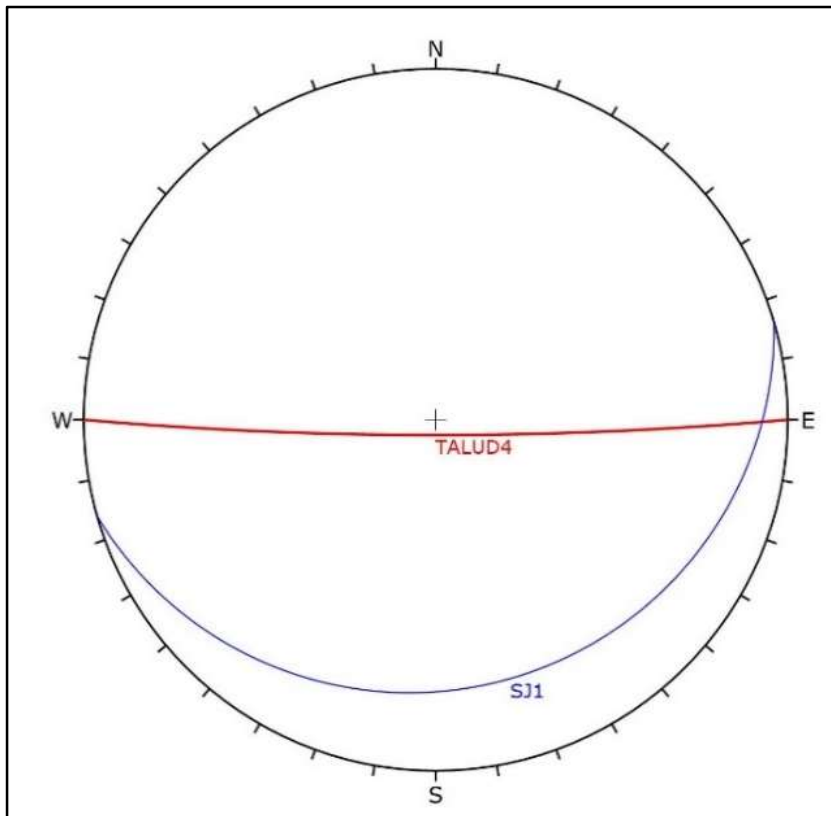


#### Sector 4

El talud en el sector 4 tiene un buzamiento de  $85^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $180^\circ$ . Del mapeo de estructuras se ha obtenido un sistema o familia principal de discontinuidades, el SJ1 con  $15/164^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

#### Figura 24

*Estereofalsilla del sector 4*

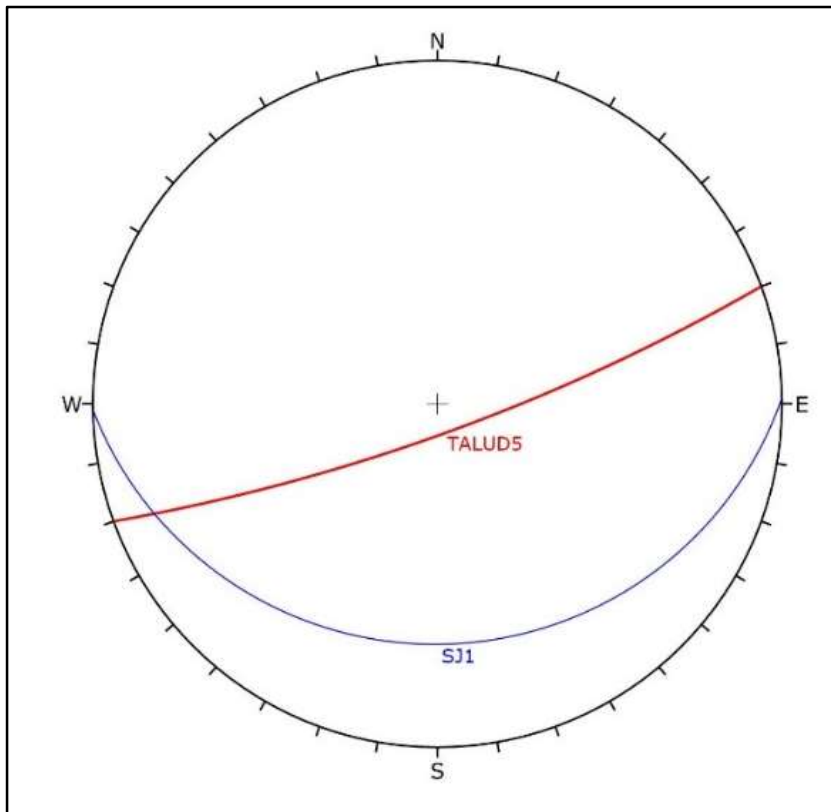


## Sector 5

El talud en el sector 5 tiene un buzamiento de  $80^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $160^\circ$ . Del mapeo de estructuras se ha obtenido un sistema o familia principal de discontinuidades, el SJ1 con  $20/179^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

### Figura 25.

*Estereofalsilla del sector 5*

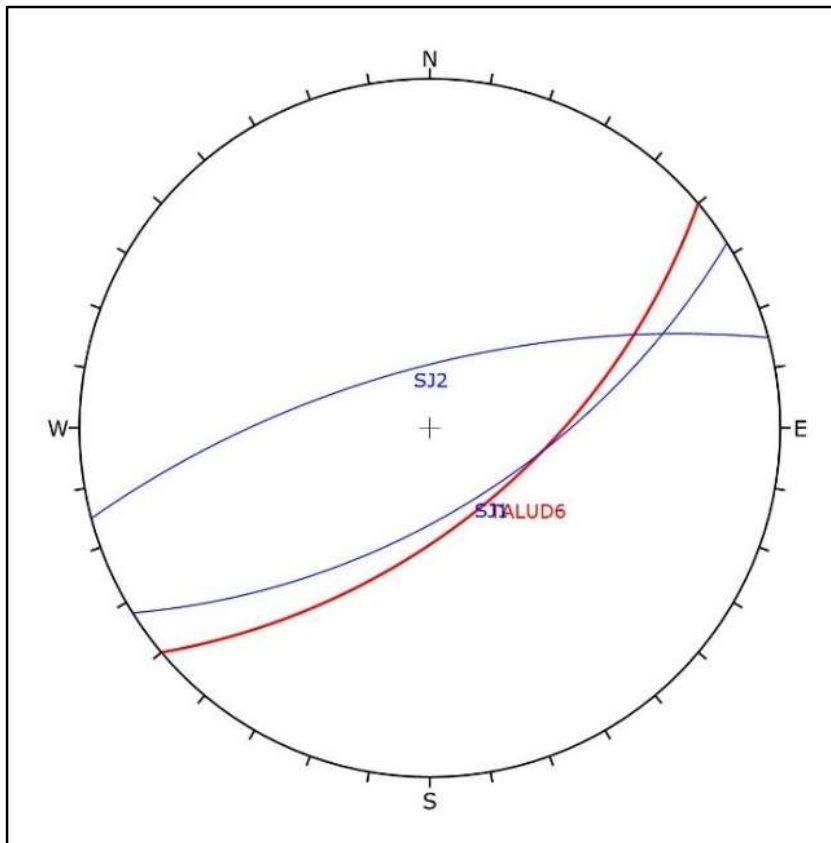


## Sector 6

El talud en el sector 6 tiene un buzamiento de  $60^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $140^\circ$ . Del mapeo de estructuras se han obtenido tres sistemas o familias principales de discontinuidades, el SJ1 con  $63/148^\circ$  y SJ2  $70/345^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

**Figura 26.**

*Estereofalsilla del sector 6*

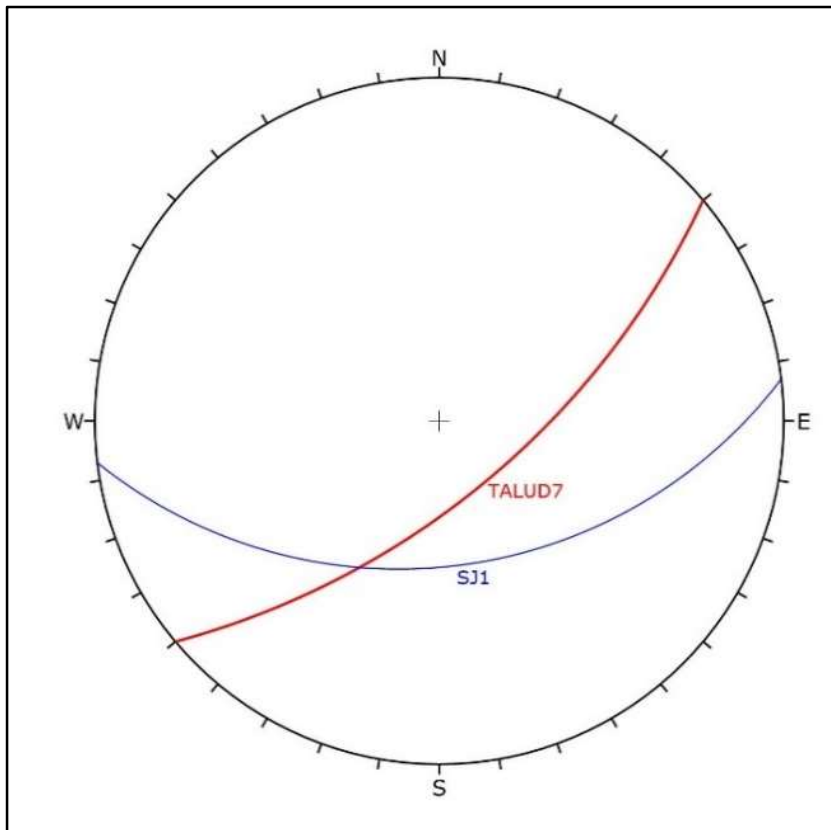


## Sector 7

El talud en el sector 7 tiene un buzamiento de  $65^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $140^\circ$ . Del mapeo de estructuras se ha obtenido un sistema o familia principal de discontinuidades, el SJ1 con  $44/173^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

### Figura 27

*Estereofalsilla del sector 7*

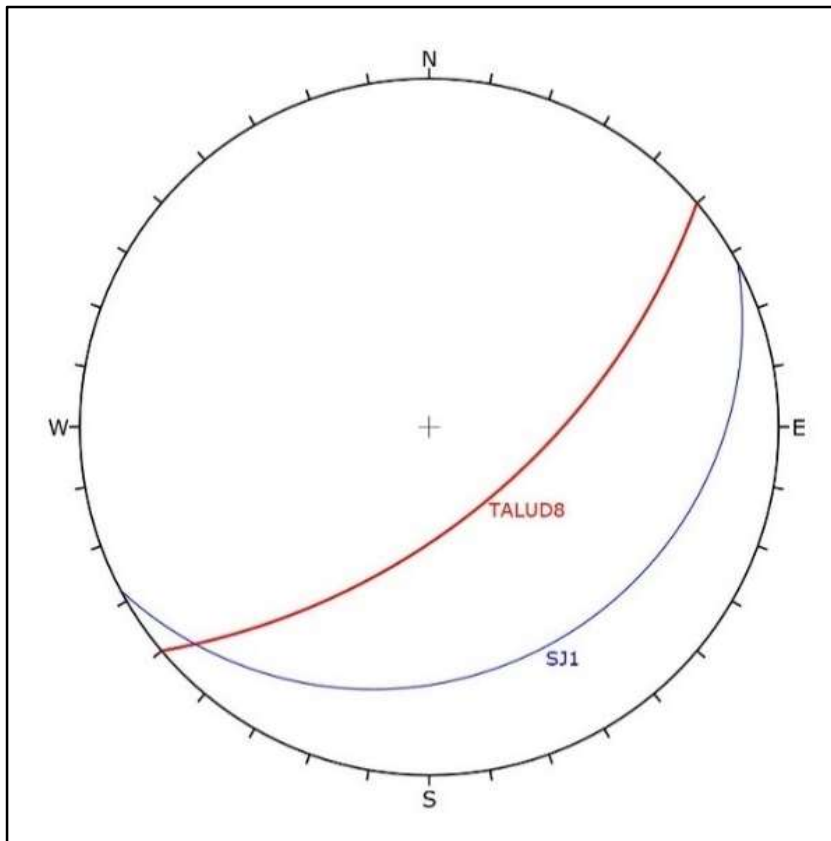


### Sector 8

El talud en el sector 8 tiene un buzamiento de  $60^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $140^\circ$ . Del mapeo de estructuras se ha obtenido un sistema o familia principal de discontinuidades, el SJ1 con  $19/152^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

### Figura 28

*Estereofalsilla del sector 8*

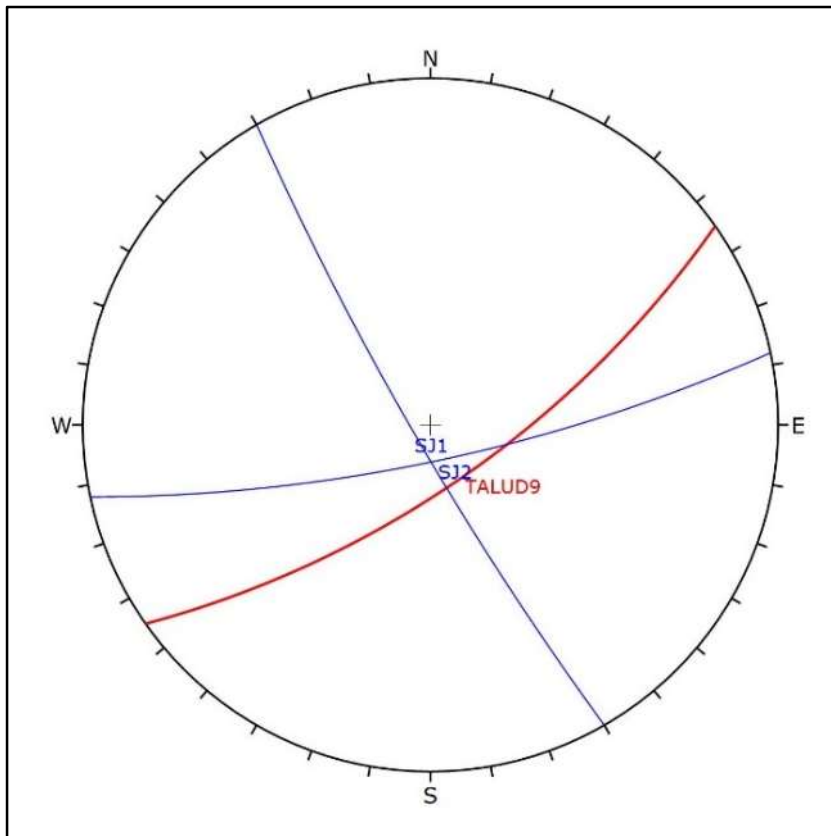


## Sector 9

El talud en el sector 9 tiene un buzamiento de  $70^\circ$  y una dirección de buzamiento de  $145^\circ$ . Del mapeo de estructuras se han obtenido dos sistemas o familias principales de discontinuidades, el SJ1 con  $84/240^\circ$  y el SJ2  $78/168^\circ$ . La estructura obtenida SJ1 promueve una ruptura tipo planar.

### Figura 29

*Estereofalsilla del sector 9*



En el anexo D, se muestra los formatos de cálculo de los factores F1, F2, F3 y F4, para el cálculo del SMR en cada sector.

La evaluación del SMR contempla el tipo de mecanismo de corte del terreno (F4), de tal manera que al ser de tipo controlado se ha utilizado un valor adicional de +8 en todos los sectores.

A continuación, se presenta Tabla 22 con el resumen de los parámetros SMR obtenidos. Para el cálculo de estos cuadros se ha tomado en cuenta la disposición espacial de las discontinuidades presentes en el macizo respecto a la dirección del mismo.

**Tabla 22**

*Clasificación del índice SMR*

<b>Estación</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>SMR</b>	<b>Calidad</b>
EG1	0.15	1.0	-6	8	68	Buena
EG2	0.70	0.4	-60	8	52	Regular
EG3	0.70	0.15	-60	8	63	Buena
EG4	0.70	0.15	-60	8	62	Buena
EG5	0.70	0.4	-60	8	58	Regular
EG6	0.85	1.0	-6	8	65	Buena
EG7	0.15	0.85	-60	8	68	Buena
EG8	0.70	0.15	-60	8	69	Buena
EG9	0.40	1.0	-6	8	77	Buena

## CAPÍTULO VI

### PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 6.1 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

##### 6.1.1 Resultados del cálculo de los índices RMR 1989 y SMR 1985

Se ha realizado la evaluación de los sectores mapeados con el método de RMR 1989, y SMR 1985, el resultado se resume en la Tabla 20.

**Tabla 23**

*Tabla comparativa de resultados*

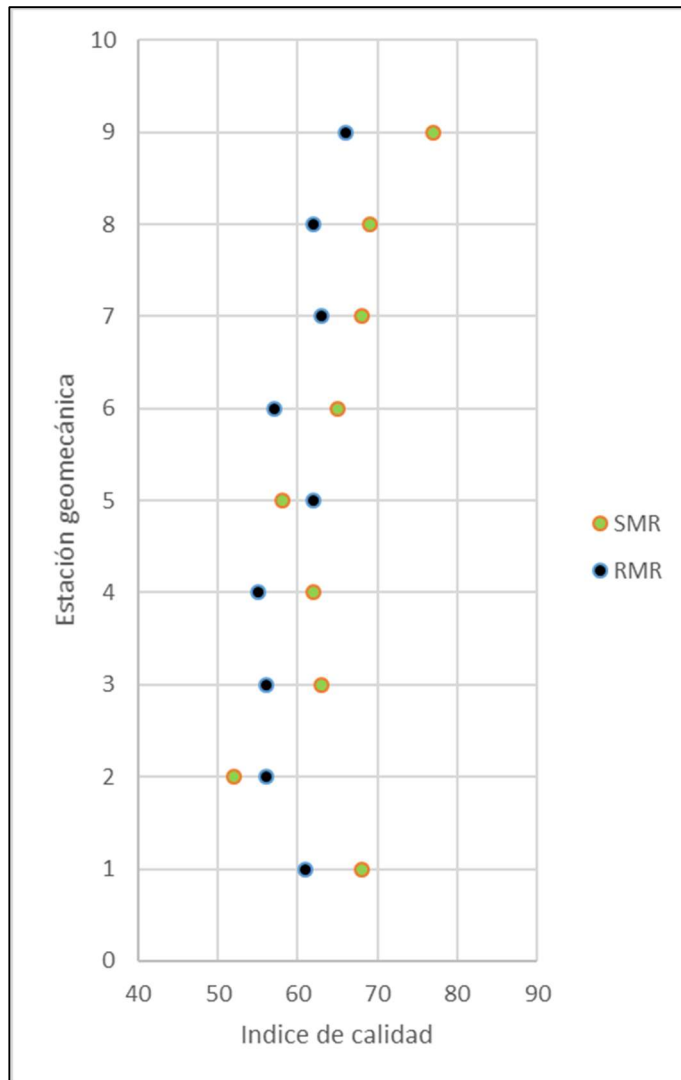
<b>Estación</b>	<b>RMR Ajustado 1989</b>	<b>Calidad según RMR 1989</b>	<b>SMR 1985</b>	<b>Calidad según SMR 1985</b>
EG1	61	Buena	68	Buena
EG2	56	Regular	52	Regular
EG3	56	Regular	63	Buena
EG4	55	Regular	62	Buena
EG5	62	Buena	58	Regular
EG6	57	Regular	65	Buena
EG7	63	Buena	68	Buena
EG8	62	Buena	69	Buena
EG9	66	Buena	77	Buena

Básicamente en todos los sectores se han obtenidos índices de calidad correspondientes a macizos tipo II (buena) y III (regular), denotando que la diferencia entre un índice y otro es mínima en ciertos casos.

Se ha verificado que en todos los sectores a excepción de los sectores EG2 y EG5, se obtuvo un índice de clasificación SMR mayor que el RMR. En la Figura 30, se muestran los resultados obtenidos.

**Figura 30**

*Comparación de resultados SMR y RMR*



### **6.1.2 Evaluación de cada sector**

En el presente capítulo se ha evaluado independientemente cada sector, verificando las implicancias de las discontinuidades respecto a la dirección de buzamiento.

#### **Sector 1 (EG1)**

La orientación de las dos discontinuidades obtenidas (SJ1 y SJ2), no ha afectado en la valoración del talud, ya que la dirección de buzamiento es casi contraria a la del talud, así mismo, se ha verificado que la clasificación SMR ha dado un valor superior al obtenido en la clasificación RMR. No obstante, en ambas clasificaciones, se considera un macizo de calidad II Buena.

