

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL

CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y

METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

“EVALUACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANOCLASTICOS EN EL SECTOR DE “CERRO CRUZ DEL SIGLO” EN LA LOCALIDAD DE TORATA – MOQUEGUA”

Presentado por:

Bach. Marco Luis Mattos Yallico

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Geólogo

Asesor:

Ing. Edison Santiago Mattos Ojeda

Cusco - Perú

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: ... **EVALUACIÓN DE LAS ZONAS**
...**SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO**
...**CRUZ DEL SIGLO"** EN LA LOCALIDAD DE TORATA -MOQUEGUA

presentado por: ...**Marco Luis Mattos Yallico**..... con DNI Nro.: **46355944**

presentado por: con DNI Nro.:

para optar el título profesional/grado académico de:

.....**INGENIERO GEÓLOGO**.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por ...**2**...veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de ...**10**.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, ...**5**... de.....**Mayo**.....de 2023.....



Firma

Post firma.....**Edison Santiago Mattos Ojeda**.....

Nro. de DNI.....**23.853.084**.....

ORCID del Asesor.....**0000-0002-3236-025X**.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:229890011

NOMBRE DEL TRABAJO

Evaluacion de las zonas susceptibles a deslizamientos en suelos volcanoclasticos en el sector Cerro

AUTOR

Marco Mattos

RECUENTO DE PALABRAS

34891 Words

RECUENTO DE CARACTERES

194157 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

186 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.5MB

FECHA DE ENTREGA

May 3, 2023 9:30 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 3, 2023 9:32 AM GMT-5

● **10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

DEDICATORIA

Hoy es un día muy especial para mí, Cuando era muy joven, soñaba que algún día cumpliría mis metas, La biblia dice: que Dios puede darnos más de lo que nosotros pensamos o de lo que nosotros queremos, y esto paso en mi vida por eso quiero dedicarle mi tesis, a Dios y a nuestro señor Jesucristo, y la virgencita María que sin su amor y protección no habría podido alcanzar esta meta, con todo mi corazón gracias por darme la vida para ver mis sueños realizados.

A mis queridos padres, Rodolfo Mattos Ojeda que me motivo a superarme y estudiar desde que era muy pequeño, a mi mamá Gladys Yallico Egas, por su apoyo y cariño, a mis hermanos, Cristian, Mily, César, Jóselo, y a mis queridos sobrinas y sobrinos, Esteban, Stephanie, lyn, Aracely, fiorela, y Lyf Valeska, por llenar nuestra familia de alegría y amor.

A ese ser muy especial que cambio mi tristeza por alegría y llena mi vida de alegría y felicidad y que hace que mis días sean los mejores a ti. Doreen Carruyo Ruiz.

DEDICATORIA ESPECIAL

Esta Tesis está dedicada a la memoria de mi querido padre:

Rodolfo Andrés. Mattos Ojeda,

Por motivarme y alentarme Aser parte de este maravilloso mundo que es la Geología, y las Ciencias de la Tierra y por compartir conmigo esa chispa para despertar en mi la curiosidad por la Investigación.

Y a Mi Hermano: Cristian Mijail, cuya genialidad, no podre alcanzar, y por sus enseñanzas para ser una persona ejemplar.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre celestial, el que acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo al creador de mis padres y de las personas que más amo con mi más sincero amor gracias Dios.

A mis padres: Rodolfo Andrés Mattos Ojeda, por su ejemplo y constante motivación hacia el estudio y el aprendizaje, y por su hidalguía. A mi madre Gladys Yallico Egas, por su amor infinito, cariño y sabiduría en sus consejos para encaminarme a motivarme para salir adelante gracias jamás podría pagarles todo lo que hicieron por mí los amo.

A mis hermanos Christian, Mily, César, y José por estar allí y ser mis hermanos gracias por su apoyo y motivación.

Agradecimiento muy especial al Doctor, Hernando Tavera Huarache por haber creído en mi talento, y gracias por su motivación y sus sabios consejos.

Al Instituto Geofísico del Perú (IGP), Por darme el despegue para iniciar un camino hacia la investigación.

A mi alma mater la UNSAAC, gracias por haberme acogido y enseñado en sus aulas los conocimientos básicos para seguir aprendiendo.

Agradezco a los catedráticos de mi Alma Mater, de nuestra casa de estudios. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Ings. Edison Santiago Mattos Ojeda, Daniel Hurday, Edgar Huacallo, Jorge Henry Cuenca Sánchez, Eddie Edgard Mercado Tejada, Mauro Alberto Zegarra Carreón, Víctor Vidal Garate Góngora, Fredy Bustamante Prado, Josefina Escalante Gutiérrez, Vicente Enrique Blas Abreu, Ruperto Benavente, Sheydi Valenzuela, Iván Cáceres, Félix Alejo León Miranda G. Muchas gracias por sus enseñanzas, experiencias y consejos impartidos durante mi formación académica.

Resumen

En el presente trabajo se hizo una evaluación de las zonas susceptibles a deslizamientos, en las laderas ubicadas al sur -este y nor-este, de la localidad de Torata, en del denominado “Cerro Cruz del siglo” situadas en la localidad de Moquegua, que vienen siendo afectados por movimientos en masa (MM) como: deslizamientos de tierra, caída de rocas, flujos de detritos, todos ellos debido a las pendientes pronunciadas y a la composición litológica de sus suelos de cimentación, como lo son suelos volcánico-sedimentarios (Volcaniclásticos) conformados por una mezcla de arenas, gravas, limos, ceniza volcánica, y tobas piroclásticas.

La geología local que rodea el área de Torata está conformada por rocas del Grupo Toquepala, de edad Cretácico -Paleógeno (KsP-to). Este grupo está representado por las Formaciones, Paralaque, Inogoya, Huaracane, conformadas litológicamente, por rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos clásticos, y también por depósitos Cuaternarios fluvio-aluviales.

Geomorfológicamente, la ciudad de Torata está conformada por seis unidades geomorfológicas: un Lecho fluvial, una Llanura de Inundación, una Terraza Fluvia -aluvial, donde se asienta la mayor parte de las zonas urbanas, un abanico aluvial, así como también lomas y montañas que rodean Torata.

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, posteos, DPL y la inspección visual del terreno en la ciudad de Torata, y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos, se ha identificado 03 tipos de suelo, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S); siendo Suelos: GC, SC, SM.

De acuerdo a los datos geofísicos analizados podemos decir que los medios saturados son los que predominan en la localidad de Torata, observándose en la mayoría de las líneas un medio saturado desde la superficie. Excepto en la zona Noreste de Torata y en el A. H. La Pascana y el C. P.

Finalmente, las zonas susceptibles a deslizamientos en, la localidad de Torata puede ser desencadenadas o detonadas por factores como, sismos, precipitaciones e infiltraciones de agua subterránea

Palabras clave: Deslizamientos, flujos de detritos, movimientos en masa(mm), suelos volcaniclásticos, rocas volcánicas.

Abstract

In the present work, an evaluation was made of the areas susceptible to landslides, on the slopes located south-east and north-east of the town of Torata, in the so-called "Cerro Cruz del siglo" located in the town of Moquegua, which have been affected by mass movements (MM) such as landslides, rock falls, debris flows, all due to steep slopes and the lithological composition of their foundation soils such as volcanic-sedimentary soils (Volcanic-Sedimentary Volcano): landslides, rock falls, debris flows, all due to steep slopes and the lithological composition of their foundation soils, such as volcanic-sedimentary soils (Volcaniclastic) made up of a mixture of sands, gravels, silts, volcanic ash, and pyroclastic tuffs.

The local geology surrounding the Torata area consists of rocks of the Toquepala Group, of Cretaceous-Paleogene (KsP-to) age. This group is represented by the Paralaque, Inogoya, Huaracane Formations, lithologically formed by volcanic rocks with clastic sediment intercalations, and also by Quaternary fluvio-alluvial deposits.

Geomorphologically, the city of Torata is made up of six geomorphological units: a fluvial bed, a flood plain, a fluvial-alluvial terrace, where most of the urban areas are located, an alluvial fan, as well as hills and mountains surrounding Torata.

Based on the geotechnical information collected from the test pits, postholes, DPL and visual inspection of the terrain in the city of Torata, and the results obtained from the granulometric tests, 03 soil types have been identified, which have been grouped using the Unified Soil Classification System (U.S.S.C.S); Soils: GC, SC, SM.

According to the analyzed geophysical data we can say that the saturated environments are the ones that predominate in the locality of Torata, being observed in most of the lines a saturated environment from the surface. Except in the northeast zone of Torata and in the A. H. La Pascana and the C. P.

Finally, the zones susceptible to landslides in the locality of Torata can be triggered or detonated by factors such as earthquakes, rainfall and groundwater infiltration.

Key words: Landslides, debris flows, mass movements (mm), volcaniclastic soils, volcanic rocks.

Contenido

1.1	Introducción	18
	Capítulo I: Generalidades	19
1.1	Descripción del problema	19
1.2.-	Problema General	21
1.2.1-	Problemas Específicos	21
1.3.	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo General.....	21
1.3.2	Objetivos Específicos.....	21
1.4	Justificación e Importancia de la Investigación	22
1.4.1	Justificación	22
1.4.2	Importancia	22
1.5	Hipótesis	22
1.5.1	Hipótesis Específica.....	23
1.6	Sistema de Variables.....	23
1.6.1.	Variable Independiente	23
✓	<i>Suelos Volcaniclásticos</i>	23
1.6.2.	Variable Dependiente.....	23
✓	Zonas susceptibles a deslizamientos.....	23
1.7	Metodología de Trabajo.....	23
1.7.1	Gabinete I.....	23
1.7.2	Campo I.....	23
1.7.3	Campo II	23
1.7.4	Campo III.....	24
1.7.5	Laboratorio.....	24
1.7.6	Gabinete II	24

1.8 Aspectos Generales del Área de Estudio	24
1.8.1 Ubicación	24
1.8.2 Accesibilidad.....	27
1.8.3 Clima.....	27
1.8.4 Hidrología	30
Capítulo II. Marco Teórico	32
2. Volcanismo	32
2.1 Definiciones de Volcán. -	34
2.2 Estructura o partes de un volcán	35
2.3- ¿cómo los volcanes entran en erupción?	36
2.4. Productos de la explosión de un Volcán.	37
2.4.1 Gases Volcánicos.....	38
2.4.2 Fragmentos de roca lanzados por explosiones volcánicas	39
2.5 Suelos Volcanoclásticos	43
2.5.1 Definición de Suelos Volcanoclásticos.....	43
2.5.2 Suelos formados por cenizas volcánicas (Alofanos e Imogolitas).....	46
2.6 Volcanismo en el Perú	47
2.6.1 Origen y Genesis de los Volcanes en el sur del Perú.....	47
2. 7 Deslizamientos.....	49
2.7.1 Definiciones de deslizamiento	49
2.7.2 Componentes Principales de un deslizamiento.....	51
2.7.3 Clasificación de los movimientos de ladera.....	52
2.8 Definiciones Importantes sobre peligros geológicos	54
2.8.1 Peligro Natural.....	54
2.8.2 Peligrosidad.....	55
2.8.3 Susceptibilidad.....	55

2.8.4 Riesgo	55
2.8.5 Vulnerabilidad.....	55
2.8.6 Exposición.....	55
Capitulo III. Geomorfología	56
3.1 Geomorfología Regional.....	56
3.1.1 Llanura costanera.....	56
3.1.2 Flanco Andino.....	57
3.1.3 Cadena de Conos Volcánicos.....	58
3.2. Geomorfología Local.....	59
3.2.1 Base Topográfica	59
3.2.2 Modelo Digital de Elevación (MDE).....	60
3.2.3 Pendientes	64
3.3 Unidades geomorfológicas.....	67
3.3.1 Tectónico, por deformación orogénica.	68
3.3.2 Origen denudacional	69
3.3.3 Origen depositacional	70
Capitulo IV: Geología.....	75
4.1 Geología regional.....	76
4.2 Geología Histórica	78
4.3 Estratigrafía Regional	79
4. 4 Geología local	80
4.4.1. Rocas del Cretácico-Paleógeno.....	81
4.4.2 Rocas del Neógeno-Cuaternario	83
4.5 Genesis de las Rocas Volcanoclásticas en Torata - Moquegua	87
4.5.1 Breve resumen de la formación de la Cordillera Andina y de los volcanes en el sur del Perú .	87
4.5.2 Origen de las rocas volcánicas y volcanoclásticas en la ciudad de Torata.	89