#### **Sector 2 (EG2)**

La orientación de la discontinuidad SJ1, ha afectado ligeramente en la valoración del talud, por el sub paralelismo de las direcciones de buzamiento. De este modo los valores de RMR y SMR obtenido son semejantes, ligeramente superior para la clasificación RMR, situándolos en ambos casos en un macizo tipo III de calidad regular.

### **Sector 3 (EG3)**

La orientación de la discontinuidad SJ1, ha afectado en la valoración del talud, por el sub paralelismo de las direcciones de buzamiento. No obstante, la discontinuidad tiene un ángulo de buzamiento muy bajo ( $15^\circ$ ), por lo tanto, según el criterio de SMR, ha afectado de manera mínima al talud. De este modo los valores de SMR son superiores al RMR, el criterio de SMR da valores de calidad tipo II (buena) y el RMR, calidad tipo III (regular).

### **Sector 4 (EG4)**

Ocurre un caso semejante al sector 3. La orientación de la discontinuidad SJ1, ha afectado en la valoración del talud, por el sub paralelismo de las direcciones de buzamiento. No obstante, la discontinuidad tiene un ángulo de buzamiento muy bajo ( $15^\circ$ ), por lo tanto, según el criterio de SMR, ha afectado de manera mínima al talud. De este modo los valores de SMR son superiores al RMR, el criterio de SMR da valores de calidad tipo II (buena) y el RMR, calidad tipo III (regular).

### **Sector 5 (EG5)**

La orientación de la discontinuidad SJ1, por el sub paralelismo de las direcciones de buzamiento, según el criterio de SMR, ha afectado de manera regular al talud. De este modo los valores de RMR son ligeramente

superiores al SMR, el criterio de SMR da valores de calidad tipo III (regular) y el RMR, calidad tipo II (buena).

### **Sector 6 (EG6)**

La orientación del SJ1, afecta ligeramente al talud, y el SJ2 no afecta al talud en las condiciones evaluadas. Así mismo, se ha verificado que la clasificación SMR es de calidad tipo III (regular) y la clasificación RMR tipo II (buena).

### **Sector 7 (EG7)**

La orientación del SJ1 varía respecto al talud en más de 30°, por lo tanto, se considera que afecta de manera mínima. Así mismo, se ha verificado que en ambos casos la clasificación es de calidad tipo II (buena), aunque en la diferencia de los índices es mínima (5 puntos).

### **Sector 8 (EG8)**

La orientación del SJ1 es casi paralela al talud, siendo una condicionante para afectar al talud, no obstante, el buzamiento es bajo de tal manera que la afectación es mínima. Se ha verificado que la clasificación en ambos casos es de calidad tipo II (buena).

### **Sector 9 (EG9)**

La orientación de las dos discontinuidades obtenidas (SJ1 y SJ2), no ha afectado significativamente en la valoración del talud, así mismo, se ha verificado que el índice de calidad SMR ha dado un valor superior al obtenido en la clasificación RMR. Así mismo en ambos casos la calidad de roca es tipo II.

### **6.2 ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE UN MACIZO ROCOSO POR LA ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES**

Durante el mapeo geológico y geotécnico, se ha evidenciado que en el corte de carretera no hay caídas de bloques significativos, así mismo, en la proyección estereográfica se verifica que no existe un control estructural exclusivo que se repita en todas las estaciones, en este sentido la afectación estricta de las discontinuidades en los sectores evaluados ha sido mínima, ya que la dirección de buzamiento de algunas familias de discontinuidades obtenidas es en pocas ocasiones paralela o semi paralela a la dirección del talud, y cuando lo es, el ángulo de buzamiento es muy bajo. Cuando las características estructurales o el ordenamiento de las discontinuidades no son significativas en un macizo rocoso, se puede

utilizar ambas clasificaciones geomecánicas (SMR o RMR) para representar al talud.

Las dos clasificaciones realizadas se ajustan a las condiciones vistas en el mapeo de campo donde se ha verificado que en su mayoría los taludes son estables, lo que es coherente con rocas de calidad tipo II (buenas).

Es de entender entonces que, para un macizo de características semejantes al estudiado, de tipo volcánico, casi masivo y sin un control estructural definido, ambos métodos de caracterización geomecánica estudiados representan correctamente las características del macizo rocoso. En las estaciones EG1, EG3, EG4, EG6, EG7, EG8 y EG9 el índice SMR ha dado valores ligeramente superiores al RMR, así mismo, puntualmente en los sectores EG2 y EG5, el índice RMR es ligeramente superior al SMR, la variación de índices es mínima y manteniéndose en la mayoría de los casos dentro del mismo rango de valoración.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 CONCLUSIONES**

- El índice SMR ha dado resultados de calidad semejantes al RMR Ajustado. Considerando que, en la evaluación de estructuras se ha obtenido que no hay familias predominantes en todo el talud, y que por lo tanto no se generan mayores inestabilidades, se concluye que el índice SMR no es más representativo que el índice RMR. Por lo tanto, no se cumple la hipótesis planteada inicialmente para las condiciones del macizo estudiado.
- Se ha logrado determinar la calidad del macizo rocoso realizando el mapeo geomecánico por los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985). Se han evaluado 9 sectores de la vía Panamericana desde la progresiva 1296+665 hasta 1297+590. La calidad del macizo rocoso se ha determinado como Buena y Regular, basado en las puntuaciones de las caracterizaciones obtenidas que van de 52 hasta 77 según la clasificación SMR y 55 a 66 según la clasificación RMR.

- Las condiciones climáticas son de tipo Desértico – Árido – Subtropical, en este sentido y en base a la compilación de información hidrometeorológica obtenida de las estaciones Jorge Basadre y Calana, se concluye que la temperatura de la zona de estudio varía de tal manera en las épocas de verano, que afecta a la superficie de la roca por termoclastia teniendo implicancia directa en la valoración del macizo rocoso. La precipitación presente en la zona de estudio no afecta a las condiciones del macizo rocoso
- Se realizó el mapeo geológico verificando afloramientos del contacto de la formación Huaylillas sobreyaciendo a la formación Moquegua, y de la formación Magollo sobreyaciendo a la formación Huaylillas.
- Se realizó el mapeo geomorfológico de lo cual se ha obtenido que la zona de estudio se encuentra en un sistema morfogénico de tipo Vertiente/gravedad que por la pendiente no presenta movimientos de masa recientes.
- Puntualmente en las estaciones EG2 y EG5, los valores obtenidos en el SMR son ligeramente menores al RMR. Debido a la orientación de discontinuidades que puntualmente afectan al talud y por lo tanto ha sufrido un castigo mayor al índice SMR. En todas las demás estaciones

el índice SMR ha dado valores superiores al RMR. Entonces de manera conservadora se concluye que el sistema de clasificación RMR representa mejor las características del macizo rocoso.

- Durante el trabajo de campo se ha verificado que el talud no tiene signos de caída de roca recientes, y que las discontinuidades no están condicionando mecanismos de deslizamientos tipo planares o cuñas que sean de magnitudes importantes.
- Con el desarrollo de la presente tesis, se logra obtener el título profesional de Ingeniero Geólogo – Geotécnico.

## 7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, para macizos rocosos de tipo volcánico sin un control estructural muy definido, se apliquen cualquiera de los dos métodos de caracterización geomecánica (SMR o RMR).
- Con el fin de ampliar el universo de datos para posteriores evaluaciones, se recomienda realizar una evaluación considerando ambas clasificaciones en taludes con características diferentes a la presente tesis, por ejemplo, con estratificación preferencialmente hacia la dirección del talud.
- Los taludes del corte de carretera de la Panamericana Sur utilizados para el presente estudio sirven de mucha ayuda para la comparación de los métodos de caracterización geomecánica. No obstante, y atendiendo a taludes de roca con características estructurales muy definidas, se recomienda la utilización de ambos métodos.
- Se debe tener precaución en la determinación de condiciones de rugosidad y alteración que son más subjetivas al criterio del especialista y se recomienda buscar la estandarización de criterios para la toma de datos, en la medida de lo posible realizar inicialmente el mapeo de manera conjunta, y posteriormente realizarlos individualmente.

- La respuesta de los macizos rocosos a controles estructurales muy marcados como mecanismos de rotura planar o cuña, deben ser evaluados en un estudio cinemático con métodos más específicos como es el caso de la teoría de equilibrio límite. Su evaluación puede estar sujeta al uso de programas específicos como: RocPlane, Swedge o Slide. De tal manera que el SMR y RMR, son parámetros a nivel de ingeniería básica que debe ser tomada de manera cuidadosa por el especialista.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bieniawski, Z. (1989). *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley & Sons.

Bieniawski, Z. (1984). *Rock Design Mining and Tunelling*, Balkema, Rotterdam

Bieniawski, Z. (1976). *Rock Mass Classification in Rock Engineering*. Symposium Proceedings of exploration for Rock Engineering.

Burrough, P. y McDonnell, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.

Dávila, J. (1997). *Diccionario geológico*. (3<sup>a</sup> ed.). INGEMMET.

Deutsch, C. y Journel, A. (1992). *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press.

Deere, D. (1963). Technical Description of rock Core for Technical Purposes. Summary.

Donal, M. (2009). *Structural Geology: An introduction to geometrical techniques*. (4.<sup>a</sup> ed.) Cambridge University Press, 602.

Duque, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales. Universidad Nacional de Colombia.

Flores, A. y Sempere T. (2002). *Avances de la historia geológica del valle de Tacna*. XI Congreso Peruano de Geología.

Giraldo, R. (2002). *Introducción a la geoestadística teórica y aplicación*. Departamento Estadística Universidad Nacional.

González, L. (2004). *Ingeniería geológica*. Pearson Prencite Hall.

Haakon, F. (2010). *Structural Geology*. Cambridge University Press, 463 p.

Hoek, E. (1994). Strength or Rock and Rock Masses. *ISRM News Journal*, 2, 2-16.

Hoek, E. y Brown, E. (1997). *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy.

Hoek, E. y Diederichs, M. (2006). *Empirical estimates of rock mass modulus*. Int. J. Rock Mech. Min.

Isaaks, E. y Srivastava, R. (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press.

ISMR (International Society for Rock Mechanics). (1978). *Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts.

Jacay J. y Sempere T. (2004). Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú. Publicación especial, Sociedad geológica del Perú

Krige, D. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52, 119-139.

Londoño, L. y Valdés, J. (2012). Geoestadística aplicada: generación de mapas de interpolación para el estudio de fenómenos distribuidos espacialmente. Editorial Académica Española.

Palmstrom A. (1982). *The Volumetric Count a Useful and Simple measure of the degree of jointing*. Proceedings of 4<sup>th</sup> international congress IAEG, New Delhi.

Palmstrom A. (2005). *Measurements of and correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)*. Tunneling and underground space technology.

Pérez M., Garcia E., Vega C., Montoya. (2018). Estudio comparativo entre sistemas de clasificación geomecánica de un depósito tipo pórfido. *Scielo analytic*.

Priest S., Hudson J. (1976). *Discontinuity spacings in rock*. International Journal of Rocks Mechanics and Mining Sciences.

Romana, M. (1985). New adjustment ratings for application of Bieniawski Classification to slopes. En Int. Symp On the role of rock mechanics ISMR

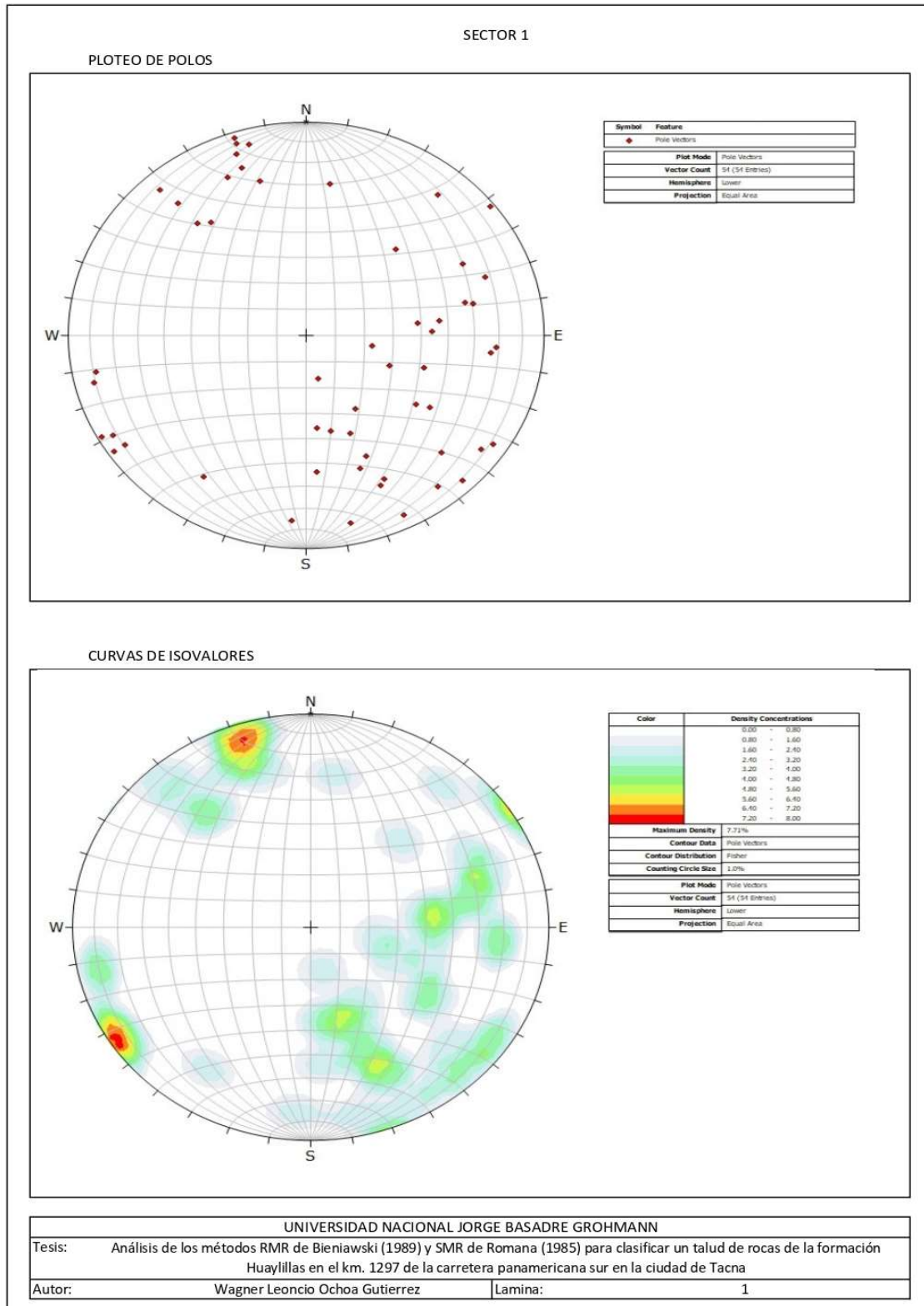
Romana, M. (1993). A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Ratings Compressive Rock Engineering. Pergamon.

Tomas, R. (2009). Propuesta metodológica para la aplicación del Slope Mass Rating Continuo (SMR-C) mediante un sistema de información geográfica. VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Universidad Politécnica de Valencia. CIMNE, Barcelona.

Wilson J. y García W. (1965). *Geología de los cuadrángulos de la Yarada y Tacna, Boletín N° 06*. Comisión Carta geológica Nacional, INGEMMET.

## **ANEXOS**

# Anexo A



SECTOR 1

PLANOS MAYORES

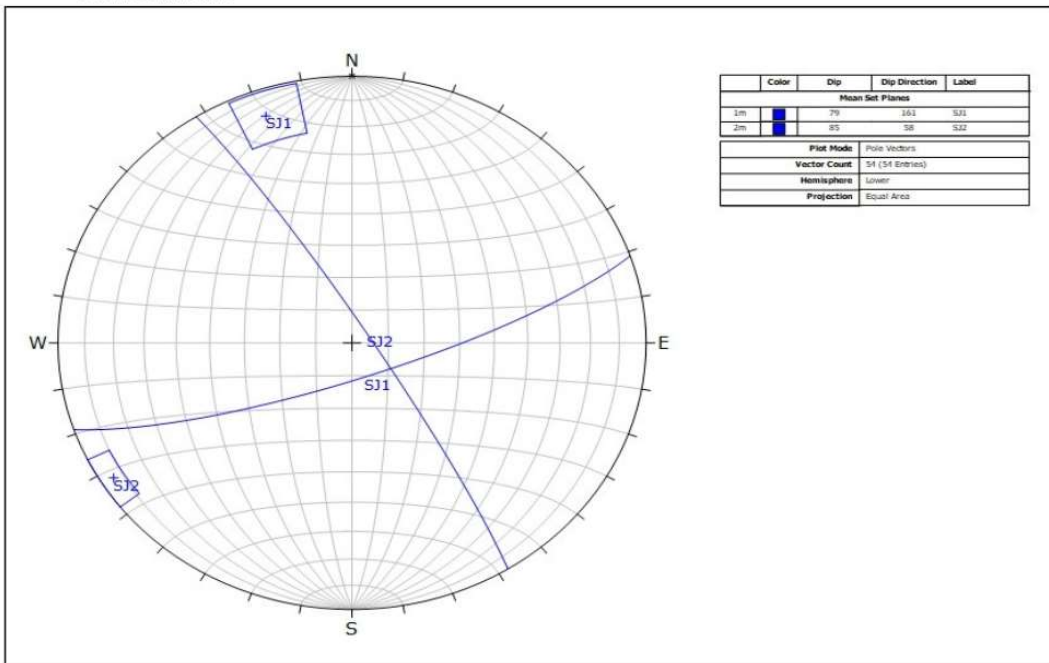
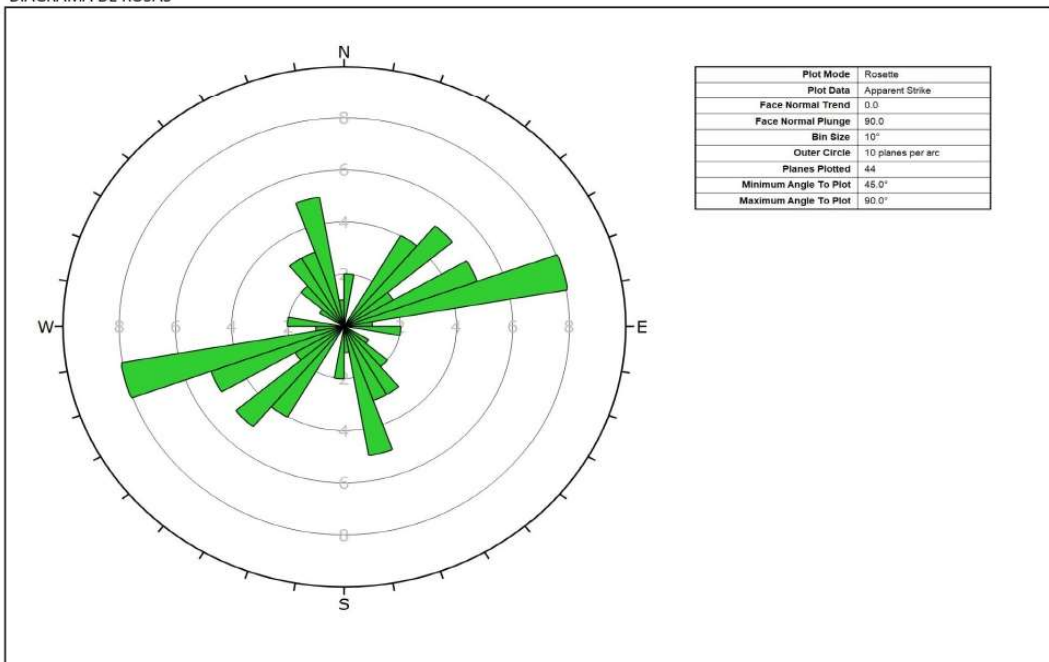


DIAGRAMA DE ROSAS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

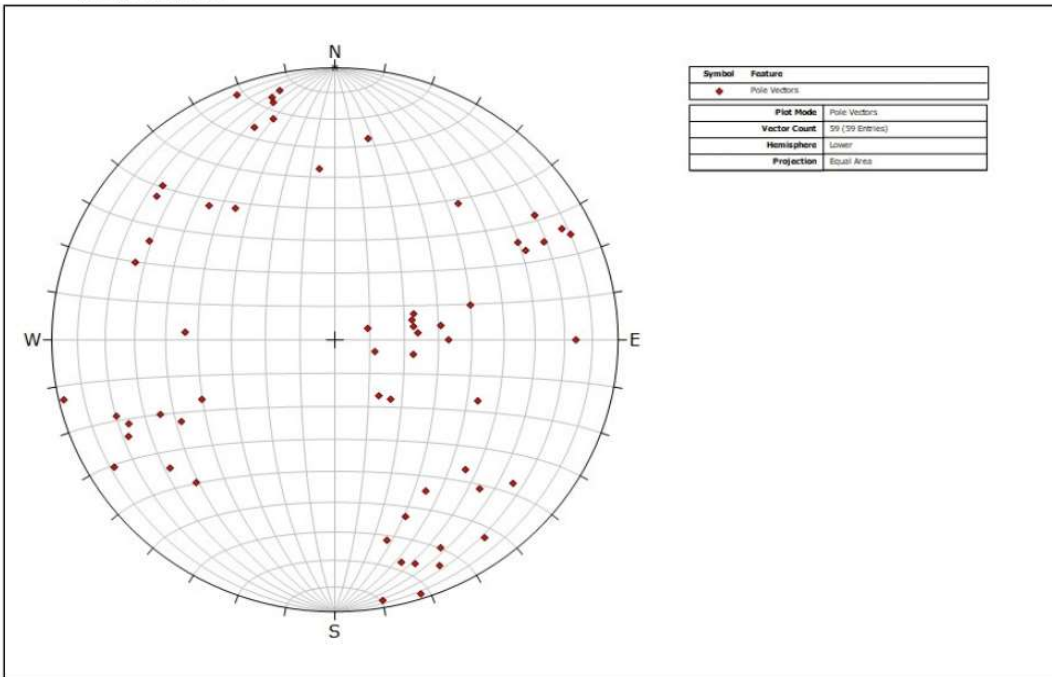
Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

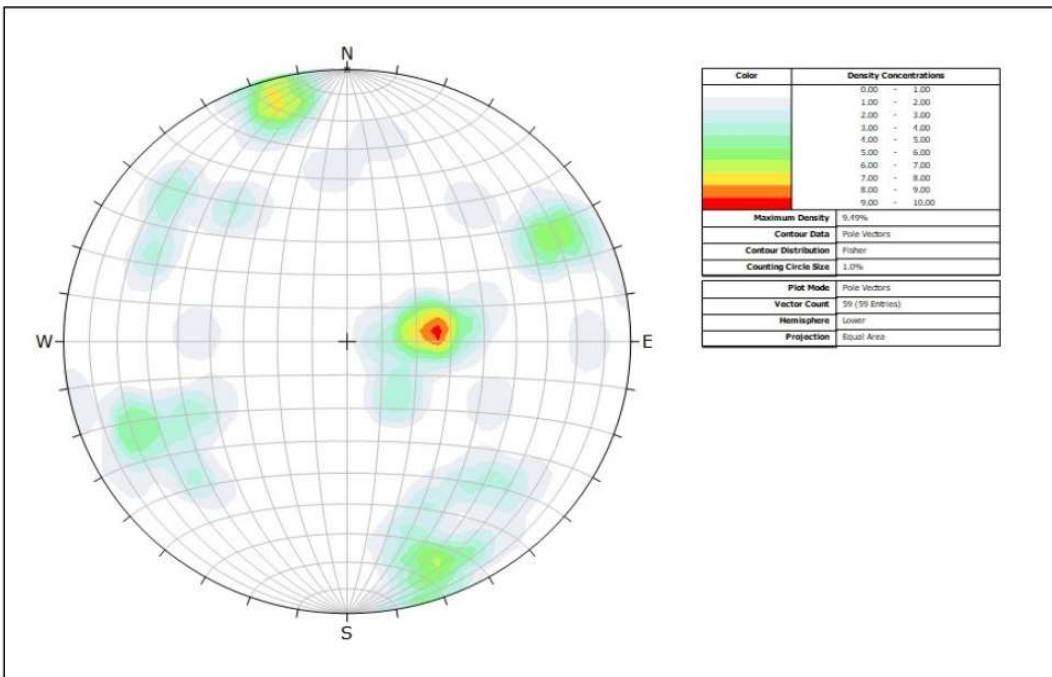
Lamina: 2

SECTOR 2

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 3

SECTOR 2

PLANOS MAYORES

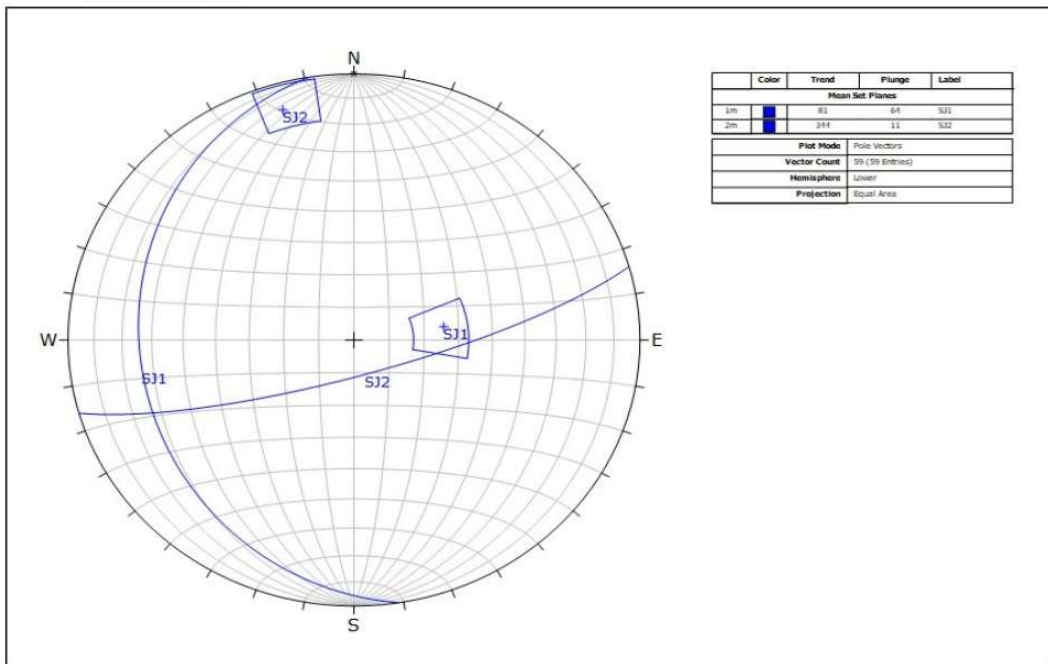
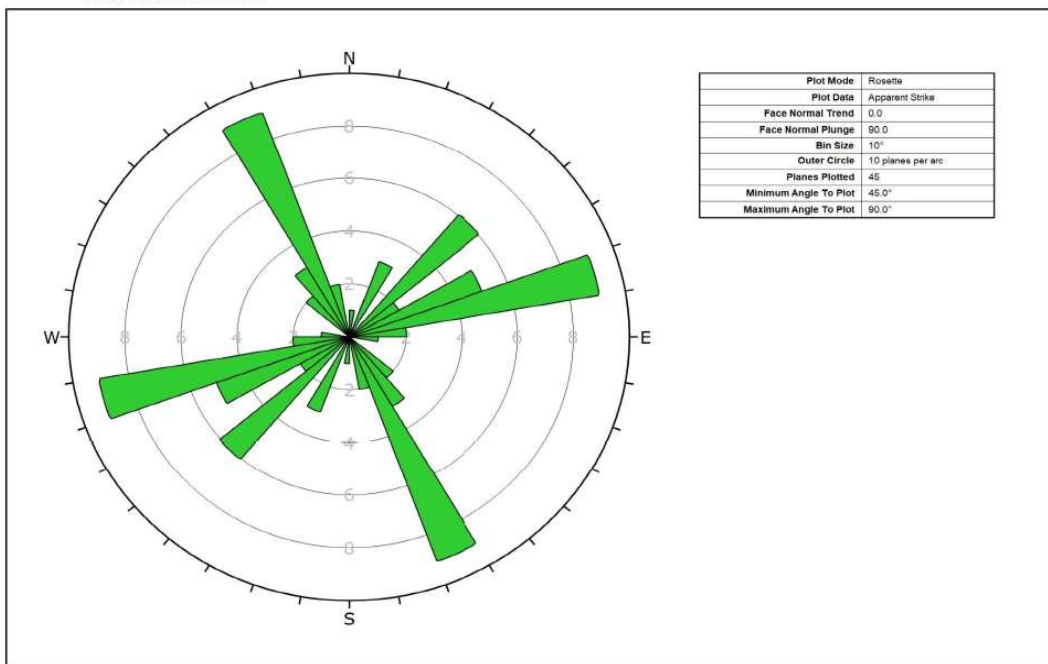


DIAGRAMA DE ROSAS



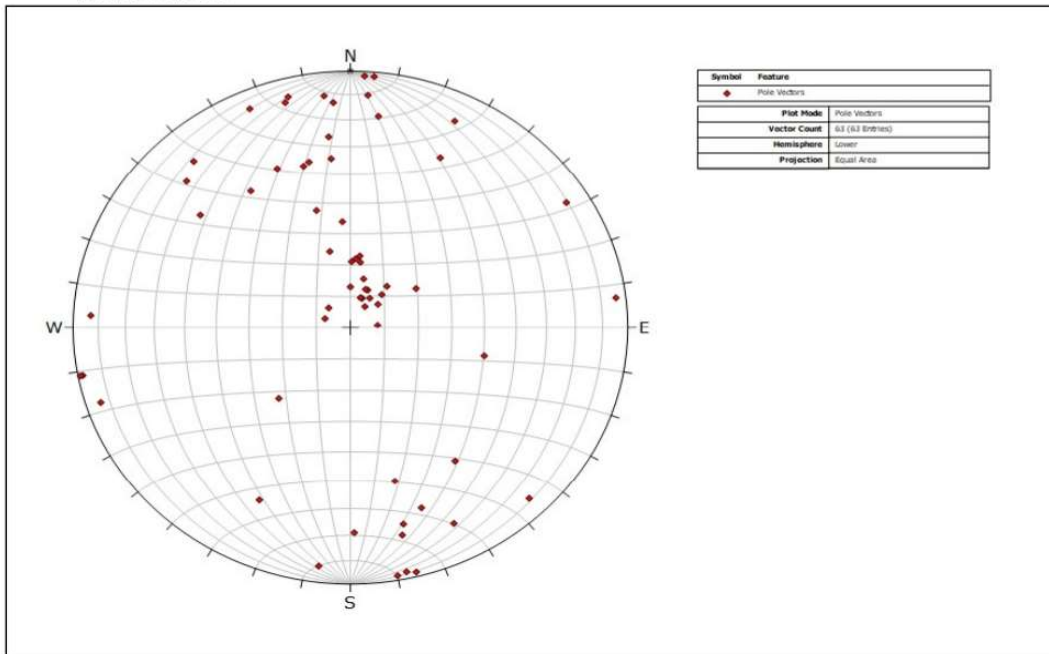
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

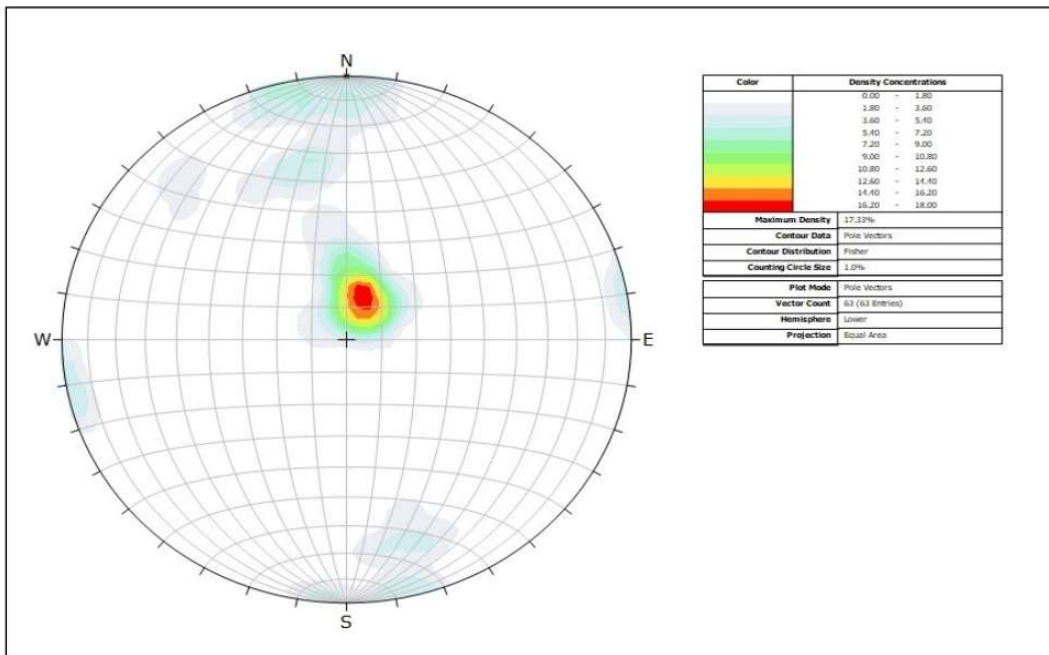
Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez Lamina: 4

SECTOR 3

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina:

5

SECTOR 3

PLANOS MAYORES

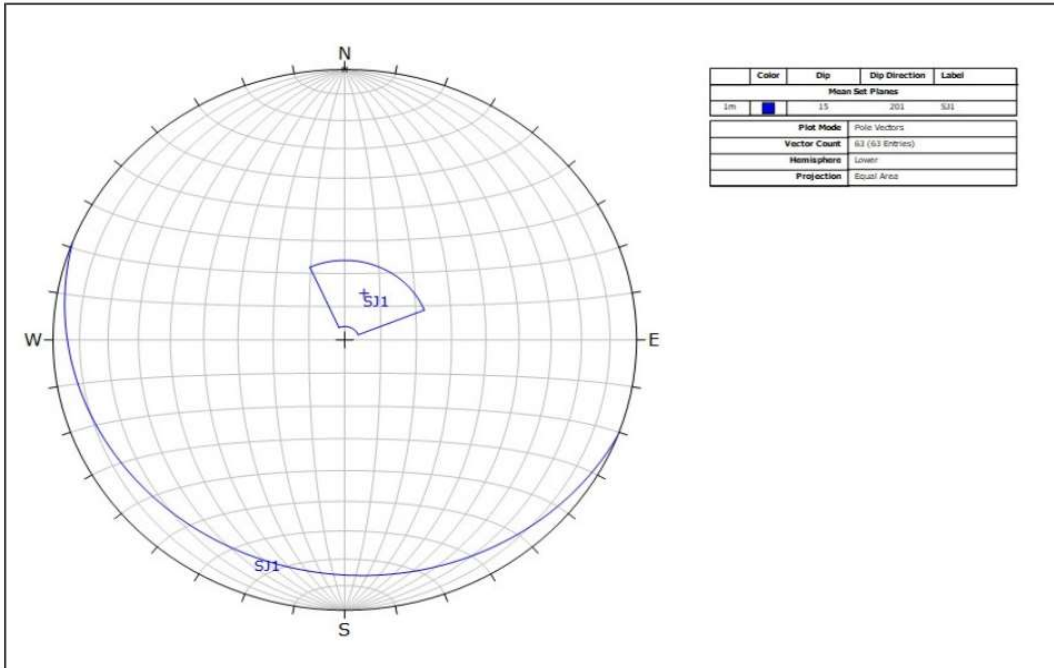
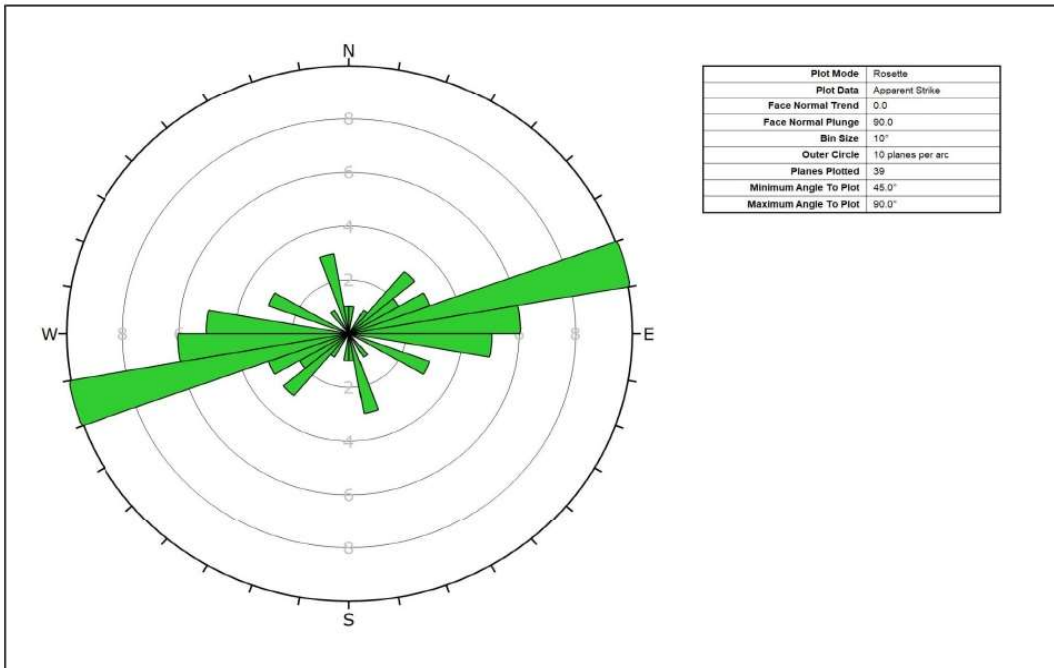


DIAGRAMA DE ROSAS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

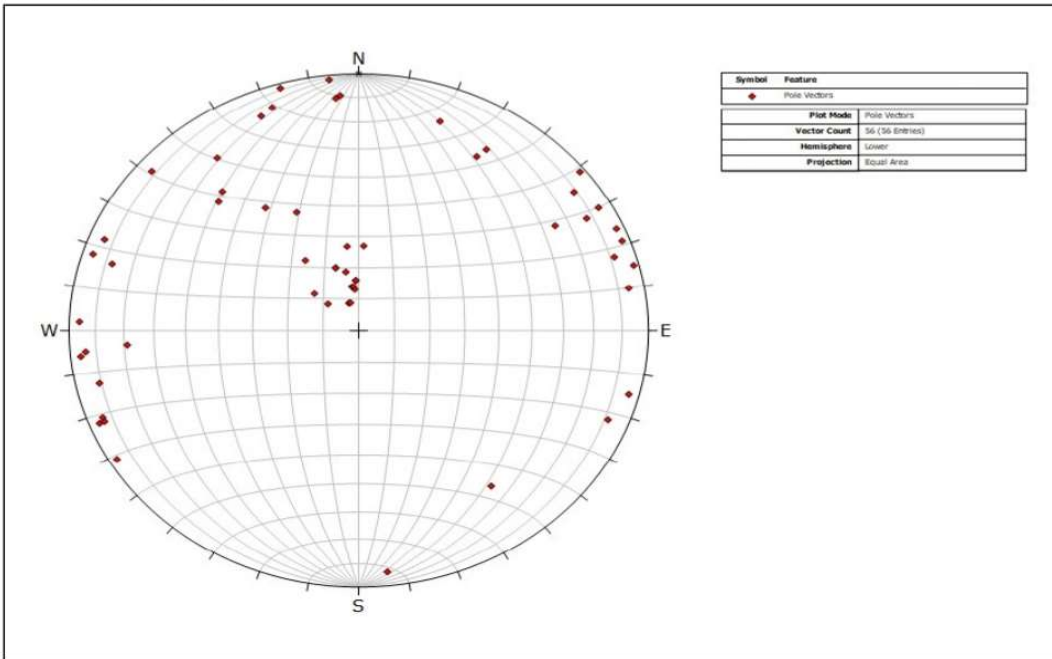
Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