4.5.3	Origen de los depósitos volcánicos en Torata – Moquegua.....	90
4.5.4	Rocas volcanoclásticas en la ciudad de Torata.....	91
Capítulo V:	Geológica Estructural.....	95
5.1	Geología Estructural Regional.....	95
5.1.1	Sistema de Fallas Incapuquio.....	95
5.1.2	Neotectónica.....	96
Capítulo VI:	Geodinámica.....	99
6.1	Flujos de detritos.....	99
6.2	Caída de rocas.....	100
6.3	Deslizamientos activos en el Cerro Cruz del Siglo.....	101
6.4	Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos.....	104
Capítulo VII:	Geofísica.....	107
7.1.	Antecedentes de la sismicidad en la Localidad de Torata departamento de Moquegua ...	107
7.2	Adquisición de datos geofísicos en la ciudad de Torata.....	108
7.2.1	Registro de vibración ambiental H/V.....	109
7.2.2	Registro de arreglos lineales MASW.....	111
7.2.3	Registro de la resistividad del suelo ERT.....	114
7.3	Análisis e Interpretación y resultados de los Datos Geofísicos.....	116
7.3.1	Frecuencias predominantes.....	117
7.3.2	Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs.....	122
7.3.3	Secciones de resistividad geoelectrica.....	126
Capítulo VIII	Geotecnia.....	128
8.1	Aspectos Geotécnicos.....	128
8.1.1	Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM D420).....	130
8.1.2	Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452).....	134
	Procedimiento.....	134

8.1.3 Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)	136
Procedimiento	137
8.2 Suelos Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) en la ciudad de Torata	143
8.3 Análisis de Estabilidad de Taludes (Factor de Seguridad en los Taludes del “Cerro Cruz del Siglo Torata)	147
8.3.1 Perfiles geológicos geotécnicos	147
8.3.2 Análisis de Estabilidad de Taludes	149
8.3.3 Principio del Análisis	151
8.3.4 Condiciones del Análisis.....	152
8.3.5 Factor de Seguridad	152
8.3.6 Resultados del Análisis	153
Capítulo IX.- Evaluación de las zonas susceptibles a deslizamientos en el cerro “Cruz del siglo con la metodología AHP	155
9.1 Materiales y métodos	155
9.1.1 Data o Información	156
9.2 Determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa y los niveles de Peligro en el sector de “Cerro Cruz del Siglo”	157
9.2.1 Movimientos en masa	158
9.2.2 Parámetros de evaluación del evento	158
9.2.3 Determinación de la susceptibilidad	160
9.2.4 Calculo del Valor Factor Condicionantes y Calculo del Valor Factor desencadenantes.	166
9.2.5 Cálculo del nivel de Susceptibilidad por deslizamiento en el cerro “Cruz del Siglo” Torata..	167
Resultados	170
Conclusiones y Recomendaciones	171
a) Conclusiones.....	171
b) Recomendaciones	173

INDICE DE FOTOS

<i>Foto 1: Formación Moquegua, Cerro Baúl, ubicado, en la vía - Moquegua – Torata.</i>	57
<i>Foto 2: Montañas que rodean la ciudad de Torata, vista panorámica</i>	69
<i>Foto 3: Vista Panorámica, de las Lomas (Forma Alargada) en Torata</i>	70
<i>Foto 4: Abanico aluvial</i>	71
<i>Foto 5: Terraza Aluvial</i>	72
<i>Foto 6: Llanura de Inundación</i>	72
<i>Foto 7: Lecho Fluvial del río Torata</i>	73
<i>Foto 8: Rocas de la Formación Huaracane</i>	81
<i>Foto 9: Rocas de la Formación Inogoya</i>	82
<i>Foto 10: Rocas de la Fm, Paralaque</i>	82
<i>Foto 11: Rocas de Fm, Paralaque</i>	83
<i>Foto 12: Depósitos fluviales</i>	83
<i>Foto 13: Depósitos aluviales, o “depósitos rudimentarios”</i>	84
<i>Foto 14: Depósitos aluviales</i>	85
<i>Foto 15: Depósitos de flujos piroclásticos en la localidad de Torata</i>	93
<i>Foto 16: Falla Geológica Torata</i>	98
<i>Foto 17: Flujos de Detritos e Infiltraciones de Agua</i>	100
<i>Foto 18: Caída de Rocas</i>	101
<i>Foto 19: Escarpas de Deslizamiento en el Sector de Cerro “Cruz del siglo” Torata.</i>	103
<i>Foto 20: Zonas susceptibles a deslizamientos en el cerro “Cruz del Siglo”</i>	104
<i>Foto 21: Infiltraciones de Agua</i>	105
<i>Foto 22: Calicata CAL-01, Ubicada en el Sector Denominado La Banda, Torata</i>	134
<i>Foto 23: Ensayo con posteadora manual en la Plaza principal de Torata.</i>	136
<i>Foto 24: Ensayo de penetración dinámica ligera en el parque de niños de Torata</i>	138

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ubicación y Delimitación de la Cuenca hidrográfica, del río Osmore (Ilo -Moquegua)</i>	31
<i>Figura 2: Monte Bromo en erupción, en Indonesia, localizado en el cinturón de fuego del pacifico</i>	34
<i>Figura 3: Estructura interna de un estratovolcán</i>	36
<i>Figura 4: Vapor liberado del cráter del volcán Augustine (Canadá)</i>	39
<i>Figura 5: Los Cinders son: bombas o piezas gigantes de magma solidificado</i>	42
<i>Figura 6: Esquema de la erupción volcánica y los flujos piroclásticos</i>	45
<i>Figura 7: Distribución de las principales zonas volcánicas sobre la Cordillera Occidental de Sudamérica.</i>	47
<i>Figura 8: Geometría del proceso de subducción en el Perú</i>	48
<i>Figura 9: Algunos Factores que afectan la Inestabilidad de las laderas o Colinas</i>	50
<i>Figura 10: Estilo y la forma y estructura (partes de un deslizamiento)</i>	52
<i>Figura 11: Clasificación de los tipos de deslizamiento por: Varnes (1978)</i>	54
<i>Figura 12: Unidades Geomorfológicas del Cuadrángulo de Moquegua</i>	58
<i>Figura 13: Plano topográfico de la ciudad de Torata</i>	60
<i>Figura 14: Mapa de Geología Regional donde se Observa la Zona de Estudio.</i>	77
<i>Figura 15: Columna Estratigráfica Compuesta del Cuadrángulo de Moquegua – Boletín 15, hoja 35 -u.</i>	79
<i>Figura 16: Perfil Geológico A A' de la localidad de Torata.</i>	87
<i>Figura 17: Esquema de la Evolución de la Cordillera de los Andes</i>	88
<i>Figura 18: Origen de los Depósitos Piroclásticos</i>	91
<i>Figura 19: Alcances de los Diferentes Tipos de Actividad Volcánica</i>	92
<i>Figura 20: Cuadro con las principales rocas volcánicas y Volcanoclásticas</i>	93
<i>Figura 21: Sistema de Fallas Incapuquio, en el Sur del Perú</i>	96
<i>Figura 22: Escarpas, en el cerro “Cruz del Siglo” Torata</i>	103
<i>Figura 23: Subsistencia</i>	105

<i>Figura 24: Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 -2019. Instituto Geofísico del Perú</i>	108
<i>Figura 25: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Torata.</i>	109
<i>Figura 26:Registro de Vibraciones Ambientales</i>	111
<i>Figura 27: Arreglos Sísmicos</i>	112
<i>Figura 28: Sismogramas “a” y “b” donde se aprecian las ondas de ruido</i>	113
<i>Figura 29:Registro de Arreglos Lineales MASS W</i>	114
<i>Figura 30: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE08-TO) y el registro eléctrico</i>	115
<i>Figura 31: Líneas de Tomografía Eléctrica, ensayos realizados en Torata.</i>	116
<i>Figura 32: Mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes definidas en cada punto</i>	118
<i>Figura 33: Ejemplos de razones espectrales (H/V)</i>	119
<i>Figura 34: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes</i>	121
<i>Figura 35: Ejemplos de razones espectrales (H/V)</i>	122
<i>Figura 36: Resultados de la línea sísmica LS01, con el método MASW.</i>	125
<i>Figura 37: Características Geotécnicas del terreno, Ficha de descripción de calicatas</i>	131
<i>Figura 38: Ensayo de Cono de Arena- in -situ -Proyecto Calicatas en Torata - Moquegua</i>	132
<i>Figura 39: Diagrama de correlación entre el DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido</i>	142
<i>Figura 40: Realización de los ensayos de granulometría en el laboratorio de mecánica de Suelos (IGP).</i>	144
<i>Figura 41: Ubicación de los perfiles en el cerro “Cruz del Siglo”</i>	147
<i>Figura 42: Perfil geológico 2, elaborado con los datos de campo de las laderas del cerro “Cruz del Siglo”</i>	149
<i>Figura 43: Ventana del Programa Slide 6.1</i>	151
<i>Figura 44: Diagrama de Cálculo Estabilidad de Talud. Deslizamiento Rotacional</i>	152
<i>Figura 45: Ejemplo de jerarquía de criterios/objetivos, Fuente: Vargas, R. V. (2010).</i>	156
<i>Figura 46: Conjunto de Datos, utilizados para hallar la susceptibilidad de los deslizamientos</i>	157
<i>Figura 47: Factores Condicionantes, Geología y Pendientes del Terreno.</i>	163

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Accesibilidad a la zona de Estudio por vía -terrestre</i> _____	27
<i>Tabla 2: Registro de Temperaturas Mínimas, Máximas y Precipitaciones Pluviales Acumuladas, Durante el Período 2015 – 2020.</i> _____	29
<i>Tabla 3: Clasificación de la Tefra</i> _____	40
<i>Tabla 4: Productos Volcánicos (Decker & Decker 1981)</i> _____	43
<i>Tabla 5: Clasificación de los Movimientos de Ladera según Varnes (1978)</i> _____	53
<i>Tabla 6: Rangos de Pendientes del Terreno</i> _____	64
<i>Tabla 7: Geoformas en la ciudad de Torata en base a las características físicas y su origen.</i> _____	68
<i>Tabla 8: Columna Crono Litoestratigráfica de las Unidades Aflorantes en la Localidad de Torata.</i> _____	80
<i>Tabla 9: Coordenadas y características de las líneas sísmicas realizadas en la localidad de Torata.</i> _____	113
<i>Tabla 10: Coordenadas UTM, de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en Torata</i> _____	116
<i>Tabla 11: Valores de Espesor y Vs de las Líneas Sísmicas Realizados en Torata</i> _____	124
<i>Tabla 12: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas distrito de Torata</i> _____	127
<i>Tabla 13: Parámetros geotécnicos de unidades geológicas identificadas en las laderas del cerro Cruz del Siglo –Torata.</i> _____	150
<i>Tabla 14: Intervalos Para la Clasificación de la Estabilidad</i> _____	153
<i>Tabla 15: Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes</i> _____	153
<i>Tabla 16: Escala Fundamental del Proceso Analítico Jerárquico (AHP)</i> _____	159
<i>Tabla 17: Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes "n"</i> _____	160
<i>Tabla 18: Cálculo del Valores Factores Condicionantes</i> _____	166
<i>Tabla 19: Cálculo de los valores, Factores desencadenantes</i> _____	167
<i>Tabla 20: Cálculo de Niveles de Susceptibilidad</i> _____	167

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1: Ubicación de los ensayos de calicatas</i>	133
<i>Cuadro 2: Coordenadas UTM de ubicación de Posteos</i>	135
<i>Cuadro 3: Ubicación de ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL)</i>	138
<i>Cuadro 4: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores de NSPT</i>	140
<i>Cuadro 5: Compacidad relativa y ángulo de fricción interna en los suelos en base al (NSPT)</i>	141
<i>Cuadro 6: Clasificación de Suelos (SUCS) de las cinco (05) calicatas elaboradas en la ciudad de Torata</i>	143
<i>Cuadro 7: Comparaciones en La Matriz de Decisión con los Criterios, en este caso. Volúmenes inestables de Suelo y Roca.</i>	159
<i>Cuadro 8: Precipitaciones Mensuales acumuladas en el periodo 2015 -2020</i>	161
<i>Cuadro 9: Aceleraciones Máximas (PGA) en Gals para el Departamento de Moquegua.</i>	162
<i>Cuadro 10: Ponderación de los Factores Condicionantes</i>	164
<i>Cuadro 11: Ponderación del Parámetro Condicionante de Geología</i>	164
<i>Cuadro 12: Ponderación del Parámetro Condicionante de Pendiente del Terreno</i>	165
<i>Cuadro 13: Ponderación del Parámetro Condicionante de Geomorfología</i>	165
<i>Cuadro 14: Ponderación del Parámetro Condicionante Usos de Suelo y/o Cobertura Vegetal</i>	166

1.1 Introducción

Los peligros geológicos como son los, movimientos en masa (MM) o de remoción en masa, han afectado y continúan afectando, a miles de personas en todo el mundo. Entre ellos, tenemos: caída de rocas, flujo de detritos, deslizamientos de tierra, entre otros. Estos movimientos en masa, son parte de la geodinámica activa de nuestro planeta y del ciclo de las rocas, los agentes meteorológicos y atmosféricos como los vientos, lluvias, meteorizan la roca de las montañas en pedazos más pequeños, para luego estas partículas ser transportadas y depositadas en las cuencas de los mares, y océanos, todo como parte de un proceso llamado erosión.