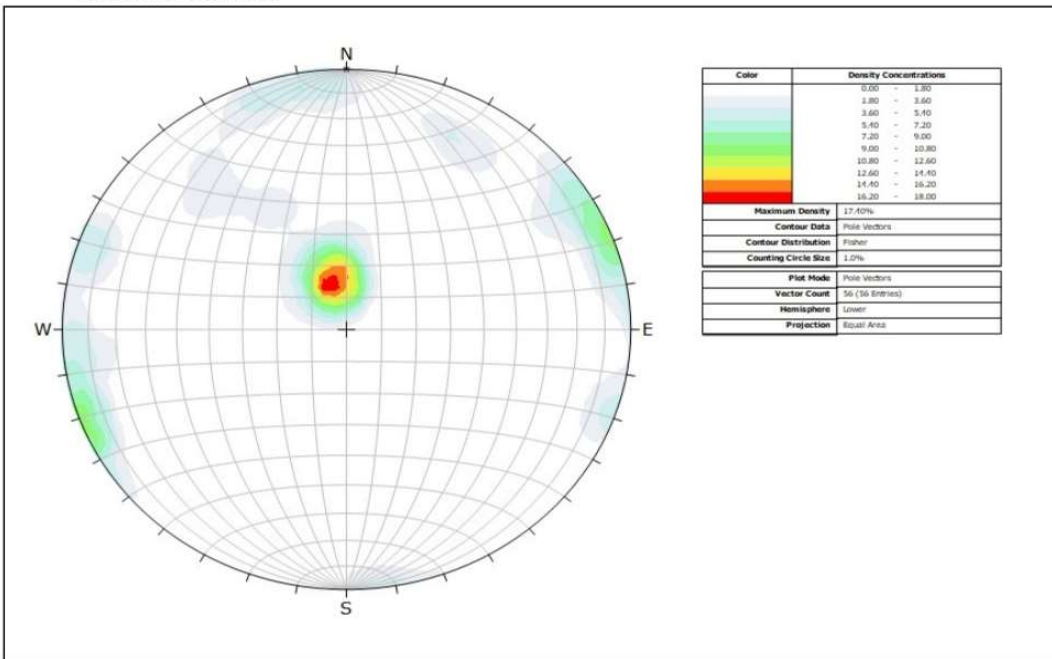
Lamina: 6

SECTOR 4

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 7

SECTOR 4

PLANOS MAYORES

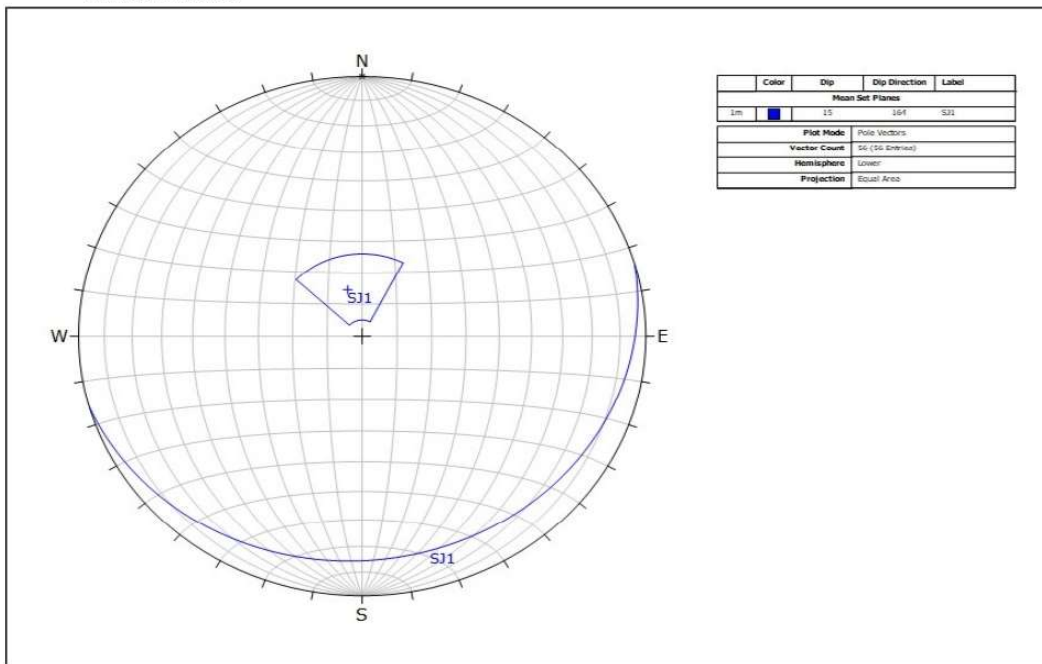
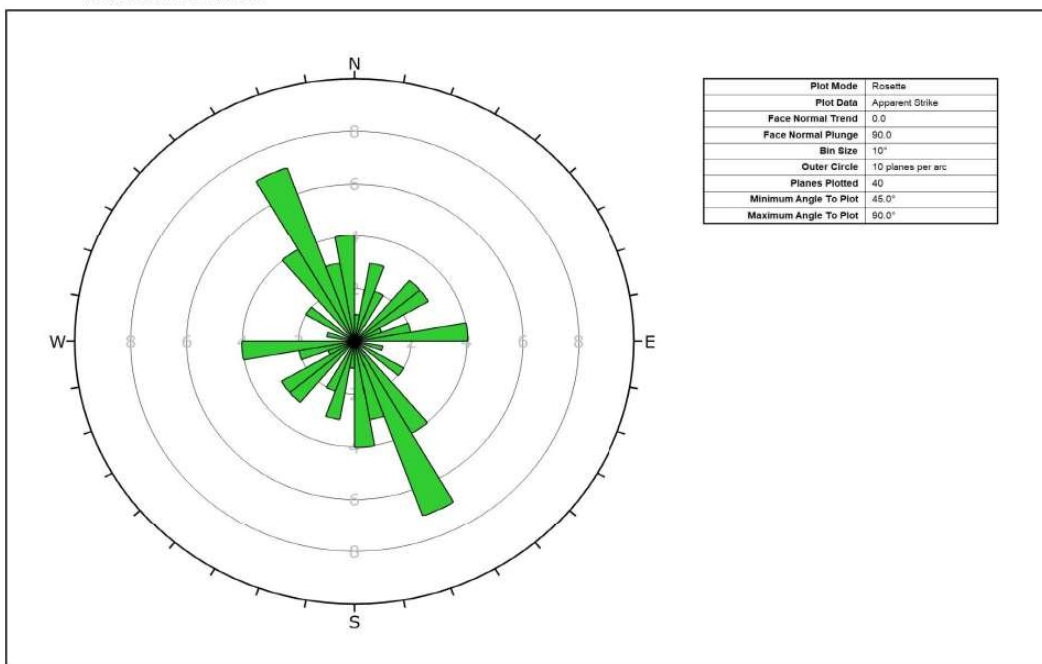


DIAGRAMA DE ROSAS



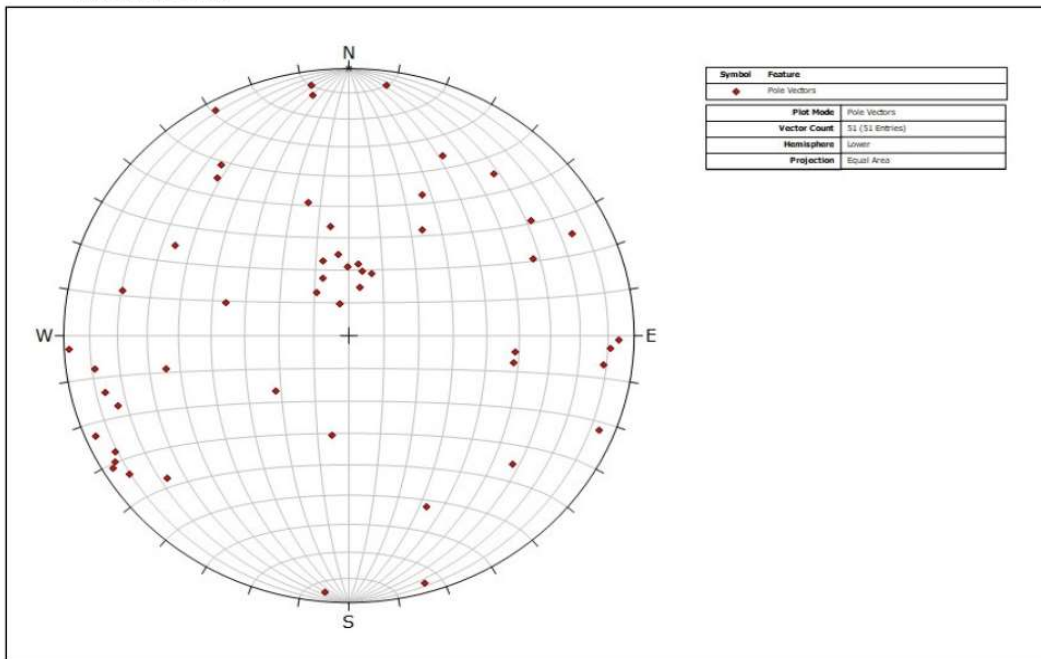
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

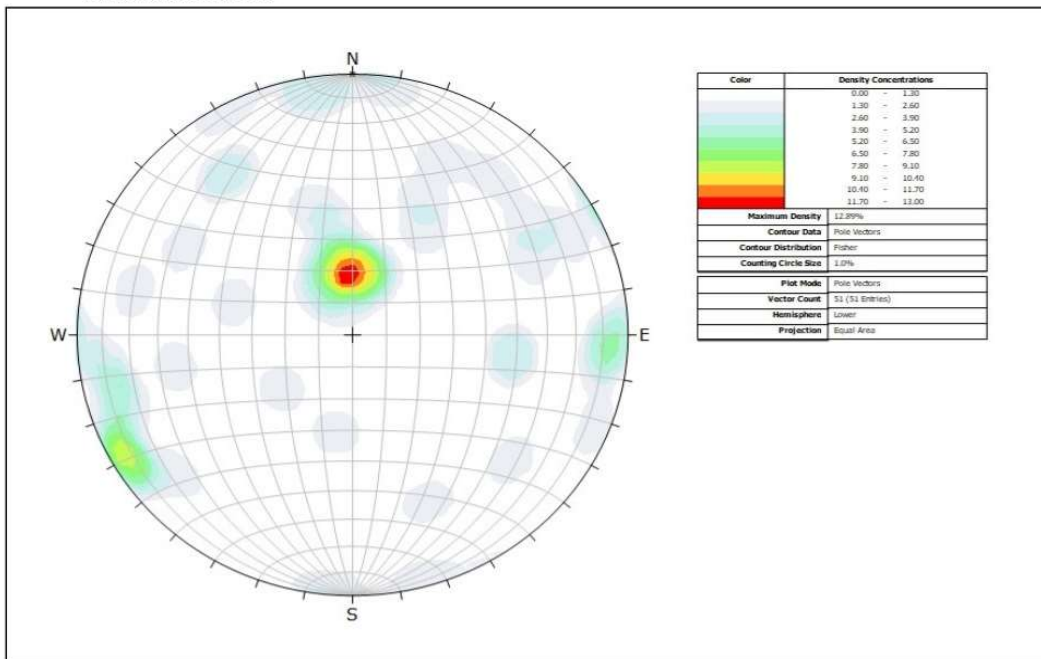
Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez | Lamina: 8

SECTOR 5

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 9

SECTOR 5

PLANOS MAYORES

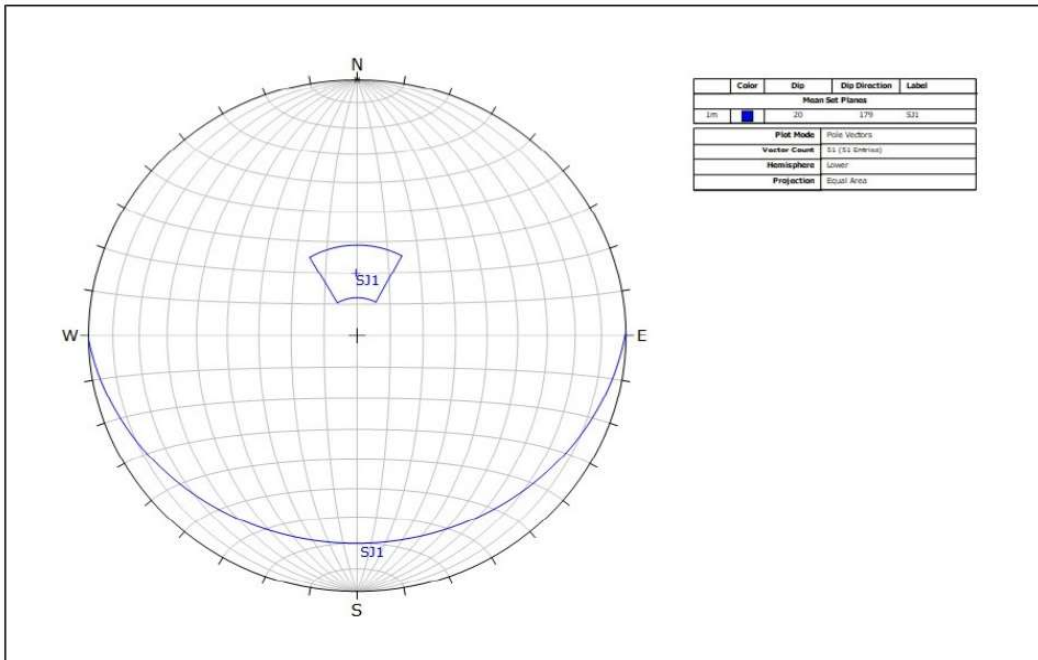
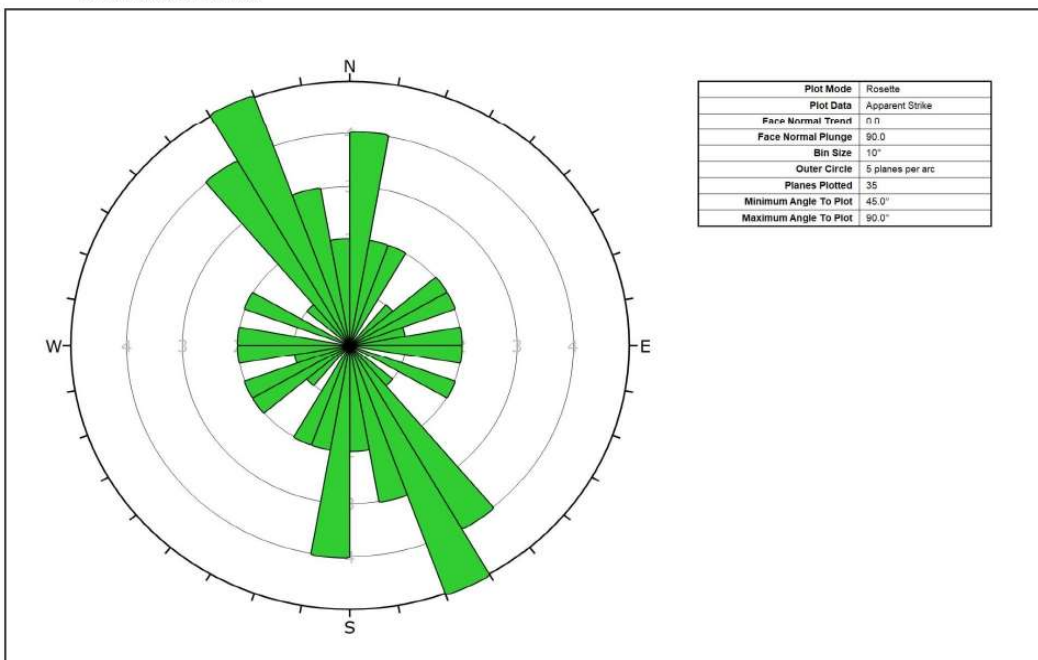


DIAGRAMA DE ROSAS



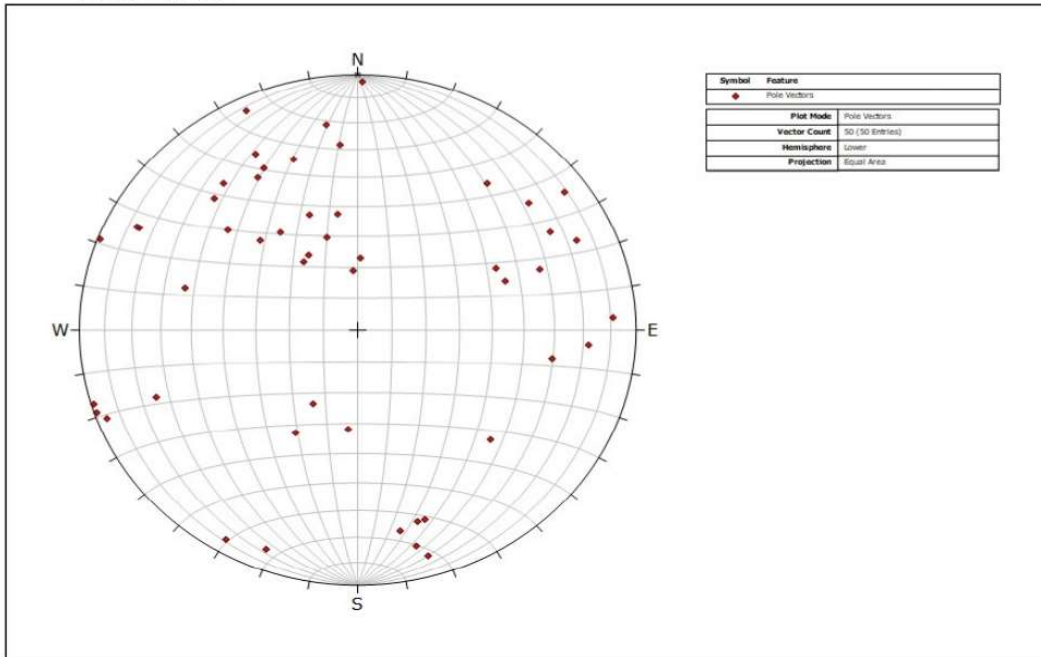
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

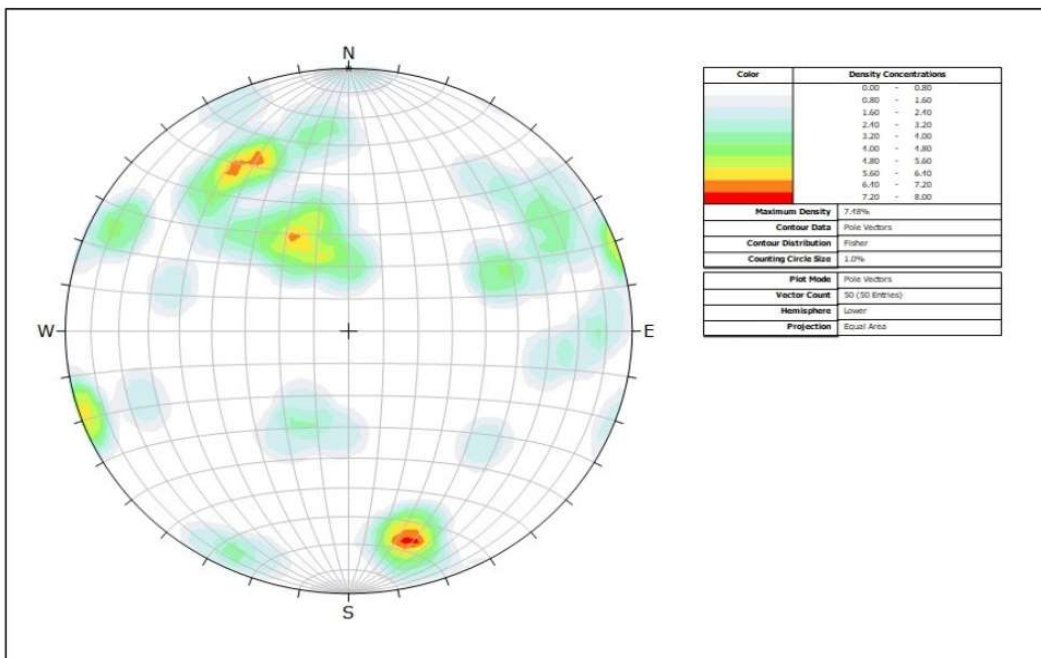
Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez | Lamina: 10