Estos procesos de erosión y denudación han dibujado los paisajes actuales de la superficie, pero en su proceso dinámico generan destrucción debido, a que los seres humanos hemos construido y actualmente seguimos invadiendo zonas de peligro como son quebradas, riveras de ríos , pendientes pronunciadas de montañas, valles donde las cabeceras de cuenca depositan sus aguas provenientes de los glaciares y montañas, en conclusión invadimos zonas de alto peligro geodinámico dando como resultado, casas enterradas, personas desaparecidas bajo escombros debido, a flujos de lodo, deslizamientos, caída de rocas.

En muchas ciudades del mundo especialmente las que se encuentran ubicadas en las cadenas montañosas, donde se asientan poblados, en las laderas con pendientes pronunciadas todas ellas vulnerables, debido a la poca planificación urbana o una falta de gestión integral del riesgo de desastres por parte de sus gobernantes.

El presente trabajo pretende brindar un aporte científico y técnico, en la gestión del riesgo de desastres específicamente en el poblado de Torata, que ayudara a la futura planificación urbana de esta localidad dando a conocer las zonas de peligro y los riesgos geológicos como son los movimientos en masa que afectarían esta localidad.

Capítulo I: Generalidades

Problema

1.1 Descripción del problema

Los deslizamientos son procesos geológicos naturales que envuelven el movimiento de materiales de tierra por una pendiente, los deslizamientos son peligros geológicos significativos, que destruyen y causan daños a las infraestructuras, y cobran miles de vidas en todo el planeta. (L.H. Delano 2001.)

Nuestro país se encuentra en una zona de convergencia, entre las placas de Nazca y Sudamericana, que es la principal fuente de sismicidad en el Perú, y en todo el borde occidental de América del sur. Debido a esto nuestro país es considerado altamente sísmico. (Tavera y Bufóm, 1998.)

El 31 de mayo de 1970, a las 3 de la tarde y 23 minutos, una tarde tranquila fue interrumpida por terremoto de 7.7 de magnitud en Escala Richter; como consecuencia de esto, un bloque de hielo y rocas se desprendieron de la parte norte del nevado del Huascarán, que arrasó Ranrahirca por segunda vez, y enterró a Yungay.

La anterior ocasión en que Ranrahirca fue sepultada por una avalancha fue el 10 de enero de 1962, a las 6:05 p.m., debido al desprendimiento de una enorme cornisa de hielo de ese mismo pico. En pocos minutos, la ciudad de Ranrahirca desapareció con un saldo de 4 mil personas desaparecidas y 200 heridas.

El sismo fue el factor que desencadenó la avalancha. donde murieron cerca de 20.000 mil de personas, fue una consecuencia directa de los eventos relacionados con los glaciares y muchas más personas siguen aun en riesgo. de J.M. Reynolds.

De los párrafos anteriores podemos discernir que, debido a nuestra geografía con montañas de pendientes y laderas pronunciadas, los deslizamientos, caídas de rocas, flujos de detritos, avalanchas de lodo. son una constante en nuestro territorio, y en adición a esto

el encontrarnos en una zona altamente sísmica, que hace que los pueblos y ciudades localizados en nuestro territorio, estén en riesgo de sufrir movimientos en masa como lo son los deslizamientos.

En la localidad de Torata existen zonas susceptibles a movimientos en masa que podrían desencadenar deslizamientos de tierra, caída de rocas, y flujos de detritos, estas se hallan ubicadas a 340 metros al sur-este de la plaza principal de Torata, en las laderas de la montaña denominada por los pobladores como cerró Cruz del Siglo, al pie de la carretera binacional (Puno-desaguadero).

A unos 48 metros ladera arriba de esta carretera, se evidencio que la superficie de estas laderas se encontraba muy erosionada, sin vegetación, con materiales litológicos deleznales, que geotécnicamente según la clasificación de SUCS, pertenecen a suelos (GM) es decir suelos conformados por gravas arenas y limos. En la superficie de estas laderas también se encontraron bloques de rocas fracturadas dispersas, con dimensiones mayores a los 1 metros de diámetro, todos a punto de perder su estabilidad y caer por efecto de la gravedad hacia la pista asfaltada o aún peor caer hacia las zonas urbanas.

Los suelos en estas laderas están definidos como suelos volcanoclásticos es decir que son suelos producto de algunos episodios de vulcanismo explosivo, que fueron depositados y acumulados y cubrieron estas zonas en tiempos pasados, los suelos en estas laderas son de un color blanquecino debido a la presencia de ceniza volcánica. En ciertos puntos se observó la presencia de infiltraciones de agua que afloran en la superficie de estas laderas y contribuyen a su inestabilidad.

Por lo expuesto anteriormente esta investigación trata analizar la estabilidad de las zonas susceptibles a deslizamientos en las laderas del “Cerro Cruz del Siglo” con el fin primordial de contribuir en la Gestión de riesgo de desastres para tener una planificación urbana ordenada, para luego tomar las medidas correctas de prevención y mitigación en estas laderas.

1.2.- Problema General

- ✓ ¿Cómo afectan los suelos volcaniclásticos en la susceptibilidad a deslizamientos en el cerro "Cruz del Siglo" en la localidad de Torata - Moquegua?

1.2.1-Problemas Específicos

- ✓ ¿Cómo afectan las características geológicas (Suelos Volcaniclásticos) en la susceptibilidad a deslizamientos en las laderas del cerro "Cerro Cruz del Siglo"
- ✓ ¿Cómo afectan las características geomorfológicas, en la susceptibilidad a deslizamientos en las laderas del cerro "Cerro Cruz del Siglo"
- ✓ ¿Cómo afectan las características litológicas (tipos de suelo), en la susceptibilidad a deslizamientos en las laderas del cerro "Cerro Cruz del Siglo"
- ✓ ¿Cuáles son los factores que desencadenarían un deslizamiento en las laderas de "Cerro cruz del Siglo"?
- ✓ ¿Cómo afecta el nivel freático de las aguas subterráneas en la localidad de Torata y específicamente en "Cerro Cruz del siglo" y de acuerdo con los estudios geofísicos?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar las zonas susceptibles a deslizamientos, en suelos volcaniclásticos en el cerro "Cruz del siglo" en Torata - Moquegua. en función a sus características; geológicas, geomorfológicas, geofísicas y geotécnicas para así, contribuir en prevención y mitigación de desastres naturales.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las características geológicas y delimitar las zonas más críticas a sufrir deslizamientos en el sector de "Cerro Cruz del Siglo"
- ✓ Determinar las características Geomorfológicas en la susceptibilidad a deslizamientos en el cerro "Cruz del siglo"
- ✓ Determinar las características litológicas (tipos de suelo), en la susceptibilidad a deslizamientos en las laderas del cerro "Cerro Cruz del Siglo".

- ✓ Determinar los factores desencadenantes, que originarían deslizamientos, en el sector de “Cerro Cruz del Siglo”.
- ✓ Determinar el nivel freático de las aguas subterráneas en la localidad de Torata y específicamente en las laderas de “Cerro Cruz del siglo” De acuerdo con los ensayos geofísicos.

1.4 Justificación e Importancia de la Investigación

1.4.1 Justificación

En muchas partes del mundo, los deslizamientos causan destrucción y pérdida de vidas humanas, en zonas urbanas donde habitan las poblaciones, la gestión de riesgo de desastres (GRD) y la toma de decisiones y acciones en zonas susceptibles a eventos como los deslizamientos en áreas urbanas como en Torata “Cerro Cruz del Siglo” podrían salvar vidas y prevenir daños a la población en las zonas más críticas a estos movimientos en masa.

1.4.2 Importancia

Este trabajo pretende contribuir en la planificación urbana y ordenada en la ciudad de Torata, para que en el futuro estas laderas, susceptibles a deslizamientos, ubicadas en el “Cerro Cruz del siglo” no sean urbanizadas, por considerarse una zona de alto riesgo a sufrir movimientos en masa como deslizamientos, Por lo explicado anteriormente esta investigación pretende dar información técnica importante de estas zonas susceptibles para conocer el factor de seguridad de estas laderas, con el fin de tomar alguna medida de mitigación, para prevenir daños a las infraestructuras y a la población de Torata.

1.5 Hipótesis

En las laderas ubicadas al sur – este de la Plaza principal de Torata, en el “Cerro cruz del Siglo”, al pie de la carretera binacional, se ubican deslizamientos activos traslacionales, cuyas escarpas se pueden observar en las pendientes pronunciadas de este cerro, que ante un evento desencadenante como: sismos, precipitaciones extremas, podrían generar un aumento de la inestabilidad de estas laderas, donde los superficiales conformados por materiales (GM) y la particular composición de estos al ser suelos de origen volcánico -sedimentario podrían generar movimientos en masa mucho peores de los que existen en la actualidad, poniendo en riesgo las

infraestructuras como : la Carretera Binacional, y aún peor podría poner en riesgo las zonas urbanas de Torata cercanas a estos eventos y poner en peligro a la población.

1.5.1 Hipótesis Específica

Los Suelos Volcanoclásticos afectan considerablemente a la susceptibilidad en las laderas ubicadas al sur – este de la Plaza principal de Torata, en el “Cerro cruz del Siglo”.

1.6 Sistema de Variables

1.6.1. Variable Independiente

- ✓ Suelos Volcanoclásticos.

1.6.2. Variable Dependiente

- ✓ Zonas susceptibles a deslizamientos.

1.7 Metodología de Trabajo

El siguiente trabajo de investigación hace una Investigación del tipo Descriptivo-Analítico, determinístico, de un diseño de Campo-Cualitativo y un nivel Descriptivo, por lo que, de acuerdo a ello, la metodología de trabajo se dividirá en 5 fases:

1.7.1 Gabinete I

Recopilación de información geológica regional y local existente (boletines geológicos, informes técnicos, entre otros).

1.7.2 Campo I

Se realizó el cartografiado de las unidades geomorfológicas y litológicas aflorantes a escala 1:5500. Así como también, se identificó y delimitó los eventos geodinámicos.

1.7.3 Campo II

Se realizaron los ensayos geofísicos entre ellos: Mass w, Tomografía eléctrica, en las zonas urbanas de Torata.

1.7.4 Campo III

Realización de ensayos geotécnicos los cuales se detallan a continuación:

- ✓ Elaboración de calicatas: Éstas se realizaron a una profundidad promedio de 3.00 m. En la zona urbana de Torata y zonas de expansión urbana, se realizaron en total 05 calicatas.
- ✓ Ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), estos se realizaron con el fin de determinar la resistencia de los suelos al ser penetrados, se llevaron a cabo 07 DPL.
- ✓ Ejecución de auscultaciones haciendo uso de posteadora, estas se distribuyeron en zonas intermedias a la ubicación de las calicatas más próximas, con el fin de determinar el tipo de suelo. En el área de estudio se llevaron a cabo 05 posteos.

1.7.5 Laboratorio

Procesamiento de las muestras de suelos, a través de ensayos de laboratorio, tales como granulometría (Clasificación SUCS), humedad, densidad y corte directo (capacidad de carga admisible)

1.7.6 Gabinete II

Elaboración de la tesis con la información obtenida en campo, que adjunta anexos que contienen fichas geotécnicas de: calicatas, densidad, posteos, DPL, correlación DPL con el SPT y análisis granulométrico, así como planos temáticos a escala 1: 5500.

1.8 Aspectos Generales del Área de Estudio

1.8.1 Ubicación

La localidad de Torata, se encuentra ubicada en la Provincia de Mariscal Nieto, Región de Moquegua sobre la margen izquierda del río Torata, a 25 km al Nor-Este de la Ciudad de Moquegua.

Se encuentra a una altitud de 2,207 m.s.n.m, con coordenadas geográficas 17° 04' 18'' Latitud Sur y 70° 50' 58'' longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich.

Teniendo como coordenadas UTM WGS 84 E: 303726.00 N: 8111028.00. Zona 19 S tal y como se observa en el **Mapa 01**.