SECTOR 6

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 11

SECTOR 6

PLANOS MAYORES

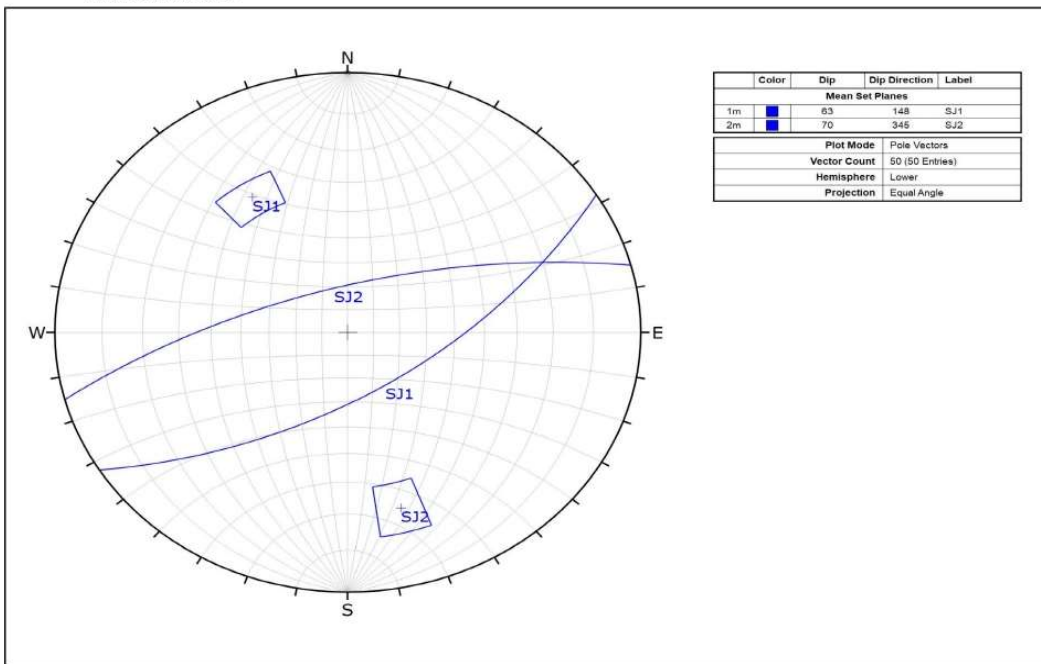
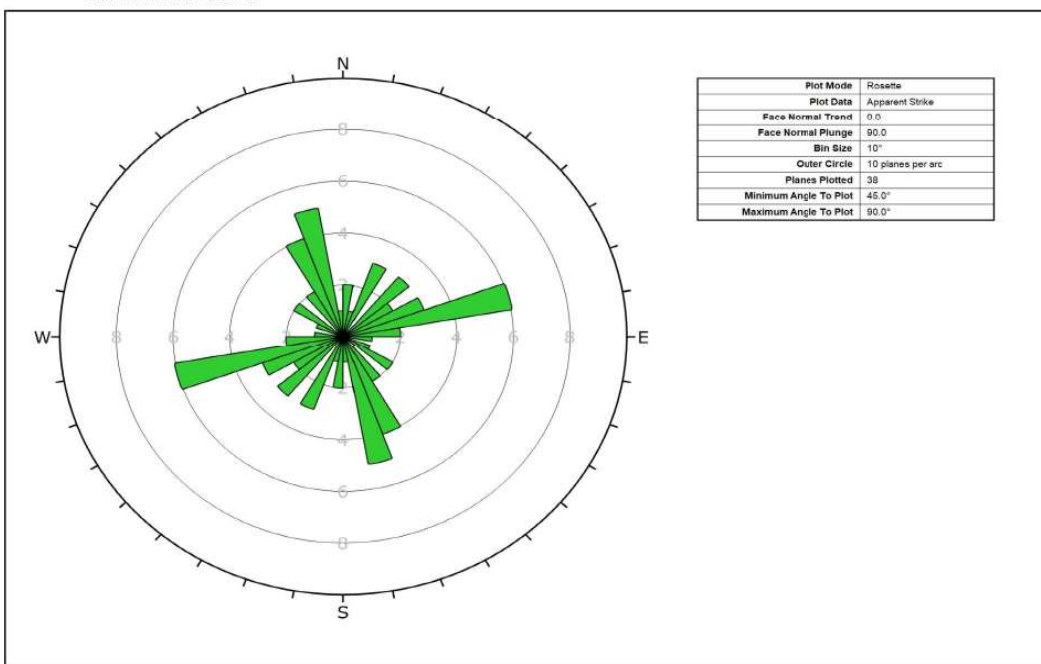


DIAGRAMA DE ROSAS



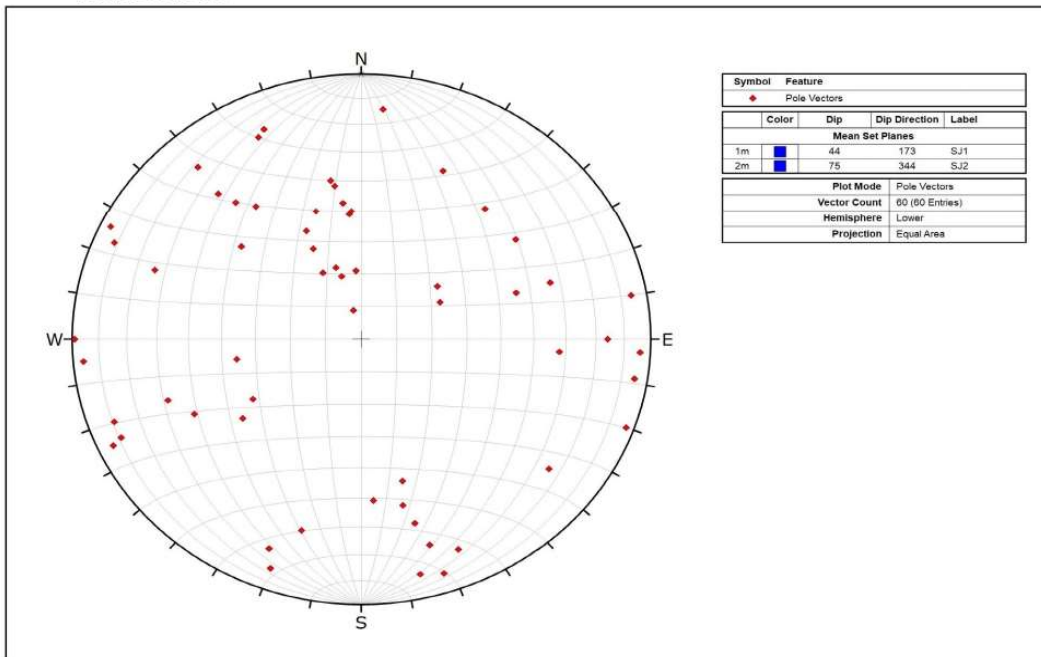
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

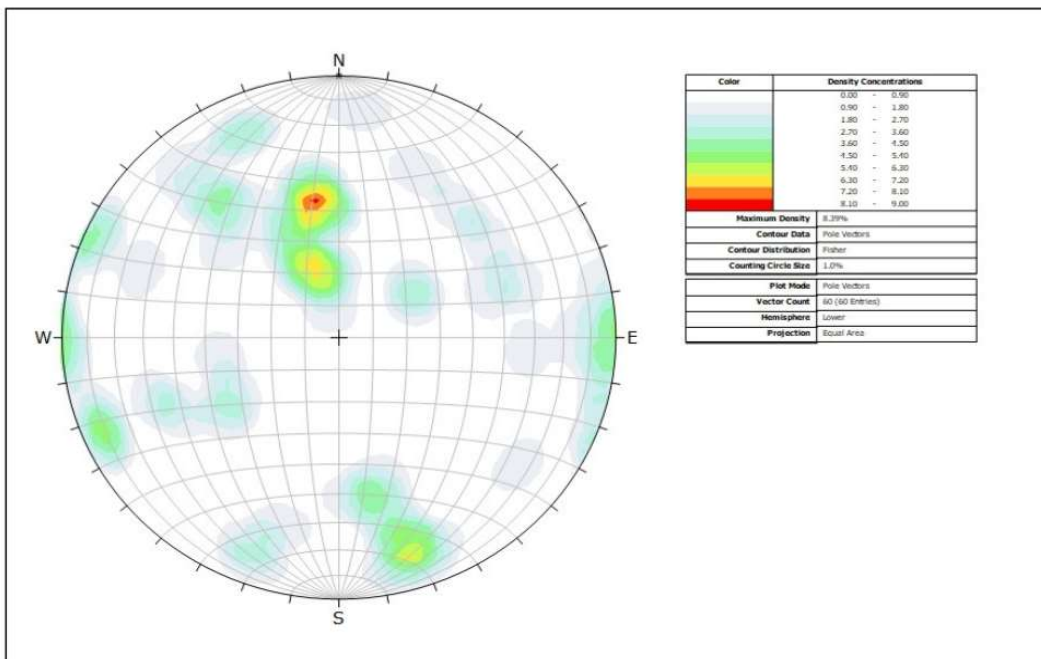
Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez | Lamina: 12

SECTOR 7

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 13

SECTOR 7

PLANOS MAYORES

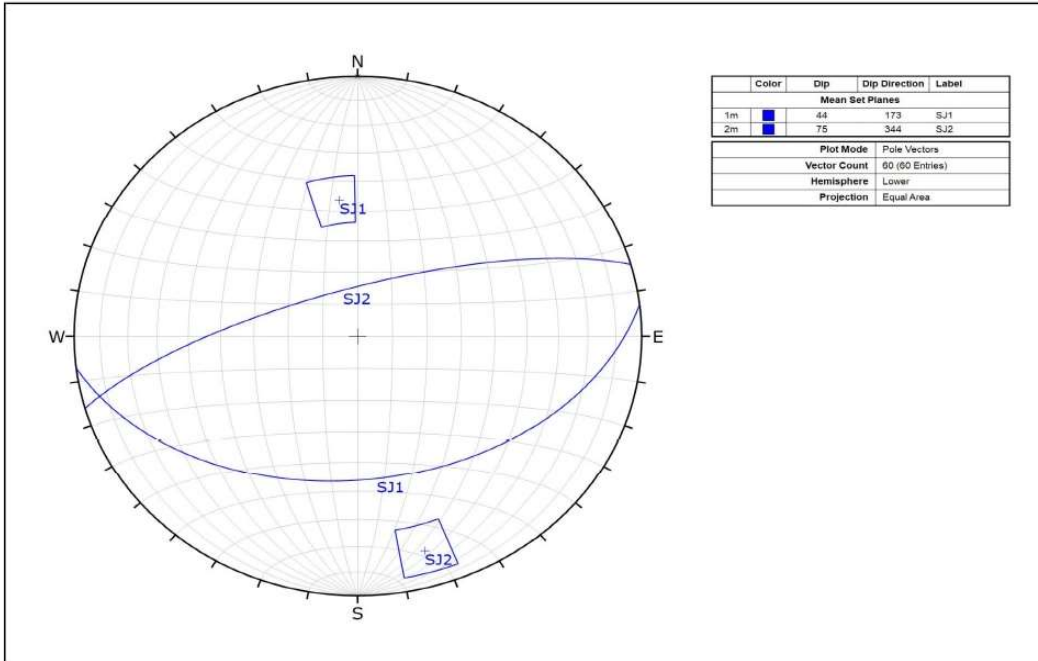
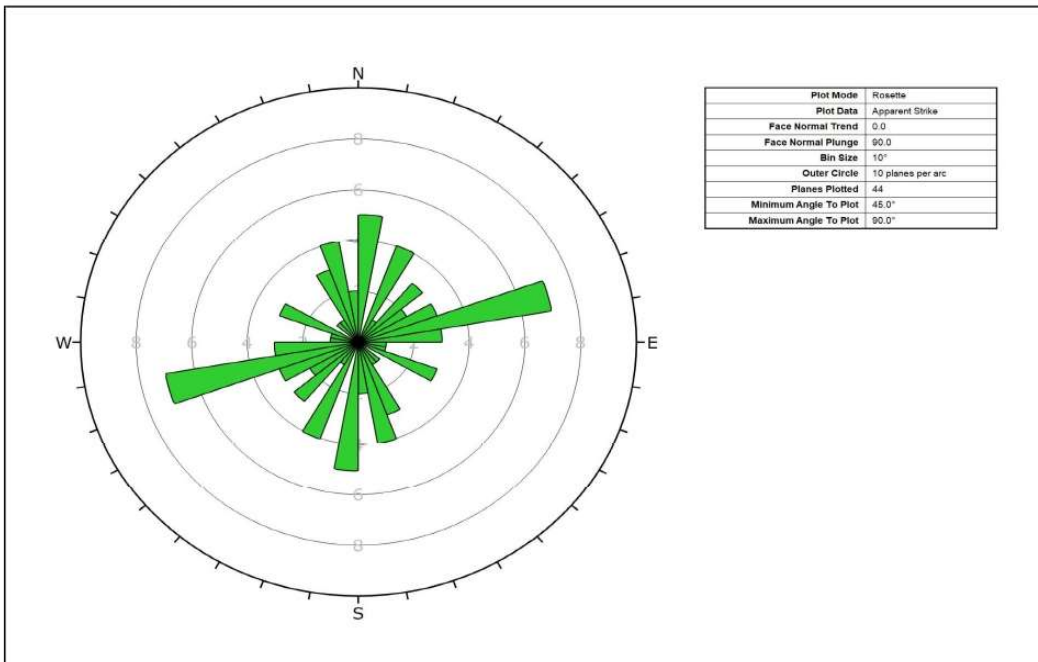


DIAGRAMA DE ROSAS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

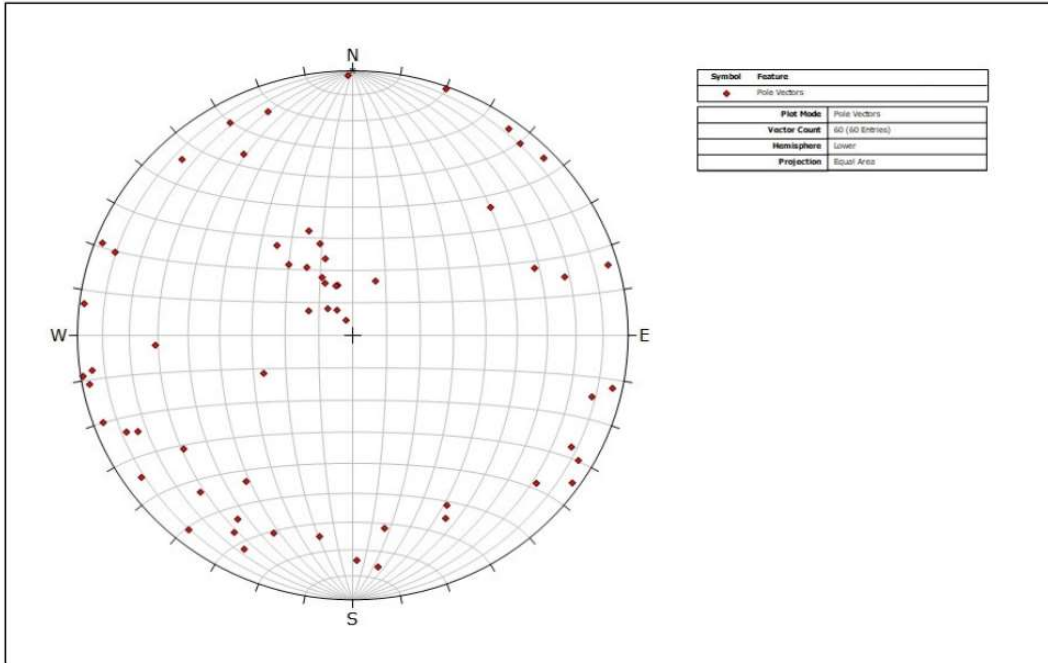
Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

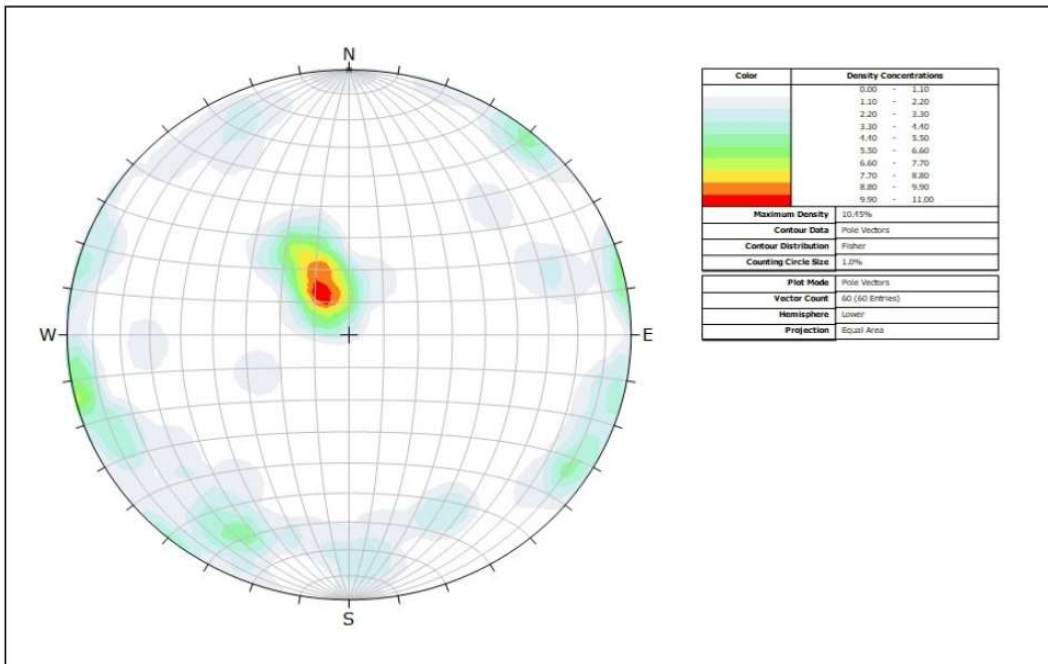
Lamina: 14

SECTOR 8

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 15

SECTOR 8

PLANOS MAYORES

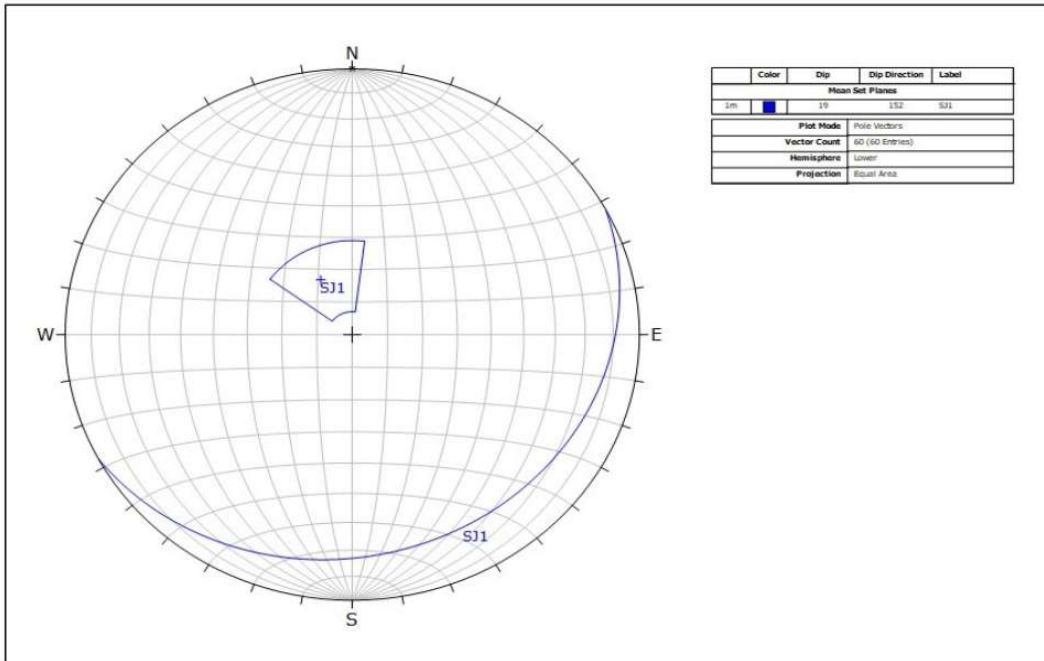
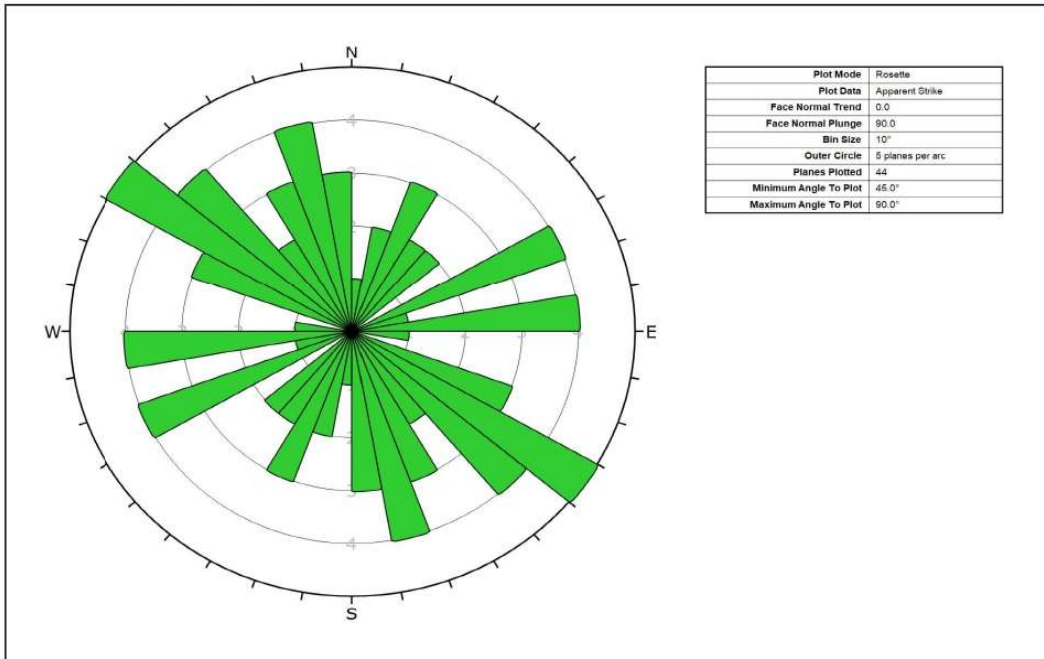


DIAGRAMA DE ROSAS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

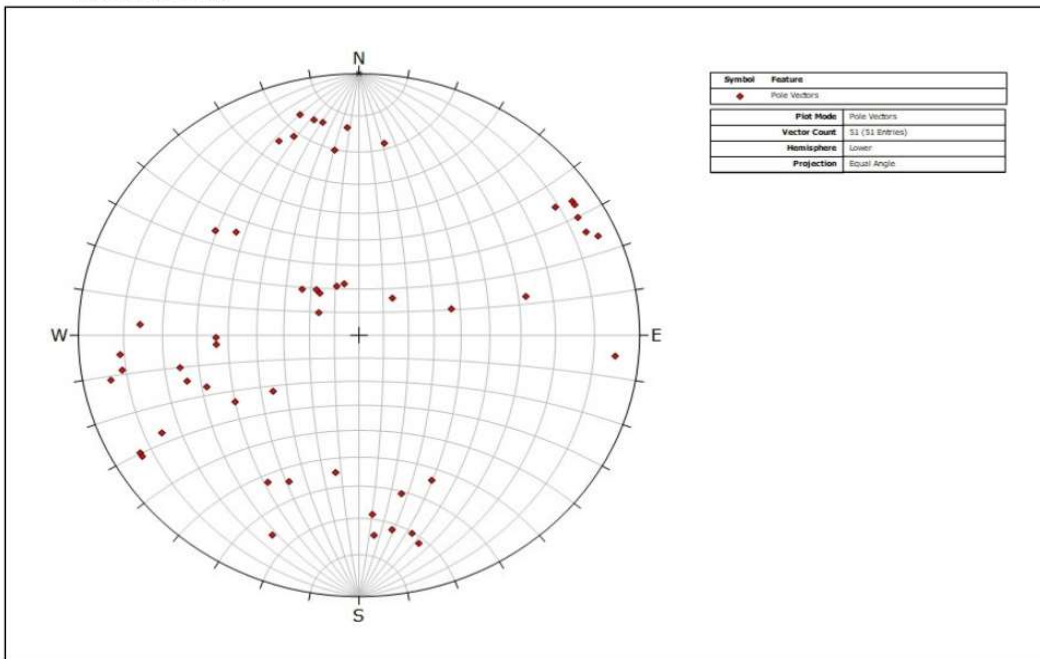
Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

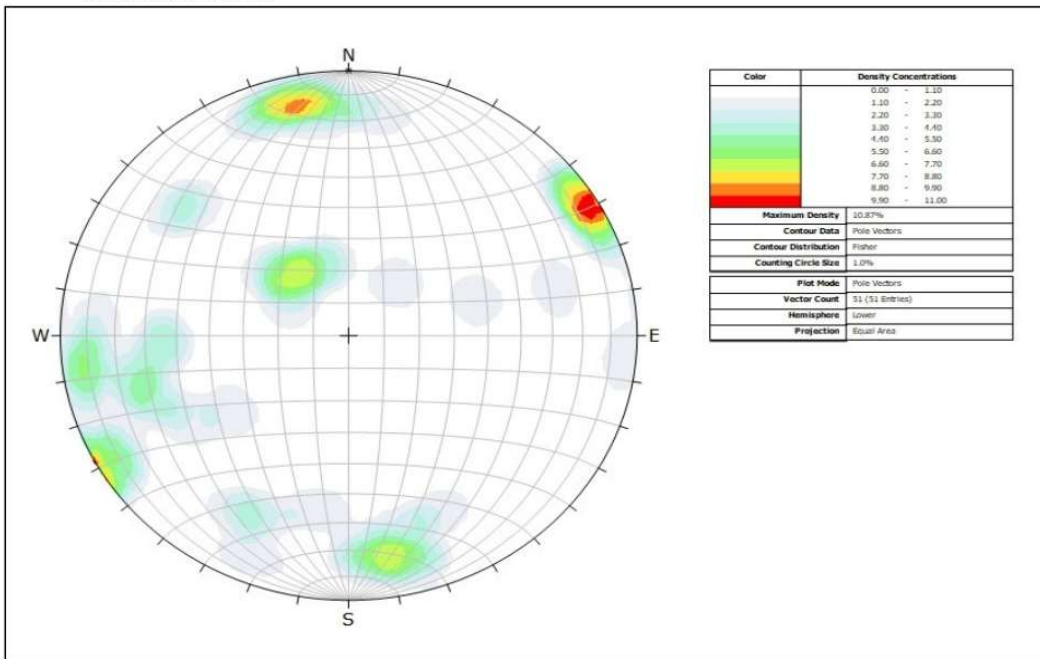
Lamina: 16

SECTOR 9

PLOTEO DE POLOS



CURVAS DE ISOVALORES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez

Lamina: 17

SECTOR 9

PLANOS MAYORES

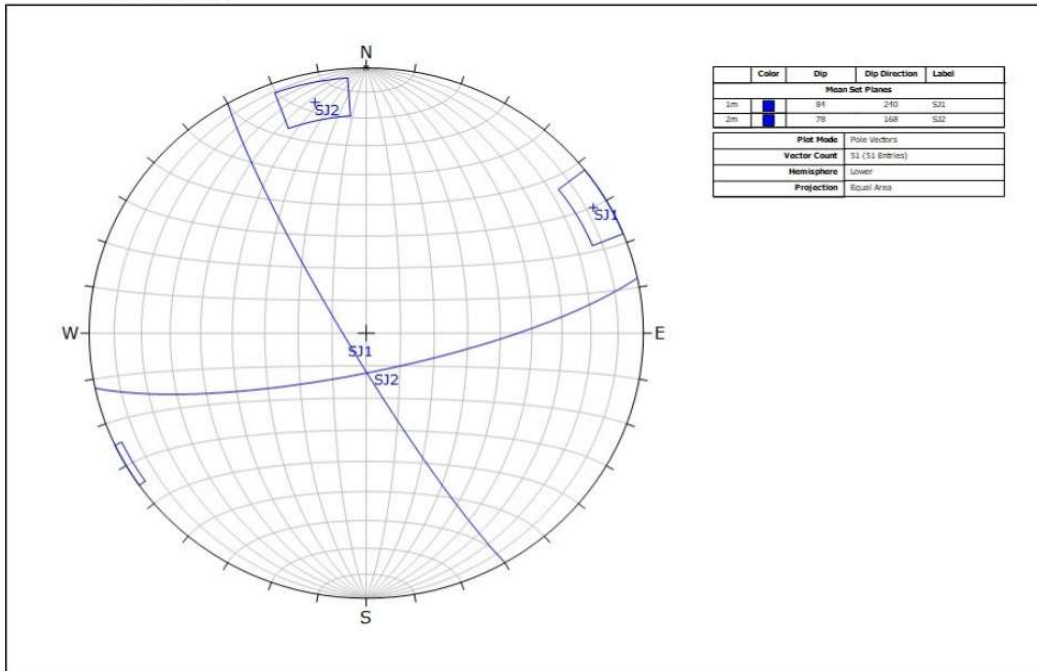
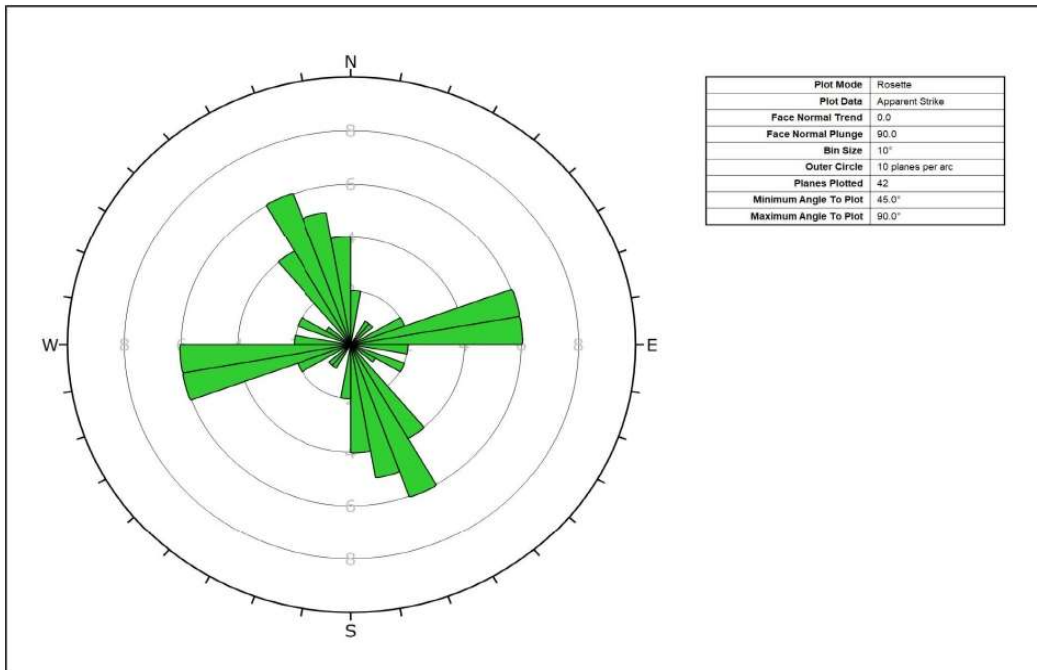


DIAGRAMA DE ROSAS



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Tesis: Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el km. 1297 de la carretera panamericana sur en la ciudad de Tacna

Autor: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez Lamina: 18

## Anexo B

Talud: EG1	Buz: 76°	Dir. Buz 285°
Sector: 1	H: 7.5 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	80	306
2	84	316
3	68	33
4	46	223
5	61	188
6	64	165
7	44	268
8	17	346
9	83	303
10	58	257
11	39	263
12	79	79
13	54	356
14	59	139
15	61	258
16	47	263
17	83	334
18	87	162
19	76	4
20	69	274
21	82	165
22	88	61
23	84	162
24	38	347
25	68	314
26	88	232
27	71	139
28	31	292
29	75	220
30	69	250

N°	BUZ	DIR BUZ
31	56	143
32	47	305
33	33	329
34	52	336
35	70	156
36	63	243
37	52	303
38	79	348
39	66	336
40	87	56
41	64	334
42	43	287
43	81	138
44	67	276
45	36	354
46	79	161
47	83	60
48	72	161
49	79	322
50	41	338
51	81	76
52	81	56
53	56	340
54	23	280
55	-	-
56	-	-
57	-	-
58	-	-
59	-	-
60	-	-

Talud: EG2	Buz: 70°	Dir. Buz 280°
Sector: 2	H: 5.0 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	80	59
2	56	221
3	88	342
4	88	77
5	56	316
6	87	350
7	64	119
8	53	175
9	44	93
10	61	43
11	65	112
12	54	330
13	57	66
14	74	270
15	23	260
16	81	166
17	83	168
18	10	250
19	33	270
20	74	344
21	73	165
22	23	281
23	71	70
24	70	64
25	65	346
26	68	67
27	72	133
28	79	243
29	76	341
30	81	245

N°	BUZ	DIR BUZ
31	43	65
32	56	138
33	63	241
34	50	144
35	71	130
36	64	244
37	23	255
38	79	166
39	72	160
40	79	324
41	64	51
42	24	265
43	80	336
44	24	251
45	64	317
46	31	262
47	64	189
48	86	159
49	41	255
50	74	334
51	59	339
52	71	310
53	52	61
54	71	244
55	73	237
56	46	294
57	12	287
58	21	323
59	24	318
60	-	-

Talud: EG3	Buz: 85°	Dir. Buz 215°
Sector: 3	H: 4.0 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	88	183
2	64	174
3	74	334
4	82	166
5	88	185
6	14	221
7	83	7
8	78	205
9	80	184
10	83	93
11	56	167
12	54	324
13	59	129
14	11	211
15	75	139
16	23	237
17	11	227
18	21	181
19	71	134
20	41	283
21	82	316
22	64	26
23	13	203
24	31	43
25	54	146
26	84	72
27	63	206
28	10	200
29	86	263
30	21	188
31	88	350
32	77	176
33	23	187
34	8	112
35	13	180

N°	BUZ	DIR BUZ
36	52	345
37	87	348
38	69	359
39	8	212
40	39	165
41	17	219
42	25	166
43	13	200
44	56	174
45	82	157
46	8	264
47	80	165
48	80	174
49	57	157
50	55	165
51	9	135
52	72	347
53	34	176
54	64	340
55	88	79
56	72	187
57	68	346
58	22	184
59	89	79
60	10	197
61	16	194
62	88	346
63	81	238
64	-	-
65	-	-
66	-	-
67	-	-
68	-	-
69	-	-
70	-	-

Talud: EG4	Buz: 85°	Dir. Buz 180°
Sector: 4	H: 8.0 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	81	77
2	84	112
3	65	323
4	84	69
5	86	285
6	81	161
7	85	240
8	27	183
9	80	175
10	88	231
11	86	92
12	79	158
13	13	175
14	82	252
15	9	162
16	884	85
17	72	144
18	72	212
19	86	108
20	81	234
21	17	133
22	87	249
23	87	246
24	84	131
25	16	177
26	82	292
27	88	164
28	21	162
29	81	176
30	79	241

N°	BUZ	DIR BUZ
31	86	68
32	27	146
33	61	139
34	42	155
35	68	211
36	21	162
37	19	169
38	75	199
39	59	136
40	9	165
41	27	173
42	84	260
43	78	107
44	12	134
45	87	59
46	88	255
47	48	146
48	68	239
49	14	172
50	84	68
51	16	177
52	69	86
53	84	354
54	86	84
55	88	174
56	14	174
57	-	-
58	-	-
59	-	-
60	-	-

Talud: EG5	Buz: 80°	Dir. Buz 160°
Sector: 5	H: 3.5 a 4.5 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	70	102
2	76	244
3	86	344
4	79	82
5	84	188
6	16	145
7	80	172
8	49	276
9	55	79
10	84	172
11	20	199
12	84	60
13	79	277
14	24	162
15	43	164
16	82	62
17	22	187
18	81	273
19	64	206
20	64	310
21	15	192
22	19	157
23	77	76
24	88	87
25	86	59
26	27	51
27	21	179
28	86	67
29	59	337
30	74	72

N°	BUZ	DIR BUZ
31	20	191
32	84	292
33	86	5
34	64	142
35	72	50
36	67	145
37	60	246
38	84	271
39	25	173
40	49	206
41	31	9
42	59	119
43	82	56
44	10	165
45	49	280
46	39	213
47	66	236
48	34	171
49	86	151
50	37	106
51	68	220
52	-	-
53	-	-
54	-	-
55	-	-
56	-	-
57	-	-
58	-	-
59	-	-
60	-	-

Talud: EG6	Buz: 60°	Dir. Buz 140°
Sector: 6	H: 3.5 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	89	73
2	81	344
3	27	144
4	75	246
5	64	140
6	40	159
7	67	344
8	60	279
9	81	234
10	28	149
11	61	152
12	63	219
13	54	105
14	77	117
15	89	71
16	59	250
17	60	161
18	84	155
19	27	29
20	62	175
21	78	117
22	38	171
23	32	5
24	76	346
25	87	181
26	19	176
27	81	267
28	31	163
29	54	312
30	84	30

N°	BUZ	DIR BUZ
31	23	182
32	69	349
33	67	342
34	39	144
35	89	111
36	59	149
37	62	135
38	70	172
39	68	241
40	38	29
41	46	244
42	47	250
43	51	130
44	81	21
45	66	70
46	41	135
47	86	69
48	68	231
49	72	274
50	67	152
51	-	-
52	-	-
53	-	-
54	-	-
55	-	-
56	-	-
57	-	-
58	-	-
59	-	-
60	-	-

Talud: EG7	Buz: 65°	Dir. Buz 140°
Sector: 7	H: 5.0 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	74	270
2	42	54
3	55	235
4	25	243
5	82	113
6	57	140
7	58	274
8	36	80
9	70	307
10	84	65
11	42	162
12	60	71
13	82	342
14	20	164
15	9	166
16	80	66
17	59	204
18	47	252
19	31	154
20	85	279
21	84	260
22	70	343
23	61	345
24	45	130
25	81	20
26	58	252
27	75	337
28	86	85
29	76	185
30	23	162

N°	BUZ	DIR BUZ
31	73	155
32	80	70
33	23	152
34	54	64
35	70	343
36	75	139
37	36	59
38	75	157
39	74	22
40	86	273
41	52	144
42	63	138
43	27	233
44	55	221
45	51	170
46	80	347
47	87	290
48	86	116
49	21	176
50	39	175
51	37	155
52	54	347
53	65	110
54	51	356
55	49	171
56	89	90
57	40	176
58	46	345
59	43	173
60	64	16

Talud: EG8	Buz: 60°	Dir. Buz 140°
Sector: 8	H: 7.4 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	79	160
2	81	151
3	84	39
4	83	55
5	5	157
6	69	254
7	87	79
8	69	21
9	61	87
10	79	26
11	30	161
12	35	158
13	60	249
14	77	354
15	86	282
16	64	55
17	16	164
18	70	31
19	66	334
20	79	298
21	70	43
22	75	65
23	57	35
24	20	153
25	25	161
26	18	202
27	36	141
28	16	162
29	89	200
30	88	179

N°	BUZ	DIR BUZ
31	79	285
32	86	216
33	25	147
34	74	359
35	84	300
36	29	139
37	87	305
38	75	30
39	86	226
40	63	351
41	87	111
42	89	81
43	9	149
44	79	66
45	86	70
46	29	66
47	11	138
48	62	332
49	76	310
50	85	82
51	80	137
52	84	220
53	81	110
54	59	226
55	15	120
56	68	150
57	88	97
58	66	9
59	86	254
60	18	153

Talud: EG9	Buz: 70°	Dir. Buz 145°
Sector: 9	H: 4.5 metros	

N°	BUZ	DIR BUZ
1	54	89
2	84	60
3	82	166
4	41	55
5	54	86
6	63	335
7	73	187
8	84	79
9	81	85
10	71	173
11	85	236
12	63	256
13	21	220
14	77	62
15	56	9
16	77	159
17	64	346
18	85	275
19	81	81
20	76	93
21	63	24
22	61	132
23	86	246
24	84	244
25	79	345
26	84	59
27	69	356
28	76	346
29	84	240
30	66	128

N°	BUZ	DIR BUZ
31	38	253
32	66	79
33	79	22
34	19	121
35	66	30
36	79	171
37	30	131
38	77	177
39	75	356
40	85	237
41	77	163
42	80	169
43	24	139
44	74	351
45	23	157
46	65	74
47	81	235
48	54	60
49	60	70
50	23	165
51	26	139
52	-	-
53	-	-
54	-	-
55	-	-
56	-	-
57	-	-
58	-	-
59	-	-
60	-	-