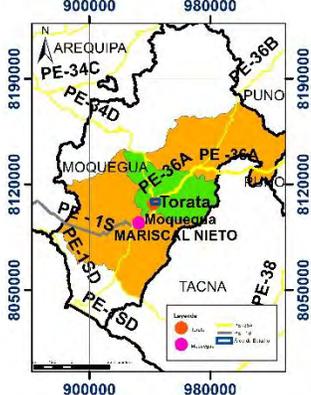
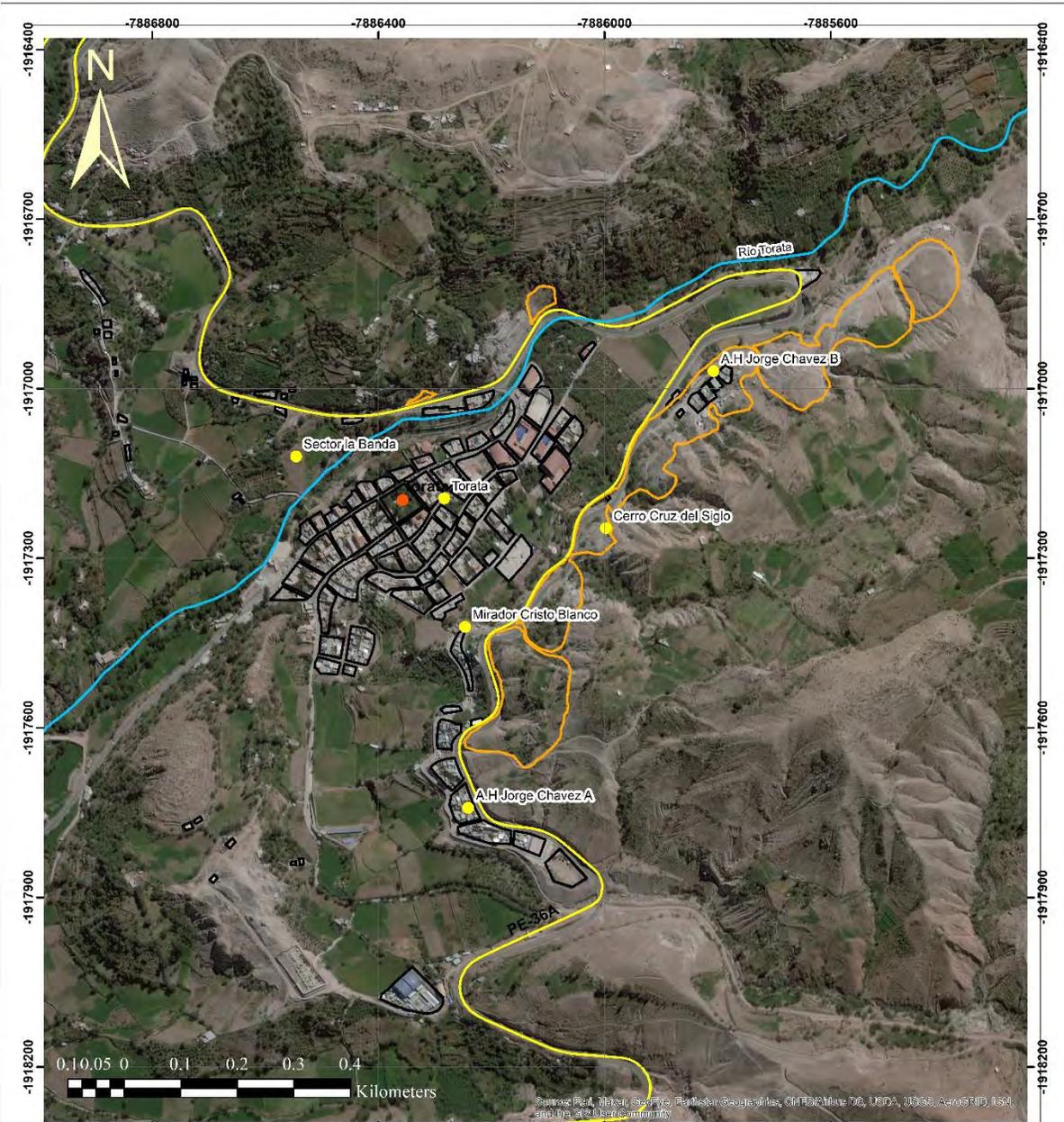
La localidad de Torata limita con las siguientes ciudades:

- Norte: Distrito de Carumas, Quinistaquillas y Omate.
- Sur: Distrito de Samegua, Moquegua e Ilabaya (Tacna).
- Este: Distrito de Camilaca (Tacna).
- Oeste: Distrito de Samegua y Moquegua.

Mapa 01

Mapa de Ubicación y Accesibilidad a la Ciudad de Torata

Cabe señalar que las zonas susceptibles a deslizamientos se encuentran en polígonos naranja, ubicadas en el Cerro Cruz del Siglo -Torata. Fuente: elaboración propia.



Simbología

- Torata
- Sectores
- Río Torata
- Inter Oceanica Sur
- Zonas Susceptibles a deslizamientos
- Torata Zonas Urbanas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA

EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANOCLASTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA

DIBUJO: MARCOS MATOS YALLICO	MAPA DE UBICACION Y ACCESIBILIDAD	
PLANO - 01	REGIÓN: MOQUEGUA	DATUM: SWGS 84
FECHA : AÑO 2021	PROVINCIA: MARISCAL NIETO	PROYECCION UTM: ZONA 19S
	DISTRITO: TORATA	ESCALA 1:6500
	LOCALIDAD: TORATA	

1.8.2 Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio, desde Lima se toma la Carretera Panamericana Sur, unos 1146 km hasta la ciudad de Moquegua, el recorrido dura 14 horas en auto aproximadamente. Una segunda opción es abordar un vuelo hasta Arequipa (una hora) y luego ir por tierra hacia Moquegua (3 horas en auto) a través de la mencionada vía. Posteriormente se debe enrumbar hacia la ciudad de Torata, ubicada a 24 Km de Moquegua. Se accede en 25 minutos en auto en dirección nor-este. **Tabla 1**

Tabla 1: Accesibilidad a la zona de Estudio por vía -terrestre

DE	A	DISTANCIA VÍA	TIEMPO
Lima	Moquegua	1146 km - Panamericana Sur	16 Horas
Moquegua	Torata	24Km - 36A	25 Minutos
Total		1170 Km	16 Horas, 25 minutos

Nota. Para acceder a la zona de estudio, Torata, se emplearon un total de 1170Km, vía terrestre desde la Capital Lima.

1.8.3 Clima

Para determinar las condiciones climáticas en la ciudad de Torata, se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Información obtenida de la estación meteorológica "YACANGO - 000852", que se encuentra ubicada a 3.29 Km al sur-oeste de la ciudad en mención, en las coordenadas geográficas: Latitud 17 5' 47.8", Longitud 70 52' 3.1" y en la cota 2091 m.s.n.m., período 2015-2020, determinan que la ciudad de Torata presenta un clima templado durante todo el año, por otro lado entre los meses de abril a diciembre no presentan precipitaciones pluviales, pero se tiene lluvias leves en los meses de enero, febrero, y marzo,

Las temperaturas máximas promedio son de 25°C a 26 °C y mínimas promedio de 8°C a 9°C, respectivamente. Los datos pluviométricos indican que las máximas precipitaciones alcanzan en promedio 170.5 mm, en los meses de máxima precipitación

que son de enero a marzo. Mensuales, durante los meses de enero a marzo, véase **(Tabla 2)**.

El promedio de precipitación en mm, para el año 2015 fue de 23.55 mm, mientras que para el año 2016 fue de 1.72mm, en el año 2017 en todo el Perú se registraron lluvias anómalas debido al (Fenómeno del niño) en Torata, se registró en enero un promedio de 107.1 mm, generando inundaciones en Torata y sus provincias.

De acuerdo al mapa de isoyetas de la memoria descriptiva “Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú” elaborada por la Autoridad Nacional del Agua “ANA”, en la zona de estudio llueve de 100 a 200 mm anuales.

Tabla 2: Registro de Temperaturas Mínimas, Máximas y Precipitaciones Pluviales Acumuladas, Durante el Período 2015 – 2020. Fuente: “SENAMHI”

Año 2015												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	23.4	21.2	21.8	23.71	23.4	23.2	24.1	23.9	23.8	25.1	25.7	25.5
T° Min Promedio (°C)	12.3	12.3	11.1	12.1	10.3	10.3	8.2	10.7	12.0	8.80	9.78	10.5
Precipitación (mm)	41.9	70.3	170.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Año 2016												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	26.3	28.4	26.0	25.7	25.6	24.7	25.3	26.0	25.1	24.9	25.1	24.9
T° Min Promedio (°C)	11.4	10.4	12.0	11.1	10.2	9.54	9.7	9.6	10.7	11.7	11.1	11.1
Precipitación (mm)	0	21.7	0.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
Año 2017												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	23.1	23.6	23.8	24.0	24.1	23.9	25.0	25.6	25.4	25.5	25.5	24.6
T° Min Promedio (°C)	12.4	11.9	11.7	11.0	10.9	10.31	9.8	10.7	10.9	10.8	9.9	9.6
Precipitación (mm)	107.1	45.5	31.6	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6
Año 2018												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	24.6	23.9	25.1	24.0	24.6	24.6	24.7	25.8	26.3	26.0	26.1	26.6
T° Min Promedio (°C)	10.7	10.6	11.9	11.2	10.5	11.09	11.3	10.6	10.8	11.5	11.3	11.8
Precipitación (mm)	10.2	6.3	0.8	1.8	0	0.4	0	0	0	0	0	0
Año 2019												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	26.5
T° Min Promedio (°C)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	11.8
Precipitación (mm)	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	0
Año 2020												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T° Max Promedio (°C)	24.5	24.4	24.9	NP	NP	NP	NP	NP	25.4	25.8	NP	NP
T° Min Promedio (°C)	13.8	13.8	13.4	NP	NP	NP	NP	NP	10.9	11.3	NP	NP
Precipitación (mm)	100.2	89.1	3.5	NP	NP	NP	NP	NP	0	0	NP	NP

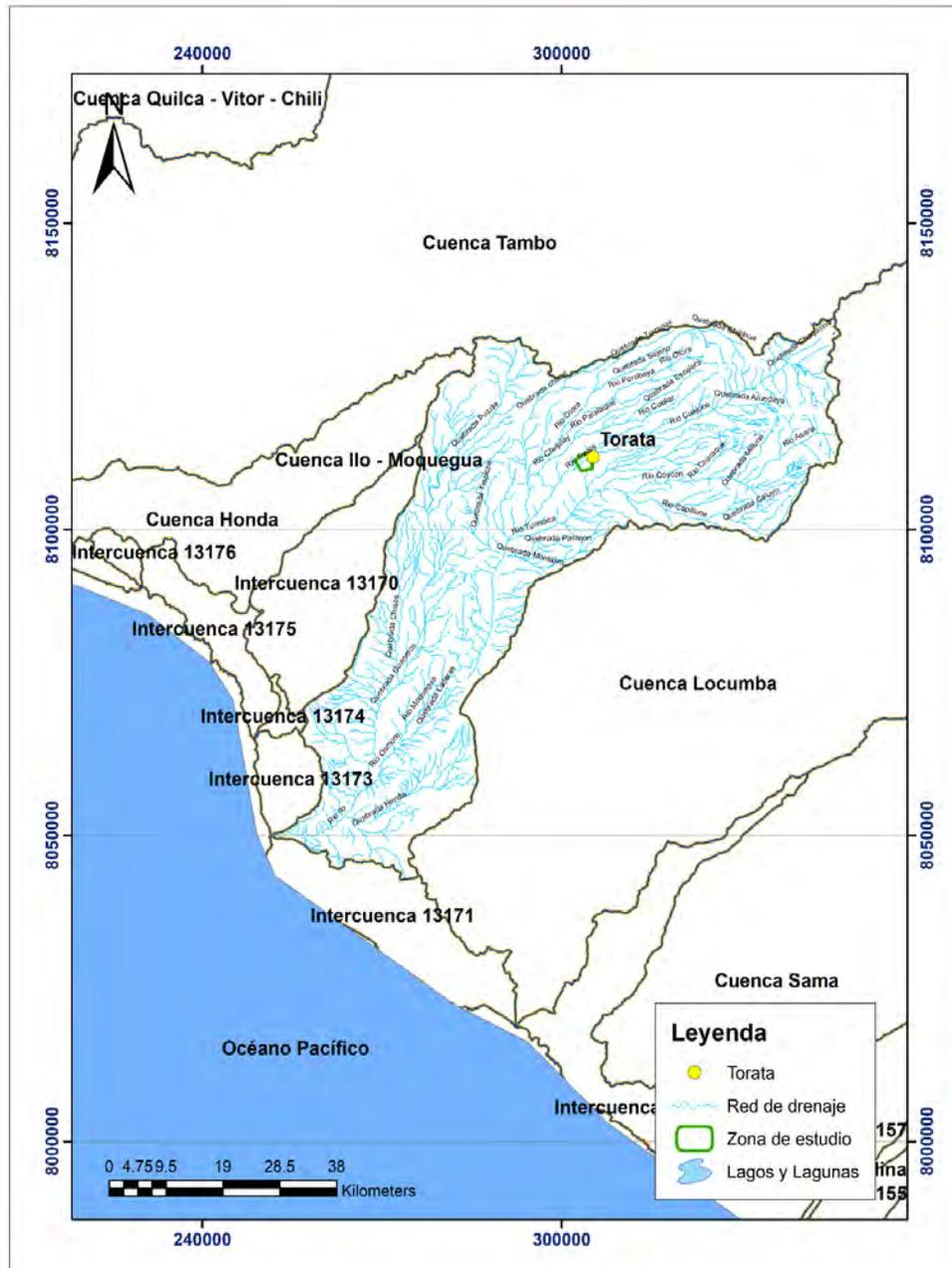
Nota. En el cuadro se observa en color amarillo las precipitaciones máximas, mientras que en color naranja se observa las temperaturas mínimas

1.8.4 Hidrología

La zona de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica de Osmore Moquegua, que se ubica en la región Moquegua, costa sur peruana, comprende las provincias de Mariscal Nieto e Ilo, tiene una longitud de 139 km., una extensión de 348,000 ha. Se origina en los nevados Chuquiananta y Arundane de la Cordillera occidental, entre los 16°52' y los 17°42' de latitud sur y los 70°20' y los 71°20' de longitud oeste.

En las inmediaciones de la zona de estudio, el río Torata hace su recorrido por el sector de Labramane; Torata, y Yacango, dentro de la sub unidad hidrográfica 6 Torata, discurren sus aguas en dirección noreste-suroeste, y sigue su recorrido hasta encontrarse con los ríos Otorá; Tumulaca donde confluyen sus aguas formando el Río Ilo, que esta a su vez discurrirá sus aguas hasta la ciudad de Moquegua Moquegua, para finalmente continuar con su recorrido y ser reconocido como río Ilo, hasta desembocar en el Océano Pacífico, Figura 1.

Figura 1: Ubicación y Delimitación de la Cuenca hidrográfica, del río Osmore (Ilo - Moquegua)



Nota. Fuente, elaboración propia.

Capítulo II. Marco Teórico

2. Volcanismo

El más grandioso, misterioso y terrorífico de todos los fenómenos naturales es el de un volcán en erupción. Temblando, agrietándose, rugiendo, humeando, explotando, surgiendo, fluyendo y sacando productos de su interior, infundiendo terror, en el corazón del espectador. (Krafft, 1980).

Los volcanes destruyen y los volcanes crean. La catastrófica erupción del Monte Santa Helena el 18 de mayo de 1980, puso de manifiesto el impresionante poder destructivo de un volcán. Sin embargo, en un lapso de tiempo más largo que la memoria y el registro humano, los volcanes han jugado un papel clave en la formación y modificación del planeta en el que vivimos. Más del 80 por ciento de la superficie de la Tierra, por encima y por debajo del nivel del mar, es de origen volcánico. Las emisiones gaseosas de los respiraderos volcánicos durante cientos de millones de años formaron los primeros océanos y la atmósfera de la Tierra, que suministraron los ingredientes vitales para la evolución y el mantenimiento de la vida. Durante eones geológicos, innumerables erupciones volcánicas han producido montañas, mesetas y llanuras, que la erosión y la meteorización posteriores han esculpido en paisajes majestuosos y han formado suelos fértiles. (Tilling & Geological Survey (U.S.), 1987)

Los volcanes se clasifican con las grandes tormentas y terremotos entre los fenómenos que confunden, aterrorizan y abruman la mente humana a pesar del creciente dominio del hombre sobre la naturaleza, (Tyrrell, 1931).

Los volcanes son todavía un misterio. Exactamente lo que sucede bajo la corteza terrestre, la zona de 40 km de profundidad de rocas quebradizas, la piel arrugada de una manzana cocida, como se ha llamado, aún no se entiende completamente. Nadie ha penetrado tan profundamente. Nuestra minería, túneles y perforaciones sólo han arañado la

superficie del planeta, pero los volcanes están ayudando a revelar los secretos del interior de la Tierra.

La vieja idea de que la tierra es como un cuerpo rígido e inmóvil ha sido demolida por la información aprendida por la actividad volcánica.

La tierra que ahora vivimos es un cuerpo vivo en constante cambio motivado por el calor. La fuente de este calor, la energía profunda de la tierra, es incierta, ya que no sabemos nada de su vida interior.

El flujo de calor desde el interior de la tierra es una de las causas de la actividad volcánica. La otra es la presión. Las erupciones resultan de la interacción de estas fuerzas opuestas dentro de la parte superior del manto, figura 3.

El calor que sube desde abajo agita las rocas del interior del manto hasta convertirlas en una especie de pasta fundida.

Pero la enorme presión ejercida por la forma de la corteza (100 toneladas por pulgada cuadrada) (15,8 toneladas por cm^2) a la profundidad de 40 millas (65 km) mantiene estas rocas sólidas.

cuando la presión se libera en algunos lugares por la ruptura, el agrietamiento o el desplazamiento de la corteza, estas rocas se derriten, formando una masa fundida tal vez a unos 20 o 30 millas por debajo de la superficie de la tierra. Esta masa tremendamente caliente se llama magma. Normalmente está confinada en pequeñas cámaras magmáticas y permanecen allí sin producir ningún daño. Pero existe otra fuerza, el gas. El gas está hecho de vapor formado por el contacto del agua con el magma super caliente. De donde proviene esta agua es uno de los problemas sin resolver de la volcanología, puede filtrarse desde la superficie de la tierra, o de las capas oceánicas, o puede generarse desde el interior de la tierra. Cualquiera que sea su origen, el agua es el detonante, es el agente activo de una erupción volcánica. Cuando se encuentra con el magma, el vapor se expande mil veces, forzando al magma, ahora cargado de gas, a subir. Busca escapar a través de estrechas fisuras y grietas, empujando a un lado las rocas que se interponen, abriendo sus caminos hacia la superficie. (Furieux, 1974).

Figura 2: Monte Bromo en erupción, en Indonesia, localizado en el cinturón de fuego del pacifico



Nota. Indonesia tiene más de 100 volcanes activos. Fuente: Thoron, J. (2006) Volcanoes, recuperado de <http://www.archive.org>.

2.1 Definiciones de Volcán. -

Los volcanes son montañas, pero son muy diferentes de otras montañas que se forman por plegamiento, arrugamiento, elevación y erosión. En cambio, los volcanes se construyen por la acumulación de sus propios productos eruptivos -lava, bombas (con corteza sobre los flujos de ceniza, y tefra (ceniza y polvo en el aire). Un volcán es más comúnmente una colina o montaña cónica construida alrededor de un respiradero que se conecta con depósitos de roca fundida bajo la superficie de la Tierra. El término volcán

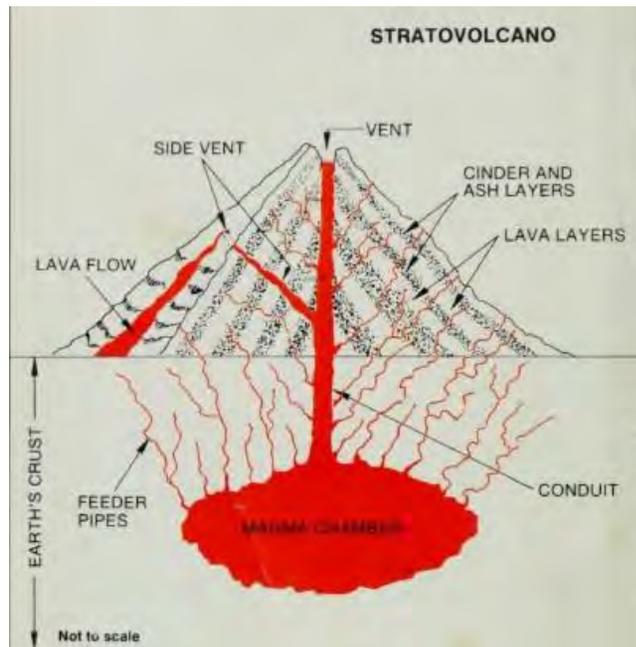
también se refiere a la apertura o ventilación a través de la cual se expulsan la roca fundida y los gases asociados. (Tilling & Geological Survey (U.S.), 1987).

Un volcán es tanto el lugar o la abertura desde la cual, la roca fundida y el gas, y generalmente ambos, salen del interior de la tierra hacia la superficie, como la colina o la montaña construida alrededor de la abertura por acumulación del material rocoso. (Macdonald, 1972).

2.2 Estructura o partes de un volcán

El magma rojo y caliente del manto superior de la tierra se eleva a un gran reservorio o cámara magmática dentro de la corteza terrestre. Parte de este magma se filtra entre las capas de roca de la superficie, para formar (Sills), También puede quedarse atrapado dentro de viejas fisuras, para formar (Diques). Gran parte de este magma estalla hacia arriba, para escapar a través de los respiraderos de los volcanes. Las repetidas erupciones de lava construyen empinadas laderas de montaña alrededor de un poderoso respiradero central. El magma y los gases bajo gran presión también se abren camino a la superficie a través de venas secundarias y fumarolas, escapando gases y vapor. El interior de un volcán puede ser como un panal de abejas compuesto por tubos, venas y fisuras. Después de una erupción, las venas pueden estar tapadas mientras el magma se enfría y se endurece. Figura 3.

Figura 3: Estructura interna de un estratovolcán



Nota. Fuente: Readlauer, R. (1981) Volcanoes. recuperado de <http://www.archive.org>

2.3- ¿cómo los volcanes entran en erupción?

La actividad volcánica persistente, puede tener períodos de gran y menor intensidad y pueden tener un periodo de duración de meses o incluso años, generalmente pueden terminar con una emisión repentina y violenta de material seguida de un estado de inactividad o quietud. El material fundido (magma) consiste en una masa de silicatos en las cuales cantidades variables de gases están disueltas.

Hay tres estados físicos diferentes. El hipomagma es un material fundido sujeto a altas presiones a grandes profundidades, en el que los gases se disuelven molecularmente, al igual que el dióxido de carbono en una botella tapada de agua mineral. El piromagma es material fundido sujeto a una menor presión a menores profundidades, de modo que los gases forman burbujas, como cuando se abre una botella de agua. El epimagma, en cambio, consiste en un material fundido superficial libre de gases, debido a una presión muy baja; se diferencia de la lava sólo en que no sale por el respiradero.

Pero, ¿cómo se produce realmente una erupción? El magma dentro del respiradero de un volcán está sujeto a dos presiones: en primer lugar, la presión hidrostática externa de la columna de materia que está encima de él; y, en segundo lugar, la presión - no siempre encontrada - debido al peso y la resistencia del material solidificado que bloquea el conducto mismo y forma un tapón. Si, debido a la ruptura del tapón, las presiones externas disminuyen y se vuelven inferiores a las presiones de vapor de los gases disueltos en el material fundido, estos gases forman entonces burbujas de tamaño gradualmente creciente. Este es el proceso que transforma el hipomagma en piromagma, y las burbujas empiezan a moverse hacia arriba en la parte central de la columna de magma. A medida que suben, las burbujas están sujetas a presiones lo suficientemente bajas como para permitir que los gases escapen del conducto. Parte del material fundido, ahora epimagma libre de gases y por lo tanto más pesado, puede desbordarse en forma de lava y parte también puede comenzar a moverse hacia abajo a lo largo de los lados del conducto. (Rittmann & Rittmann, 1976).

2.4. Productos de la explosión de un Volcán.

En toda actividad volcánica, el magma se separa con diversos grados de violencia al llegar a la superficie, para formar gases y lava. El estudio de estos gases volcánicos siempre ha presentado problemas considerables, principalmente desde el punto de vista práctico. Las altas temperaturas dificultan su recolección desde los alrededores de los respiraderos eruptivos, a los que a menudo no se puede acceder debido a las explosiones, mientras que la expulsión de material incandescente es bastante capaz de matar a un observador.

No obstante, los expertos están ahora bastante seguros de que los principales gases emitidos son: vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, monóxido de carbono, ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico. Además, otras sustancias transportadas por estos gases incluyen compuestos de elementos con fuertes similitudes con los gases, como los cloruros alcalinos y el cloruro férrico, que forma depósitos en los conductos de ventilación de las fumarolas.