## Anexo C

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR												
MAPEO LINEAL												
Ubicación: Talud de ignimbrita					Ubicación: Talud de ignimbrita							
Hecho por: Wagner Leoncio Ochoa Gutiérrez					Hecho por: Wagner Leoncio Ochoa Gutiérrez							
Litología: Roca ignimbrita					Litología: Roca ignimbrita							
Lámina: 01					Fecha: Enero - 2022							
Registro: Estación geomecánica												
N°	Resistencia a la Compresión		Espaciamento entre discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES			Alteración	Precencia de Agua			RMR Básico	
	15	12		Persistencia	Abertura	Rugosidad		Relleno	15	10		7
EG1	1 - > 250 Mpa	2 - 100-250 Mpa	1 - > 2 m 2 - 0.6-2 m 3 - 200-600 mm 4 - 60-200 mm 5 - < 60 mm	1 - < 1 m 2 - 1-3 m 3 - 3-10 m 4 - 10-20 m 5 - > 20 m	1 - Muy rugosa 2 - Rugoso 3 - Ligeramente rugosa 4 - Lisa 5 - Muy lisa	1 - Ninguna 2 - Relleno duro < 5mm 3 - Relleno duro > 5mm 4 - Relleno blando < 5mm 5 - Relleno blando > 5mm	1 - No meteorizada 2 - Ligeramente meteorizada 3 - Moderadamente meteorizada 4 - Altamente meteorizada 5 - Descompuesta	1 - Completamente seco 2 - Húmedo 3 - Mojado 4 - Goteo 5 - Flujo	15	15	15	61.00
EG2	1 - 90-100%	2 - 75-90%	1 - 2 m 2 - 0.6-2 m 3 - 200-600 mm 4 - 60-200 mm 5 - < 60 mm	1 - < 1 m 2 - 1-3 m 3 - 3-10 m 4 - 10-20 m 5 - > 20 m	1 - Muy rugosa 2 - Rugoso 3 - Ligeramente rugosa 4 - Lisa 5 - Muy lisa	1 - Ninguna 2 - Relleno duro < 5mm 3 - Relleno duro > 5mm 4 - Relleno blando < 5mm 5 - Relleno blando > 5mm	1 - No meteorizada 2 - Ligeramente meteorizada 3 - Moderadamente meteorizada 4 - Altamente meteorizada 5 - Descompuesta	1 - Completamente seco 2 - Húmedo 3 - Mojado 4 - Goteo 5 - Flujo	15	15	15	61.00
EG3	1 - > 250 Mpa	2 - 100-250 Mpa	1 - > 2 m 2 - 0.6-2 m 3 - 200-600 mm 4 - 60-200 mm 5 - < 60 mm	1 - < 1 m 2 - 1-3 m 3 - 3-10 m 4 - 10-20 m 5 - > 20 m	1 - Muy rugosa 2 - Rugoso 3 - Ligeramente rugosa 4 - Lisa 5 - Muy lisa	1 - Ninguna 2 - Relleno duro < 5mm 3 - Relleno duro > 5mm 4 - Relleno blando < 5mm 5 - Relleno blando > 5mm	1 - No meteorizada 2 - Ligeramente meteorizada 3 - Moderadamente meteorizada 4 - Altamente meteorizada 5 - Descompuesta	1 - Completamente seco 2 - Húmedo 3 - Mojado 4 - Goteo 5 - Flujo	15	15	15	61.00

Corrección por orientación de discontinuidades				
Taludes	Muy favorables		muy desfavorables	
	0	-5	-25	-50
RMR	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

Estación geomecánica	Ajuste		RMR (Corregido)
	Condiciones muy favorables	Condiciones favorables	
EG1	0	-5	61
EG2	0	-5	56
EG3	0	-5	56

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR		Ubicación: Talud de ignimbrita								
MAPEO LINEAL		Hecho por: Wagner Leoncio Ochoa Gutiérrez								
Registro: Estación geomecánica		Litología: Roca ignimbrita								
		Fecha: Enero - 2022								
		Lámina: 02								
N°	OC	ROD	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Precedencia de Agua	RMR Básico	
	Resistencia a la Compresión		Espaciamiento entre discontinuidad	Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno			Alteración
EG4	1 - > 250 Mpa 2 - 100-250 Mpa 3 - 50-100 Mpa 4 - 25-50 Mpa 5 - < 25 Mpa	20 17 13 8 3	1 - > 2 m 2 - 0.6-2 m 3 - 200-600 mm 4 - 60-200 mm 5 - < 60 mm	1 - < 1 m 2 - 1-3 m 3 - 3-10 m 4 - 10-20 m 5 - > 20 m	1 - Cerrada 0 2 - Muy Angosta < 0.1 mm 3 - Muy Angosta 0.1 - 1.0 mm 4 - Abierta 1.0 - 5.0 mm 5 - Muy abierta > 5.0 mm	1 - Muy rugoso 2 - Rugoso 3 - Ligeramente rugosa 4 - Lisa 5 - Muy lisa	1 - Ninguna 2 - Relleno duro < 5mm 3 - Relleno duro > 5mm 4 - Relleno blando < 5mm 5 - Relleno blando > 5mm	1 - No meteorizada 2 - Ligeramente meteorizada 3 - Moderadamente meteorizada 4 - Altamente meteorizada 5 - Descompuesta	1 - Completamente seco 2 - Húmedo 3 - Mojado 4 - Gotero 5 - Flujo	60.00
EG5		17	15	2	4	3	1	3	15	67.00
EG6		17	15	2	1	3	2	3	15	62.00

Corrección por orientación de discontinuidades			
Taludes	Muy favorables	favorables	muy desfavorables
0	-5	-25	-60

RMR	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

Estación geomecánica	Ajuste	RMR (Corregido)
EG1	Condiciones favorables	55
EG2	Condiciones favorables	62
EG3	Condiciones favorables	57

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR										Ubicación: Talud de ignimbrita	
MAPEO LINEAL										Hecho por: Wagner Leoncio Ochoa Gutiérrez	
Registro: Estación geomecánica										Litología: Roca ignimbrita	
										Fecha: Enero - 2022	
										Lámina: 03	
N°	dc Resistencia a la Compresión	ROD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES					Precencia de Agua	RMR Básico	
				Persistencia	Abertura	Rugosidad	Relleno	Alteración			
EG7	7	20	10	2	4	3	2	5	15	68.00	
EG8	4	20	15	4	1	3	2	3	15	67.00	
EG9	7	20	15	4	0	3	2	5	15	71.00	

Corrección por orientación de discontinuidades				
Taludes	Muy favorables		muy desfavorables	
	favorables	medias	desfavorables	muy desfavorables
0	-5	-25	-50	-60

RMR	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
DESCRIPCION	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA

Estación geomecánica	Ajuste	RMR (Corregido)
EG1	Condiciones favorables	63
EG2	Condiciones favorables	62
EG3	Condiciones favorables	66

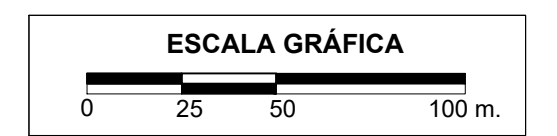
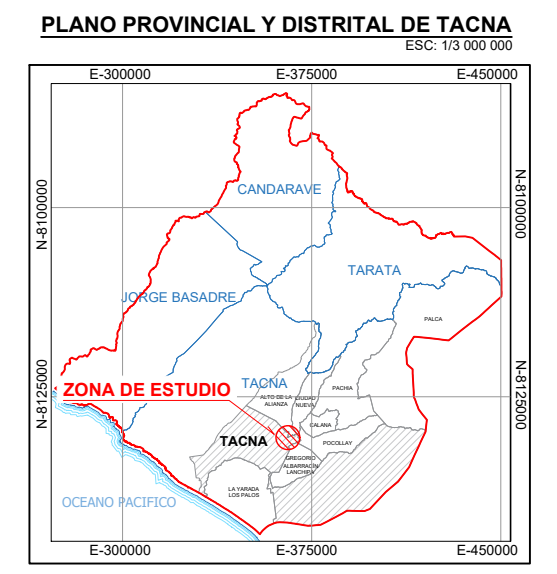
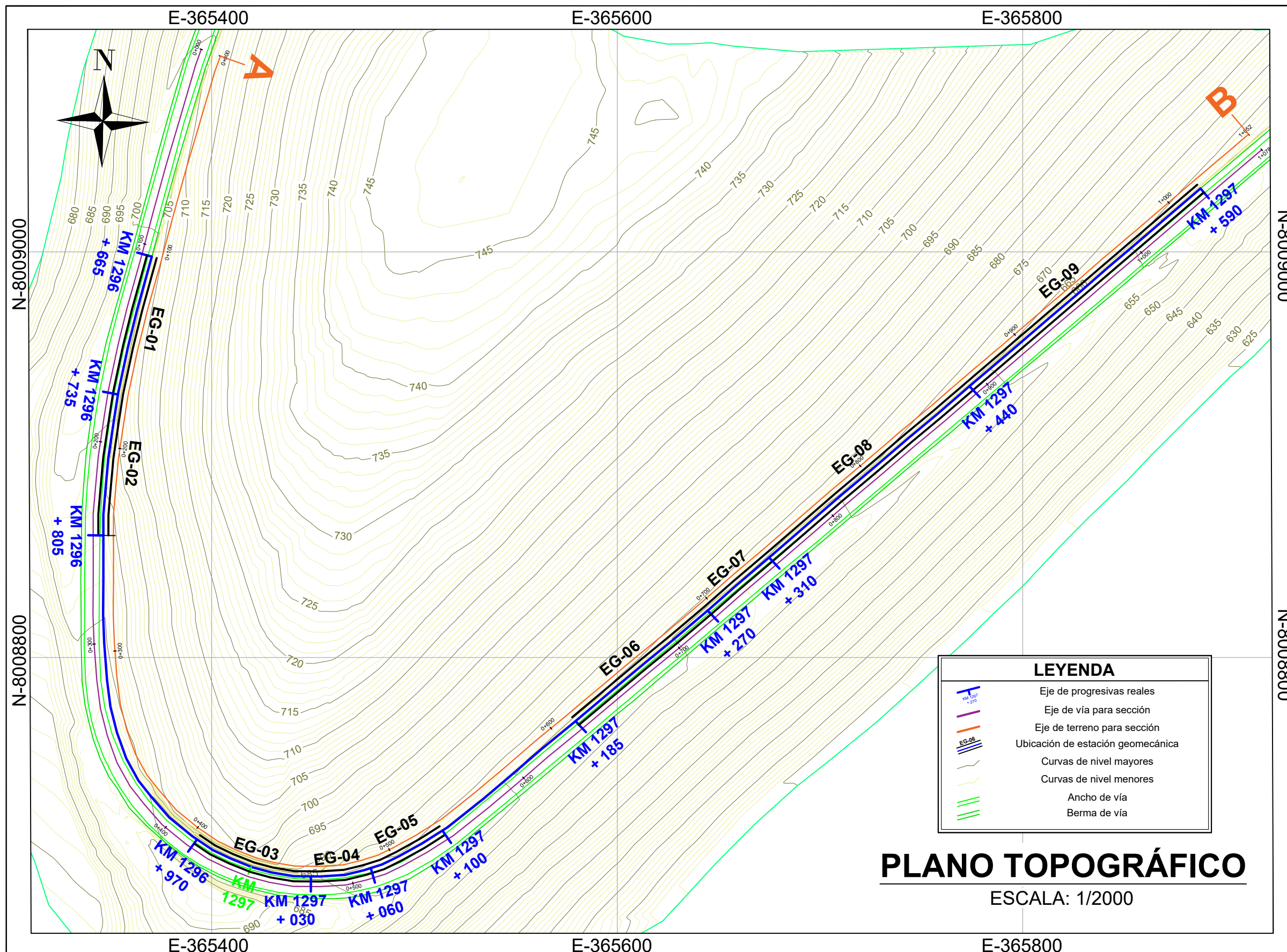
## Anexo D

Estación	Familias de juntas*		Talud	
	Buzamiento	Dirección de Buzamiento	Buzamiento	Dirección de Buzamiento
EG1	79	161	75	285
EG2	26	261	70	280
EG3	15	201	85	215
EG4	15	164	85	180
EG5	20	179	80	160
EG6	63	148	60	140
EG7	44	173	65	140
EG8	19	152	60	140
EG9	78	168	70	145

Estación	Parámetros SMR 1985								RMR Básico	Índice SMR	Calidad
	AJ-AS	AJ-AS -180	BJ-BS	BJ+BS	F1	F2	F3	F4			
EG1	124	304	4	154	0.15	1	-6	8	61	68	Buena
EG2	19	199	-44	96	0.7	0.4	-60	8	61	52	Regular
EG3	14	194	-70	100	0.7	0.15	-60	8	61	63	Buena
EG4	16	196	-70	100	0.7	0.15	-60	8	60	62	Buena
EG5	19	161	-60	100	0.7	0.4	-60	8	67	58	Regular
EG6	8	172	3	123	0.85	1	-6	8	62	65	Buena
EG7	33	147	-21	109	0.15	0.85	-60	8	68	68	Buena
EG8	12	168	-41	79	0.7	0.15	-60	8	67	69	Buena
EG9	23	157	8	148	0.4	1	-6	8	71	77	Buena

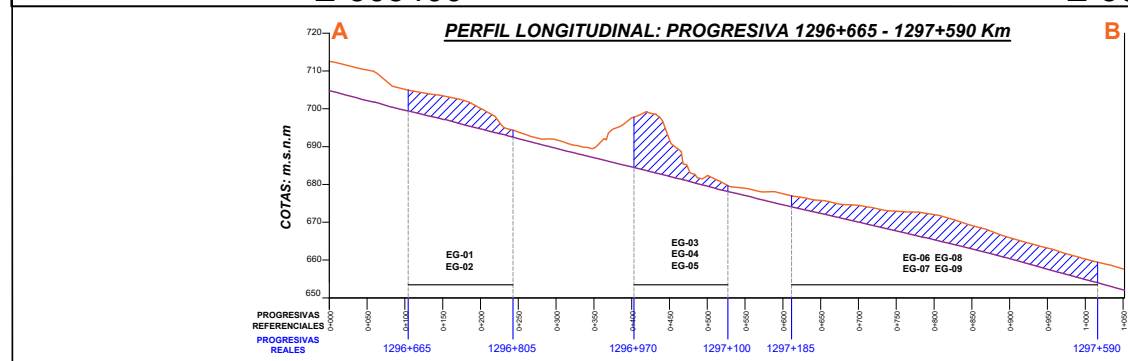
## **Anexo E**

- T-1 Plano Topográfico
- GE-1 Plano Geológico regional
- GE-2 Plano Geológico local
- GM-1 Plano Geomorfológico local
- E-1 Plano de Estructuras
- GT-1 Plano de Clasificación geotécnica



## PLANO TOPOGRÁFICO

ESCALA: 1/2000



UBICACIÓN DE ESTACIONES		
Sector	Estación	Progresivas (Km)
Sector 1	EG - 01	1296+665 - 1296+735
Sector 2	EG - 02	1296+735 - 1296+805
Sector 3	EG - 03	1296+970 - 1297+030
Sector 4	EG - 04	1297+030 - 1297+060
Sector 5	EG - 05	1297+060 - 1297+100
Sector 6	EG - 06	1297+185 - 1297+270
Sector 7	EG - 07	1297+270 - 1297+310
Sector 8	EG - 08	1297+310 - 1297+440
Sector 9	EG - 09	1297+440 - 1297+590

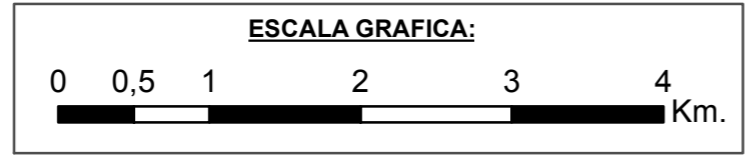
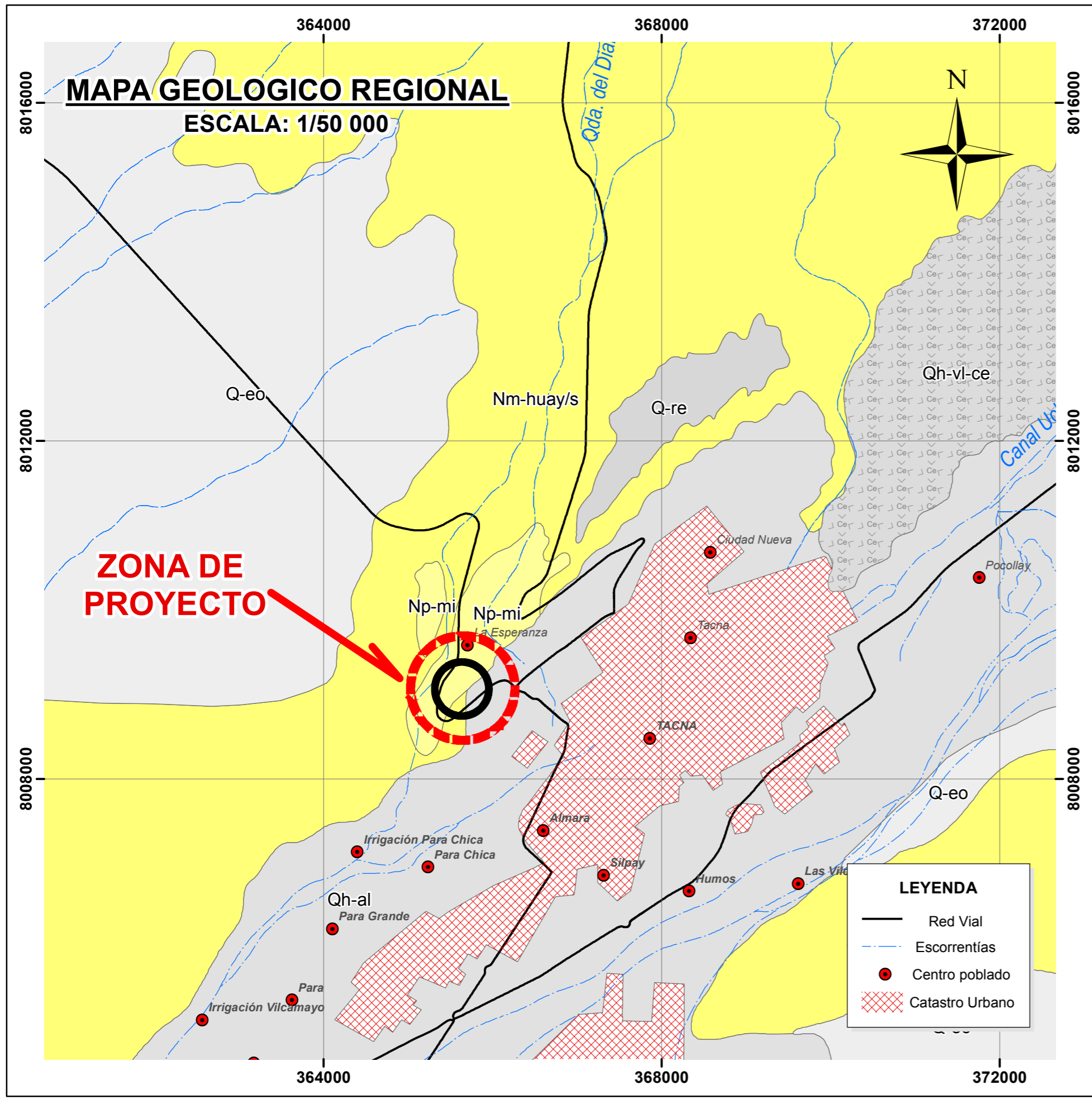


**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

**TESIS:**  
 "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

**TÍTULO:** **PLANO TOPOGRÁFICO**

<b>UBICACIÓN:</b> Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	<b>AUTOR:</b> Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez	<b>ESCALA:</b> Indicada	<b>FECHA:</b> Mayo de 2022
<b>DATUM:</b> WGS 84 - 19 S	<b>FUENTE:</b> Elaboración Propia	<b>PLANO:</b> <b>T-1</b>	



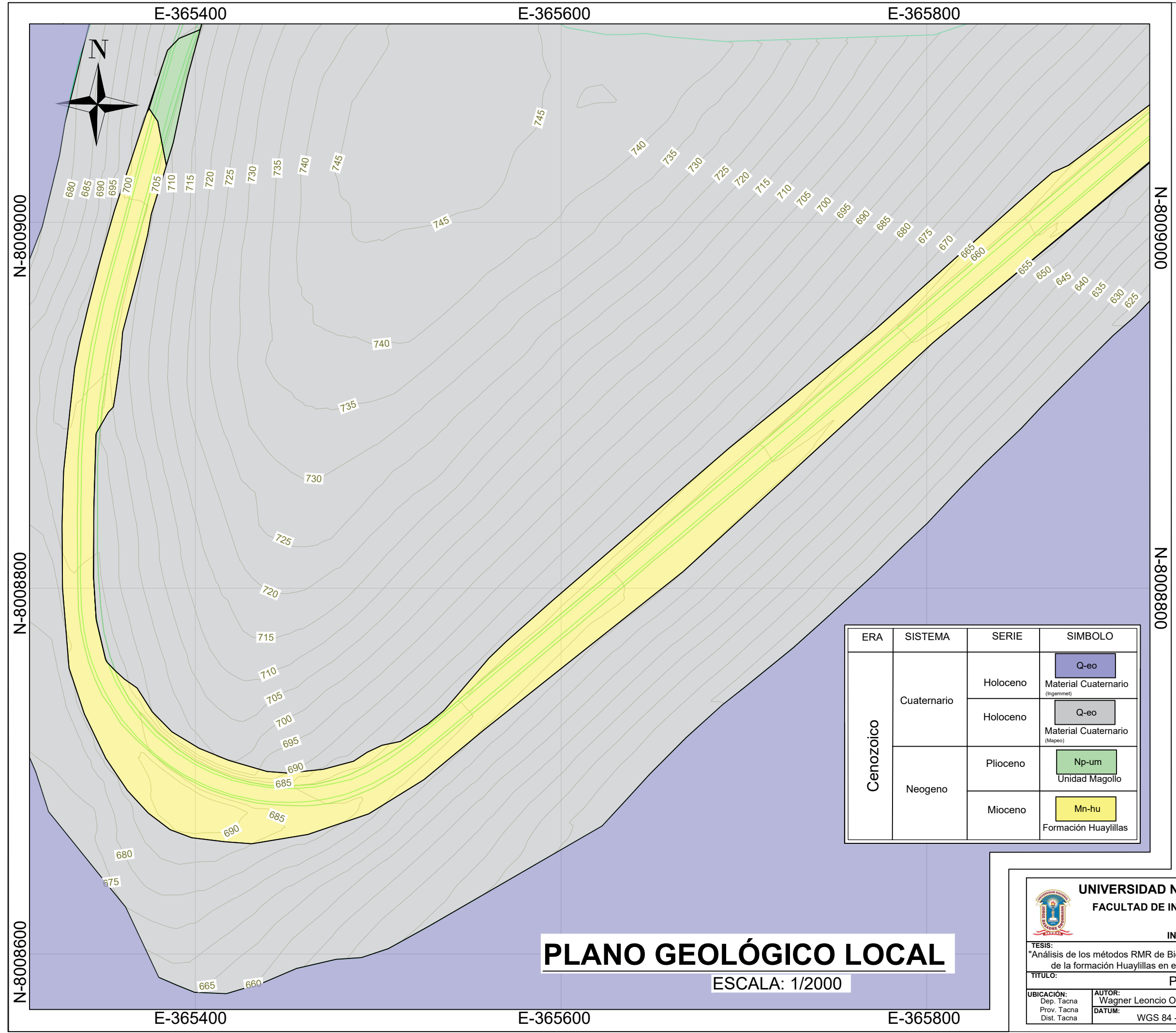
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósito eólico	<b>Q-eo</b> Arenas cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionadas.
		Depósito residual	<b>Q-re</b> Materiales de pie de monte.
		Depósito aluvial	<b>Qh-al</b> Gravas y conglomerados consolidados.
		Depósito volcánico	<b>Qh-vl-ce</b> Ceniza.
NEÓGENO	PLIOCENO	Formación Millo	<b>Np-mi</b> Conglomerados a arenas y limolitas poco consolidadas con intercalaciones de tobas.
	MIOCENO	Formación Miembro Huaylillas Superior	<b>Nm-huay/s</b> Ignimbritas riodacíticas beige rosáceo.