La lava en sí misma es particularmente fascinante, ya que se vierte ya sea desde el cráter o desde las fumarolas de los flancos del volcán después de que los gases se han escapado y luego se congela lentamente debido a la disminución de la temperatura. La lava puede solidificarse en una variedad de formas dependiendo de la viscosidad del material fundido, su contenido de gas y, por supuesto, las características de la superficie por la que fluye.

(Rittmann & Rittmann, 1976).

2.4.1 Gases Volcánicos

Los volcanes son las únicas aberturas que permiten a la tierra liberarse de los gases disueltos en lo profundo del magma. De hecho, cada año los volcanes expulsan 100 millones de toneladas de gases sulfurosos. En 1917, en el valle de los diez mil humos (Alaska) emitió 125 millones de toneladas de ácido clorhídrico y 200.000 toneladas de ácido fluorhídrico. Laki (Islandia) expulsó 20 millones de toneladas de gas carbónico en los ocho meses de su actividad. En cuanto al Vesubio (Italia). Durante los cuatro días de la erupción de 1929, expulsó un millón de toneladas de vapor. Estas cifras pueden parecer sorprendentes, pero los experimentos de laboratorio han demostrado que un solo kilómetro cúbico de granito libera 7 mil millones de metros cúbicos de vapor. Y las reservas subterráneas de magma llegan a cientos de miles de kilómetros cúbicos.

Esta nube blanca y pura que escapa, (figura 04), del cráter, Augustine (Alaska) es testigo de la cantidad de vapor que liberan los volcanes. No debería sorprendernos que gran parte del agua de la atmósfera y toda el agua de la superficie actual de la tierra entre ellos - lagos, ríos y océanos –

hayan venido originalmente, de fumarolas y respiraderos de vapor volcánico durante los más de cuatro billones de años de existencia de nuestro planeta.

Figura 4: Vapor liberado del cráter del volcán Augustine (Canadá)



Nota. Fuente, Krafft, K.M. (1980) *Volcanoes earth's awakening*

2.4.2 Fragmentos de roca lanzados por explosiones volcánicas

Los fragmentos de roca arrojados por explosiones volcánicas se denominan eyecta (singular: eyectum), y las acumulaciones de tales fragmentos se conocen como rocas piroclásticas ("rotas por el fuego").

Hace mucho tiempo, Aristóteles utilizó el término "Tefra" para este material, y el término ha sido revivido recientemente por el vulcanólogo islandés, Sigurdur Thorarinnsson (1951).

Las explosiones volcánicas varían en intensidad desde los débiles salpicones que comúnmente acompañan la erupción de lava basáltica muy fluida hasta las explosiones cataclísmicas que arrojan escombros a muchos kilómetros de altura en la atmósfera. El concepto habitual de una explosión es un estallido violento y repentino de muy corta duración, esencialmente un único y breve impulso, como la explosión que lanza el proyectil de un arma. Algunas explosiones volcánicas son así, pero muchas son explosiones continuas

de mayor duración de gas que se prolongan durante varios segundos o minutos, o incluso horas. (Macdonald, 1972).

La clasificación más importante de la tefra se basa en el tamaño de los fragmentos. Los fragmentos de más de 2,5 pulgadas de diámetro promedio se subdividen aún más en función de su forma, que refleja su condición física en el momento en que fueron expulsados. (Fisher, 1961). La clasificación general de la tefra se da en la **tabla 3**.

Tabla 3: Clasificación de la Tefra

<i>Clasificación de la tefra</i>				
<i>Tamaño de los fragmentos (Diámetro medio)</i>	<i>La forma de los fragmentos</i>	<i>Condición de la eyección</i>	<i>Fragmentos individuales</i>	<i>Acumulaciones de fragmentos</i>
<i>Más de 2.5 pulgadas</i>	<i>Redondo a subangular</i>	<i>Plástico</i>	<i>bombas</i>	<i>Aglomerado</i>
	<i>Angular</i>	<i>Brecha</i>	<i>Sólido</i>	<i>Bloques</i>
<i>Alrededor de 2.5 pulgadas a 1/10</i>	<i>Redonda a angular</i>	<i>Líquido o sólido</i>	<i>Lapilli</i>	<i>Lapilli aglomerado / Lapilli Brecha</i>
<i>Menos de 1/10 de pulgada</i>	<i>Generalmente es angular, pero podría ser redonda</i>	<i>Líquido o sólido</i>	<i>Ceniza</i>	<i>Ceniza, cuando no se consolida, Toba cuando se consolida</i>

Nota. Elaboración propia, modificado de R.V. Fisher (1961)

2.4.2.1 Material Piroclástico

La eyección de fragmentos sólidos (proyectiles) es una de las fases más espectaculares de una erupción volcánica.

Los fragmentos de material sólido eyectados por un volcán varían en tamaño desde enormes bloques de las capas de la corteza, que son expulsados en la ruptura inicial - a través de la fumarola volcán, hasta finas partículas de polvo, que son tan ligeras que pueden ir a la deriva completamente alrededor de la tierra varias veces.

La acumulación de estos escombros alrededor de la chimenea, junto con la lava que puede ser derramada, construye el cono volcánico.

Todo el material expulsado por un volcán se describe como "Piroclástico" Pyro = "fuego" + "clástico" = roto. (Macdonald, 1972).

2.4.2.2 Clasificación de los Piroclásticos

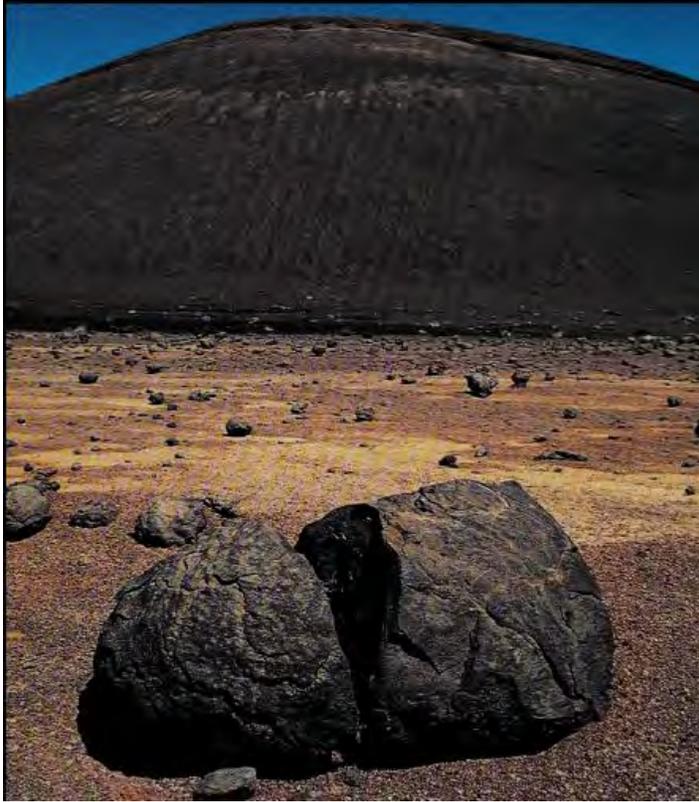
Es útil una simple clasificación del material piroclástico, basada en el tamaño y la forma. Los fragmentos más grandes, que consisten en trozos de las capas de la corteza debajo del volcán o de lavas más antiguas rotas de las paredes del conducto o de la superficie del cráter se llaman "bloques". Las "bombas" volcánicas son masas de lava nueva que salen del cráter y se solidifican durante el vuelo, volviéndose redondeadas o en forma de huso - al ser lanzadas por el aire.

en tamaño van desde pequeñas pelotitas hasta enormes masas que pesan muchas toneladas. A veces todavía son de plástico cuando golpean la superficie y se aplastan o distorsionan al rodar por el lado del cono. Ocasionalmente uno puede golpear un árbol y ser moldeado alrededor de una rama. (Macdonald, 1972).

El material más temible, atemorizante y aterrador que es arrojado, y lanzado expulsado al aire durante una erupción volcánica son los llamados, "cinders". Los cinders son trozos duros y grandes de magma endurecido, conocidos más coloridamente como bombas volcánicas. Típicamente, los "cinders" varían de tamaño desde el tamaño de una pequeña pelota de béisbol hasta el tamaño de una pelota de basketball. Sin embargo, algunas cinders pueden tener muchos pies de ancho y pesar hasta 100 toneladas (91 t). G.Mitchel 2004. Figura 05.

La forma de estas bombas volcánicas generalmente es "fusiformes", y generalmente se les atribuye esta forma, pero usualmente son simplemente irregulares y generalmente muy vesicular. (Macdonald, 1972).

Figura 5: Los Cinders son: bombas o piezas gigantes de magma solidificado



Nota. en la imagen se observa bombas o "cinders" esparcidos en los suelos cerca de un volcán. Fuente: photographs by JLM Visuals (2004). The Fiery Mounts Volcanoes

A diferencia de las bombas, fragmentos rotos más pequeños son denominados "Lapilli" del significado italiano "pedrecitas" son del tamaño de las nueces.

La piedra pómez es una especie de material piroclástico, producido por lavas ácidas en las que el contenido de gas es tan grande que hace que el magma "haga espuma" al subir por la chimenea del volcán y, al acercarse a la superficie, en zonas de presión decreciente, cuando se producen las explosiones la espuma de la roca es expulsada como una piedra pómez.

Gran parte del material se convierte en polvo - partículas de tamaño, pero los trozos que varían desde el tamaño de las canicas hasta un pie o más de diámetro son abundantes. La piedra pómez flotará en el agua debido a los muchos espacios de aire formados por los gases en expansión. Hay que recordar que este material es tan verdaderamente magma como cualquier flujo de lava, pero debido a su alto contenido de gas, es expulsado como piedra pómez y ceniza en lugar de como líquido. Los escombros que enterraron Pompeya en el 79 d.C. eran piedra pómez de la erupción del Vesubio.

Tabla 4: Productos Volcánicos (Decker & Decker 1981)

Productos Volcánicos		
Forma	Nombre	Características (dimensiones)
Gas	Vapor, Humo	
Lavas		
Líquido	Aa	superficie rugosa y en bloques
	Pahoehoe	superficie entre lisa y rugosa
Fragmentos de caída de aire		
Sólido	Polvo	< 1/16 mm
	Ceniza	1/16 - 2 mm
	Cinders	2 - 64 mm
	Bloques	> 64 mm sólido
	Bombas	> 64 mm plásticos
	Flujos piroclásticos Flujos de lodo	flujos fluidizados calientes flujos fluidizados por la lluvia, el deshielo y la nieve, o lagos de cráteres expulsados
<i>Tomado y Traducido de Decker, 1981. Volcanoes, p. 108 W. H. Freeman and Company</i>		

Nota. Piroclastos, en la tabla se observa como “airfall fragments” o fragmentos aéreos, entre ellos “dust, ash, cinders, blocks, bombs, piroclásticos flows” (polvo, ceniza, bloques, bombas, flujos piroclastos).

2.5 Suelos Volcanoclásticos

2.5.1 Definición de Suelos Volcanoclásticos

Durante una erupción volcánica si las cenizas, de caída aérea son transportadas (reelaboradas o retrabajo) antes de la litificación, entonces se redepositarán como material volcanoclástico, (Cas & Busby-Spera 1991; Manville et al. 2009). El tipo de roca resultante debe definirse en función de su tamaño de grano con el prefijo 'volcanoclástico' (Cas & Wright 1988).

Los depósitos volcanoclásticos pueden encontrarse en lugares proximales y distales que rodean volcanes, en todos los ambientes deposicionales (Frolova 2008).

M.E Tucker, (1981) define El término "volcanoclástico" abarcan e incluyen a una amplia variedad de tipos de rocas que se originan como consecuencia de la actividad volcánica y consisten esencialmente en "eyectamenta" (materia arrojada fuera de un cráter por un volcán en erupción. se representan abundantemente en las sucesiones de placas destructivas convergentes y arcos insulares.

Son aquéllas producidas por actividad volcánica, generalmente explosiva, seguida de una remoción o retrabajo de material, se transportan, depositan y se acumulan por procesos similares a las rocas clásticas y están constituidas por partículas que tienen un parecido con rocas clásticas sus partículas son exclusivamente de materiales de origen volcánico-piroclástico, Tienen un parecido con rocas piroclásticas material "particulado" o fragmentado (material piroclástico ó tefra. (Caballero,1992).

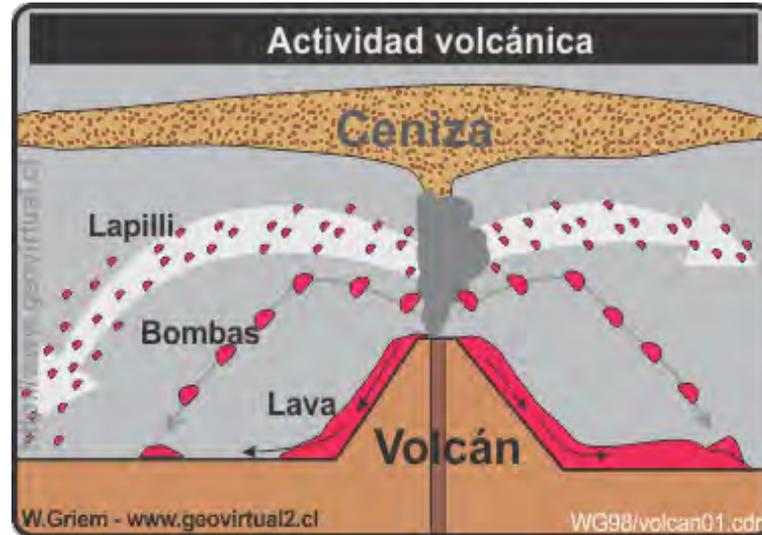
Los materiales volcánicos se suelen agrupar en dos divisiones principales las cuales son. piroclásticos (explosivos) y de origen epiclástico, (erosión). Los piroclásticos incluyen los depósitos incandescentes, y nubes cargadas de gas de velocidad con rocas y arena arrastradas cerca de la fuente balística que incluyen las bombas volcánicas fundidas o escorias vesiculadas (o cenizas); y las bombas eyectadas por vía aérea partículas que viajan a gran altura en la atmósfera (tefra) antes de caer de nuevo a la tierra, normalmente frío. Las partículas de tefra van desde cenizas (<2 mm), lapilli (2-64 mm), hasta bloques. (sólido) y bombas (fundidas) (>64 mm).

Los epiclásticos incluyen todas las formas de removilización volcánica en el paisaje después de la deposición e incluyen depósitos de avalanchas de escombros volcánicos; flujos de lodo volcánico, flujos de escombros y flujos de arroyos hiperconcentrados (lahares); aluviones en los flancos de un volcán; y loess (depositado por el viento en ambientes más áridos y de gran altitud). De los suelos formados directamente de la lava, son las lavas basálticas las que forman los materiales madre del suelo volcánico más extensos debido a la baja viscosidad de esta lava y a su capacidad para fluir a grandes distancias en pendientes bajas.

Independientemente de la composición química de los volcanes, todos ellos contendrán diferentes tipos de proporciones de vidrio volcánico que proporciona los primeros productos distintivos de la intemperie de esta agrupación de suelos. Generalmente la sílice más baja, la máfica más alta (alto contenido de magnesio y hierro) tienden a capear más fácilmente que la sílice más alta, la mafía más baja (alta sodio y potasio) volcánicos. Otras dos variables son la granulometría inicial y la vesicularidad de los materiales parentales. Por ejemplo, una riolita de sílice densa y alta más lento que una pómez menos densa y altamente vesicular. composición idéntica. Esto se debe principalmente a que la superficie disponible es mucho mayor. en la piedra pómez para hacer frente a las inclemencias del tiempo y descomponerlo en productos de intemperie primarios.

Los suelos volcanoclasticos se distribuyen en áreas donde existe actividad volcánica activa, Figura: 06 y donde existen volcanes extintos, estos suelos cubren aproximadamente el 0.84 % de la superficie de la tierra, (Tadashi-Shoji, 2002),

Figura 6: Esquema de la erupción volcánica y los flujos piroclásticos



Nota. En la figura se observa la caída de cenizas y otros productos volcánicos. Geovirtual2.cl2015 (<https://www.geovirtual2.cl>)

2.5.2 Suelos formados por cenizas volcánicas (*Alofanos e Imogolitas*)

De acuerdo, Sanhueza C; Palma J. et al, (2011) Investigaciones llevadas a cabo en el país de Chile han determinado que ciertos suelos, que han sido depositados a lo largo de los años como producto de la actividad volcánica; pueden considerarse aptos para ser empleados como material de filtro en la depuración de aguas residuales domésticas.

Estos suelos han sido estudiados por científicos de la Universidad de Chile, quienes han descubierto, las principales características de los suelos volcánicos chilenos más importantes y, de acuerdo a las propiedades estudiadas, tales como porosidad, área superficial y densidad, entre otras.

Dentro de estos estudios han logrado complementar la información geotécnica que existe sobre suelos volcánicos chilenos, tales como su conductividad hidráulica. Sanhueza C; Palma J. et al, (2011) mencionan en su informe “Evaluation of the geotechnical behavior of Chilean volcanic soils as filter material for domestic water treatment”, que las cenizas volcánicas (vidrio volcánico) inferiores a los 2 mm de diámetro, que al descomponerse generan partículas con tamaños inferiores a los 0,08 mm (arcillas, limos) estas diminutas partículas son llamadas (*Alofanos e Imogolitas*), las cuales tienen propiedades singulares al estar en contacto con agua.

Los suelos formados por cenizas volcánicas son geotécnicamente conocidos como suelos alofánicos así lo describen (Paredes & Verdugo, 2004).

Sanhueza C; Palma J. et al, (2011) mencionan en sus estudios realizados a las partículas de alofán, dos posibles morfologías: una en forma esférica y la otra en forma de toro de revolución, con una pequeña abertura (Paterson, 1977). La principal característica de estas estructuras es que permiten que el agua ingrese al interior de las partículas, quedando adherida por enlaces atómicos de la misma manera en que el agua se adhiere a la superficie exterior.

De esta manera, los suelos volcánicos tienen un comportamiento geomecánico diferente al tradicional. Entre ellos, que poseen una gran capacidad de retención de agua, humedades naturales elevadas, bajas densidades secas, elevados ángulos de fricción (ϕ) y

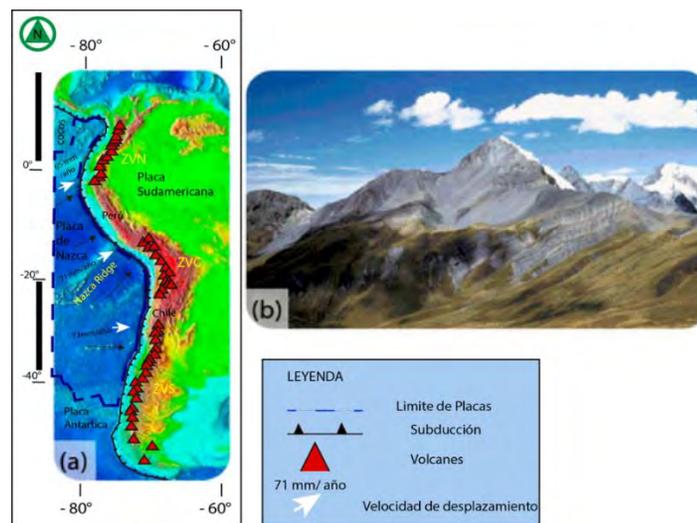
cambios en su estructura dependiendo del tipo de secado empleado (Paredes & Verdugo, 2004; Hermosilla & Cárdenas, 2007).

2.6 Volcanismo en el Perú

La presencia de Volcanes en Sudamérica y en el Perú, está relacionada a la convergencia de la Placa de Nazca (Placa Oceánica) que subduce por debajo de la Placa Sudamericana o (Placa continental).

el mismo que dio origen a la Cordillera de los Andes Peruanos, y sobre la cual se encuentra una extensa cadena de volcanes que puede ser dividida en 3 zonas: Zona Volcánica de los Andes del Norte (ZVAN), de los Andes Centrales (ZVAC) y de los Andes del Sur (ZVAS). En la Figura 07, (Francis y Silva, 1990).

Figura 7: Distribución de las principales zonas volcánicas sobre la Cordillera Occidental de Sudamérica.



Nota. Zona Volcánica del norte (ZVAN) Zona Volcánica del Centro (ZVAC), y Zona volcánica del sur (ZVAS);
Fuente: Modificado de Francis y Silva, (1989)

2.6.1 Origen y Genesis de los Volcanes en el sur del Perú

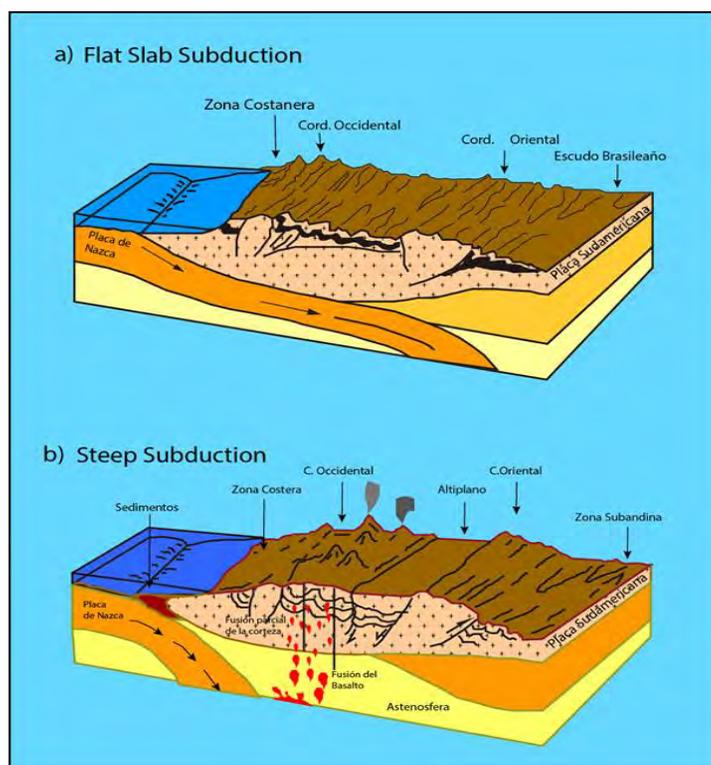
Actualmente en el mundo, existen 1500 volcanes, mientras que en el borde occidental de Suramérica existen 500 volcanes, de los cuales solo 5 estarían activos, en el Perú, la cadena volcánica está conformada por 50 volcanes entre activos e inactivos, y todos

estos se sitúan en el sur del Perú, esta región se caracteriza por presentar una subducción tipo normal, Figura 08. la cual sería la responsable de la existencia de la cadena volcánica en el sur del Perú.

Entre los principales volcanes en el sur del Perú tenemos: Misti, Ampato, Sabancaya, Hualca-Hualca, Andagua, Coropuna, Huaynaputina Ubinas, Ticsani, Tutupaca, Yucamane y Casiri, todos distribuidos en los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna respectivamente.

Sin embargo, solo el Misti y el Ubinas presentan manifestaciones esporádicas de actividad con la correspondiente emisión de fumarolas que alcanzarían diversas alturas. Recientemente, el volcán Sabancaya pasó por un proceso de reactivación que se inició en 1986 y culminó parcialmente en 1995. (CENVUL,2019). Centro Nacional de Vulcanología del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Figura 8: Geometría del proceso de subducción en el Perú



Nota. En la figura se observa dos tipos de subducción a) una subducción plana para el norte Y el centro del Perú, mientras para el sur del Perú se tiene b) una subducción normal.

2. 7 Deslizamientos

2.7.1 Definiciones de deslizamiento

De acuerdo a (Cruden,1978). El término deslizamiento, denota "el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra por una pendiente".

El deslizamiento de tierra. - es un proceso geológico natural que implica el movimiento de materiales de la tierra por una pendiente. Al mismo tiempo, ayuda a dar forma al paisaje actual de la tierra.

El deslizamiento de tierra es también un peligro geológico importante, los deslizamientos de tierra causan daños a los servicios públicos, edificios y rutas de transporte, que, a su vez, crea retrasos en los viajes y otros efectos secundarios. (Delano, and Wilshusen,1979).

Un deslizamiento de tierra es el movimiento de una masa inestable de roca, o tierra no consolidada o escombros por una pendiente. La velocidad del movimiento de los deslizamientos va de rápido a muy lento. Un deslizamiento de tierra puede involucrar grandes o pequeños volúmenes de material. (Delano, and Wilshusen,1979).

2.7.1.1 Factores naturales que afectan a la estabilidad de las laderas.-Entre los factores naturales que afectan a la estabilidad de las laderas figuran las siguientes características de las rocas y los suelos, como la resistencia, la permeabilidad y la presencia de orientación de las fracturas y otras discontinuidades, la inclinación y orientación de las laderas, las precipitaciones y otras fuentes de agua, la presencia de antiguos deslizamientos de tierra y el sobreesfuerzo por erosión de arroyos o lagos.