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
 "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

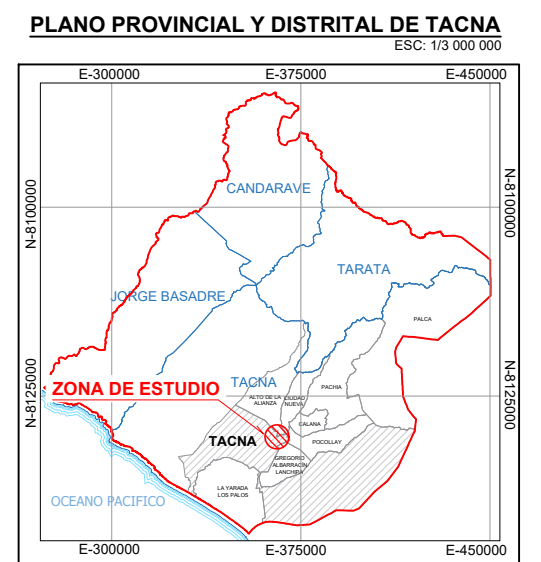
TÍTULO: **PLANO GEOLÓGICO REGIONAL** PLANO: **GE-1**

UBICACIÓN: Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	AUTOR: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez	ESCALA: Indicada	FECHA: Mayo de 2022
DATUM: WGS 84 - 19 S		FUENTE: INGEMMET	



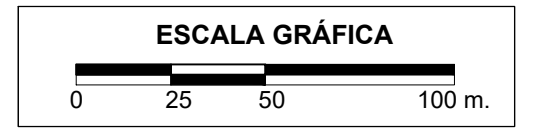
# PLANO GEOLÓGICO LOCAL

ESCALA: 1/2000



ERA	SISTEMA	SERIE	SIMBOLO
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Q-eo Material Cuaternario (Ingenmet)
		Holoceno	Q-eo Material Cuaternario (Mapeo)
	Neogeno	Plioceno	Np-um Unidad Magollo
		Mioceno	Mn-hu Formación Huaylillas

LEYENDA	
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Ancho de vía Berma de vía
	Límite del área de estudio



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

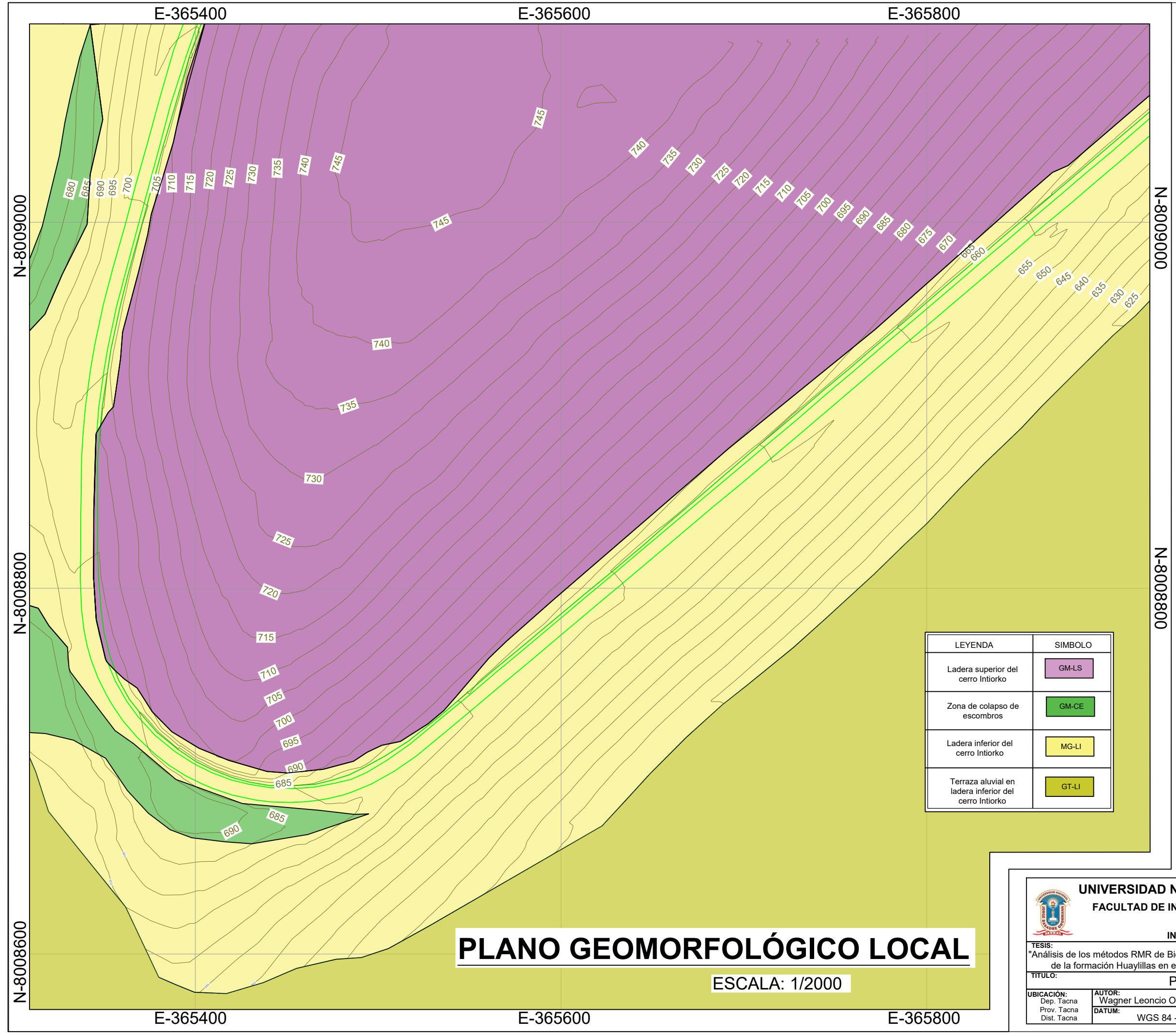
---

**TESIS:**  
 "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

**TÍTULO:** PLANO GEOLÓGICO LOCAL

<b>UBICACIÓN:</b> Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	<b>AUTOR:</b> Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez	<b>ESCALA:</b> Indicada	<b>FECHA:</b> Mayo de 2022
<b>DATUM:</b> WGS 84 - 19 S	<b>FUENTE:</b> Elaboración Propia		

PLANO: **GE-2**



# PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

ESCALA: 1/2000

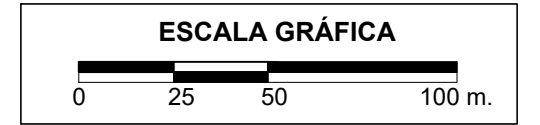
## PLANO PROVINCIAL Y DISTRITAL DE TACNA


ESC: 1/3 000 000




LEYENDA	SIMBOLO
Ladera superior del cerro Intiorko	GM-LS
Zona de colapso de escombros	GM-CE
Ladera inferior del cerro Intiorko	MG-LI
Terraza aluvial en ladera inferior del cerro Intiorko	GT-LI

LEYENDA	
	Curvas de nivel mayores
	Curvas de nivel menores
	Ancho de vía
	Berma de vía





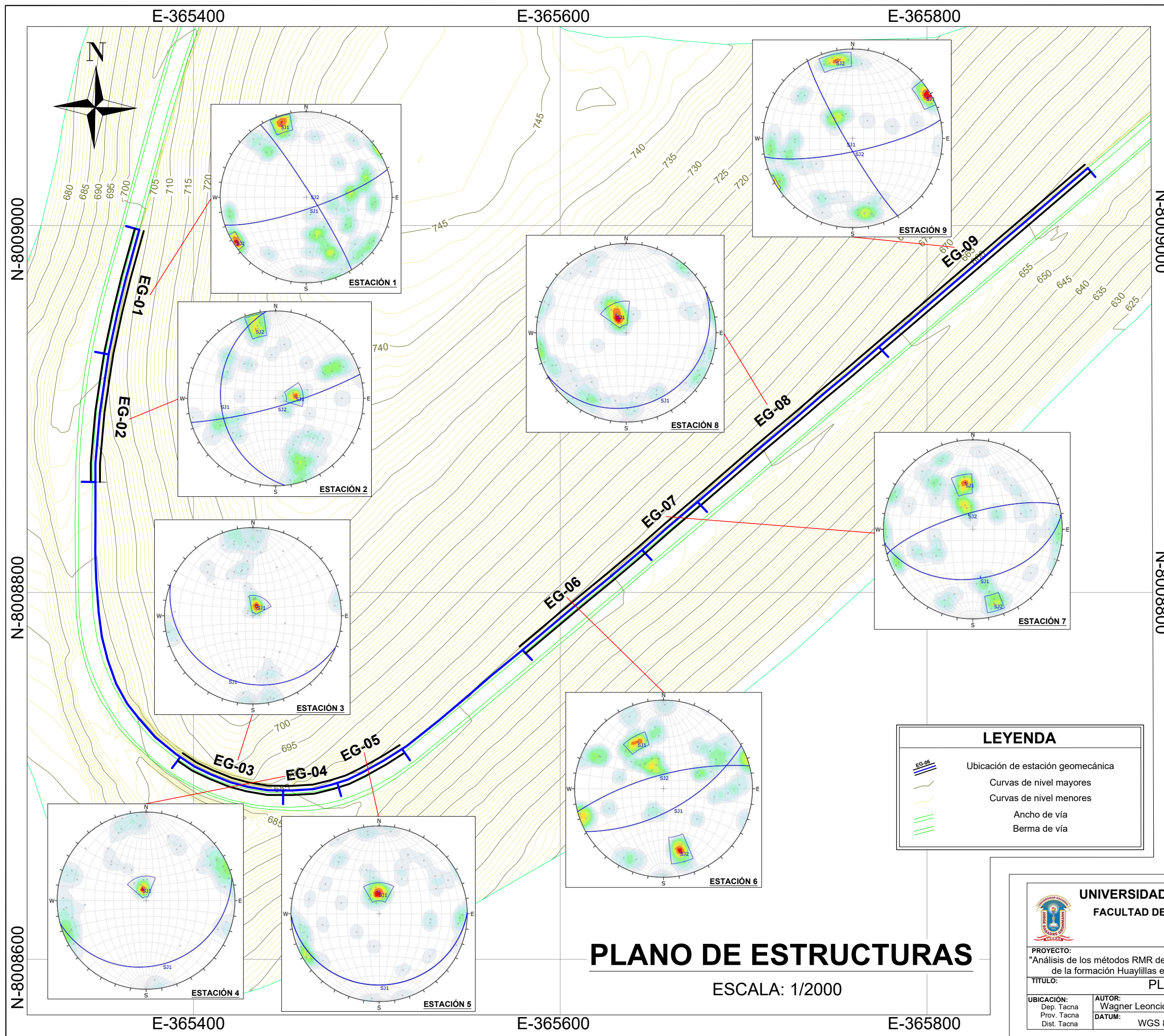
**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**



**TESIS:**  
 "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

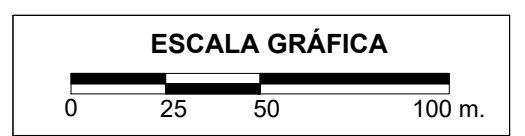
**TÍTULO:** PLANO GEOMORFOLÓGICO LOCAL

<b>UBICACIÓN:</b> Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	<b>AUTOR:</b> Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez	<b>ESCALA:</b> Indicada	<b>FECHA:</b> Mayo de 2022
<b>DATUM:</b> WGS 84 - 19 S	<b>FUENTE:</b> Elaboración Propia	<b>PLANO:</b> GM-1	



**LEYENDA**

- Ubicación de estación geomecánica
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Ancho de vía
- Berma de vía



# PLANO DE ESTRUCTURAS

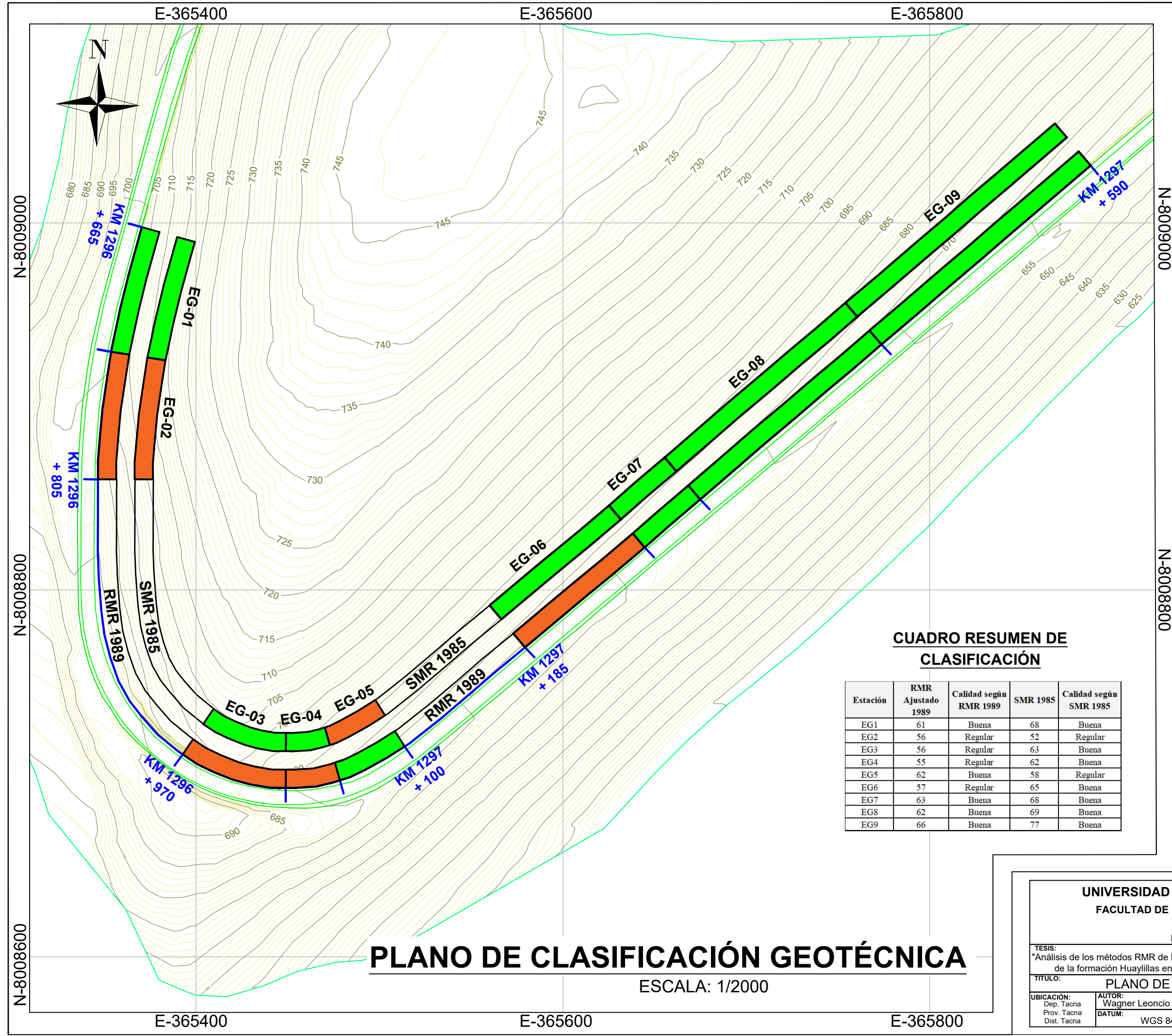
ESCALA: 1/2000

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

PROYECTO: "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

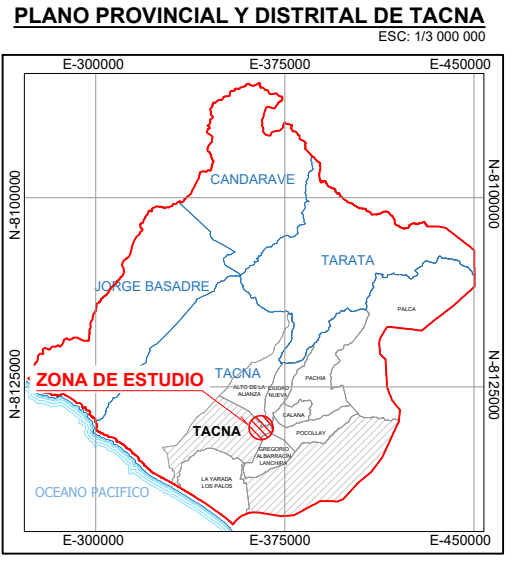
TÍTULO: **PLANO DE ESTRUCTURAS** PLANO: **E-1**

UBICACIÓN: Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	AUTOR: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez DATUM: WGS 84 - 19 S	ESCALA: Indicada FUENTE: Elaboración Propia	FECHA: Mayo de 2022
--	---	--	------------------------



# PLANO DE CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA

ESCALA: 1/2000

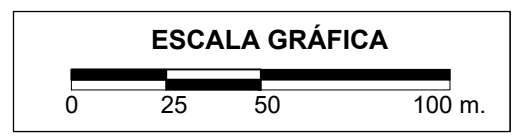


**CLASIFICACION RMR-SMR**

- I MUY BUENA
- II BUENA
- III REGULAR
- IV MALA
- V MUY MALA

**LEYENDA**

- Ubicación de estación geomecánica
- Curvas de nivel mayores
- Curvas de nivel menores
- Ancho de vía
- Berma de vía



## CUADRO RESUMEN DE CLASIFICACIÓN

Estación	RMR Ajustado 1989	Calidad según RMR 1989	SMR 1985	Calidad según SMR 1985
EG1	61	Buena	68	Buena
EG2	56	Regular	52	Regular
EG3	56	Regular	63	Buena
EG4	55	Regular	62	Buena
EG5	62	Buena	58	Regular
EG6	57	Regular	65	Buena
EG7	63	Buena	68	Buena
EG8	62	Buena	69	Buena
EG9	66	Buena	77	Buena

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA - GEOTECNIA**

TESIS:  
 "Análisis de los métodos RMR de Bieniawski (1989) y SMR de Romana (1985) para clasificar un talud de rocas de la formación Huaylillas en el Km. 1297 de la Carretera Panamericana Sur en la ciudad de Tacna"

TÍTULO: **PLANO DE CLASIFICACIÓN GEOTÉCNICA** PLANO: **GT-1**

UBICACIÓN: Dep. Tacna Prov. Tacna Dist. Tacna	AUTOR: Wagner Leoncio Ochoa Gutierrez	ESCALA: Indicada	FECHA: Mayo de 2022
DATUM: WGS 84 - 19 S		FUENTE: Elaboración Propia	