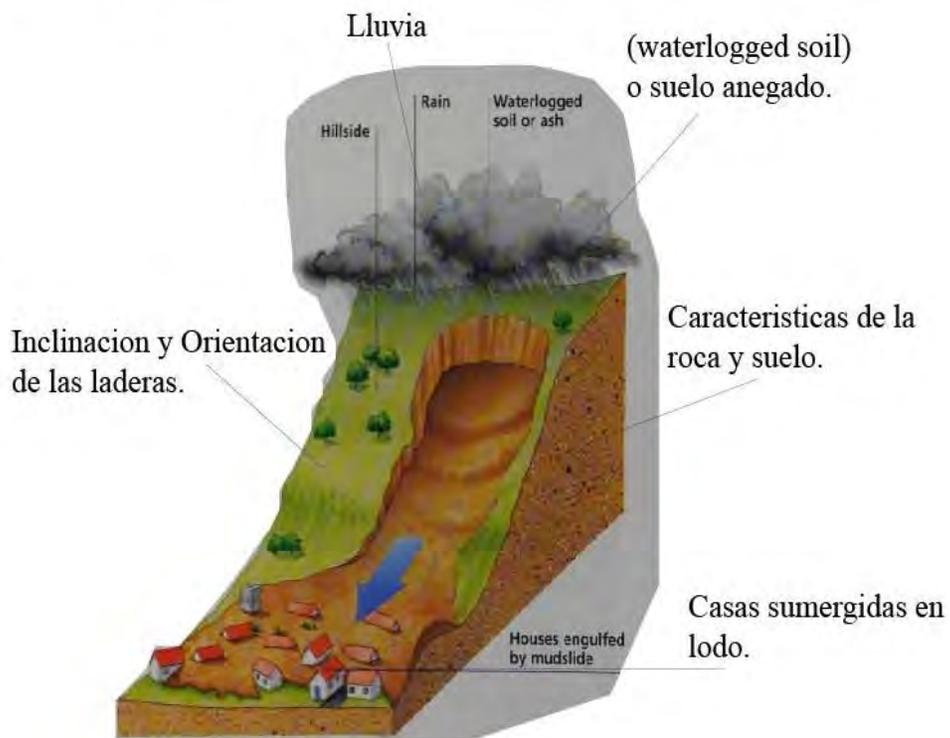
Los factores inducidos por el hombre incluyen la remoción o el apoyo en las laderas inferiores, el aumento de la carga en las laderas superiores y la alteración de la superficie del

drenaje subterráneo.

Los deslizamientos de tierra se producen cuando el equilibrio entre la atracción de la gravedad sobre el material en una pendiente y las fuerzas (fricción y fuerza del material) que actúan para mantenerlo en su lugar se altera por algún cambio. Estos cambios, o desencadenantes, son comúnmente un aumento del contenido de agua o un reordenamiento de la carga en la pendiente. Los terremotos pueden ser un desencadenante de deslizamientos en muchas zonas del mundo. (Delano, and Wilshusen,1979).

Figura 9: Algunos Factores que afectan la Inestabilidad de las laderas o Colinas

Figura con alguno de los factores que afectan la inestabilidad de las laderas o colinas.



Nota. Factores que afectan la inestabilidad de las laderas modificado de: T. Jennigs (Landslides and avalanches,1999)

2.7.2 Componentes Principales de un deslizamiento.

Según (Guzzetti, et al, 2021) Como factor relacionado directamente con el mecanismo de una actividad de deslizamiento, el conjunto de un terreno que provoca movimientos de deslizamiento se denomina cuerpo de deslizamiento. la superficie de deslizamiento es una superficie límite entre el cuerpo de deslizamiento y el entorno estable. El cuerpo de deslizamiento en la parte superior de la superficie de deslizamiento se mueve, se diferencia, fluye, se extiende y se detiene.

A continuación, se describe los componentes principales de un deslizamiento, Figura 10

Cabeza. Parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima. El punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona. El material que se encuentra en el sitio, (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal. Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

Escarpe secundario. Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

Superficie de falla. Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

Pie de la superficie de falla. La línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

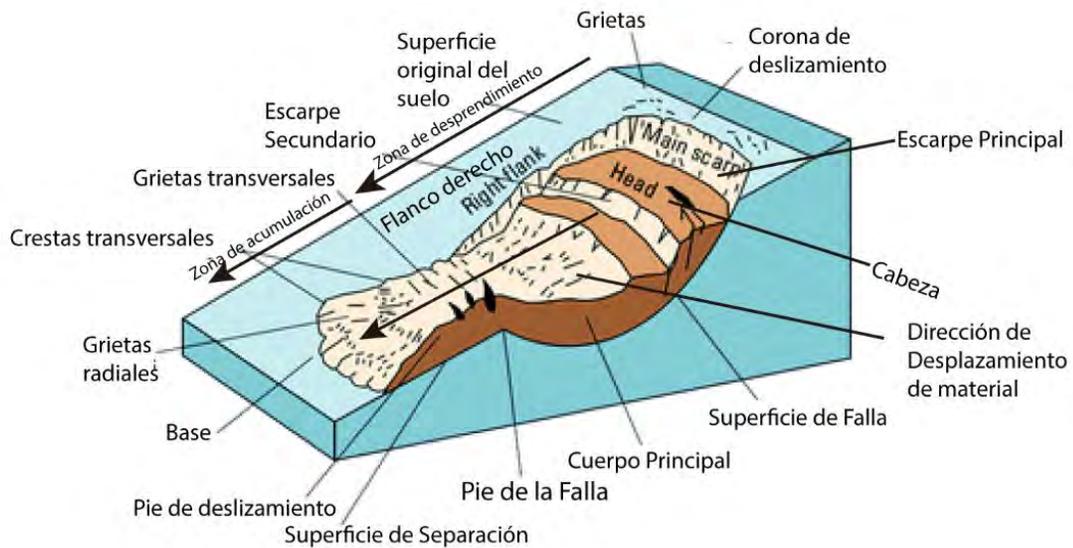
Base. El área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Cuerpo principal del deslizamiento. El material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno. La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco. Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

Figura 10: Estilo y la forma y estructura (partes de un deslizamiento)



Nota. En la figura se observa la dirección el desprendimiento y desplome; indicando las diferentes partes de un deslizamiento (style: slump), (Varnes,1978)

2.7.3 Clasificación de los movimientos de ladera

Según y de acuerdo a autores como: JN Hutchinson (1968, 19869), AW, Skempton, 1977, y DJ Varnes of Imperial College, London. (1958,1978), "of the United States Geological Survey (USGS)" que han aportado un alto nivel de conocimientos y una amplia experiencia en la elaboración de sus clasificaciones de movimientos de ladera, existen los siguientes tipos de

movimientos de ladera **Tabla 05**. Y se debe de consultar su obra completa antes de hacer cualquier intento serio de clasificar los movimientos de ladera.

Tabla 5: Clasificación de los Movimientos de Ladera según Varnes (1978)

Abbreviated Classification of Slope Movements					
TYPE OF MOVEMENT			TYPE OF MATERIAL		
			ENGINEERING SOILS		
			BEDROCK	PREDOMINANTLY COARSE	PREDOMINANTLY FINE
FALLS			ROCK FALL	DEBRIS FALL	EARTH FALL
TOPPLES			ROCK TOPPLE	DEBRIS TOPPLE	EARTH TOPPLE
SLIDES	ROTATIONAL	FEW UNITS	ROCK SLUMP	DEBRIS SLUMP	EARTH SLUMP
	TRANSLATIONAL	MANY UNITS	ROCK BLOCK SLIDE/ROCK SLIDE	DEBRIS BLOCK SLIDE/DEBRIS SLIDE	EARTH BLOCK SLIDE/EARTH SLIDE
LATERAL SPREDS			ROCK SPREAD	DEBRIS SPREAD	EARTH SPREAD
FLOWS			ROCK FLOW (DEEP CREEP)	DEBRIS FLOW	EARTH FLOW (SOIL CREEP)
COMPLEX			COMBINATION OF TWO OR MORE PRINCIPAL TYPES OF MOVEMENTS		

Nota. La tabla muestra los diferentes tipos de movimiento de ladera, entre ellos caída de rocas, deslizamientos, volcamiento, desprendimientos laterales, flujos y movimientos compuestos.

De acuerdo con Varnes (1958 ,1978) clasifica a los deslizamientos basado en el tipo de movimiento y el material. Cualquier deslizamiento puede ser clasificado y descrito por dos sustantivos: el primero describe el material y el segundo el tipo de movimiento, como se muestra en la Tabla 5, (por ejemplo, desprendimiento de rocas, flujo de escombros). Los tipos de movimiento están separados en: Caídas (falls), Volcamiento (Topples), Deslizamientos (Slides), estos a su vez divididos en deslizamientos rotacionales y traslacionales; desprendimientos laterales (Lateral spreds), y Flujos (Flows). Por otra parte, otra categoría serían los movimientos compuestos (Complex Movements) se usa para describir una combinación de algún movimiento mencionado anteriormente. Figura 11.

Figura 11: Clasificación de los tipos de deslizamiento por: Varnes (1978)

TIPO DE MOVIMIENTO	VARIANTES	ROCAS	DERRUBIOS	SUELOS
Caídas	Desprendimientos			
	Vuelcos			
Deslizamientos	Rotacionales (slump)			
	Traslacionales			
Expansión lateral				
Flujos	Corriente de derrubios (debris flow)			
	Cola de fango (mudflow)			
	Reptación (creep)			
Complejos		Combinación de dos o más tipos de movimientos		

Nota. Modificado por Corominas y Yagüe (1997); Highland y Bobrowsky (2008)

2.8 Definiciones Importantes sobre peligros geológicos

Existen muchos autores y diferentes conceptos sobre lo que son los peligros geológicos, en este estudio se hace una descripción breve de los principales conceptos de Peligro, Susceptibilidad, riesgo vulnerabilidad, y exposición, según y de acuerdo las agencias o institutos geológicos europeos y latinoamericanos, como por ejm, el (Geological British Survey), y/o el Servicio Geológico mexicano. Cuyos conceptos no varían en ningún caso. A continuación, se dan las definiciones.

2.8.1 Peligro Natural

Un peligro natural es un acontecimiento físico y/o fenómeno, potencialmente perjudicial, que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o la degradación ambiental. Puede tener un origen geológico, hidrometeorológico o

biológico. Todo peligro natural se caracteriza por su localización o alcance, magnitud o intensidad y frecuencia o probabilidad.

2.8.2 Peligrosidad

Todo fenómeno natural, tiene intrínseca una peligrosidad, que definimos como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructivo en un periodo de tiempo específico y en un área del territorio determinada. La probabilidad de ocurrencia está relacionada con la "frecuencia" del fenómeno y el potencial destructivo con la "magnitud" del fenómeno.

2.8.3 Susceptibilidad

Entendemos por susceptibilidad la posibilidad que en un área geográfica se desencadene o se vea afectada por un fenómeno natural. Se consideran como áreas susceptibles tanto las zonas donde se ha generado el fenómeno (zona de salida) como las zonas que se pueden ver afectadas por su recorrido (zonas de trayecto y de llegada).

2.8.4 Riesgo

El riesgo es un concepto de orden social y económico que estima la probabilidad de pérdidas en vidas humanas o materiales debido a un fenómeno natural. Así, el riesgo se define como la combinación de la peligrosidad de un determinado fenómeno, de la vulnerabilidad de los elementos expuestos y de su exposición, y se expresa mediante la siguiente relación:

Convencionalmente el riesgo se expresa por:

$$\text{Riesgo} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición}$$

2.8.5 Vulnerabilidad

Se define como el grado de daño esperado en una estructura en el caso de ser sometida a la acción de un fenómeno. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Esto significa que una estructura puede ser vulnerable y no estar en riesgo porque está situada en una zona sin peligrosidad.

2.8.6 Exposición

Es el conjunto de personas, bienes, servicios y procesos expuestos.

Capítulo III. Geomorfología

3.1 Geomorfología Regional

Tomando como contexto regional, en los alrededores del área de estudio, según, Bellido (1979) hace mención que, en el cuadrángulo de Moquegua, se diferencian tres unidades geomorfológicas a las cuales se denominan: llanura Costanera, Flanco andino, y la Cadena de conos volcánicos. La zona de estudio, Torata, se sitúa en el Flanco Andino. ver **Figura 15**.

A continuación, se describen brevemente las unidades geomorfológicas del cuadrángulo de Moquegua.

3.1.1 Llanura costanera

Bellido, (1979), Describe la parte sur del cuadrángulo es un territorio árido, constituido por depósitos clásticos semi-consolidados, de la Formación Moquegua, que pertenecen al Terciario superior.

La Formación Moquegua, (oligoceno), **Foto 1**, que fundamentalmente la constituye la llanura costanera se infiere, sería el resultado del relleno de una cuenca longitudinal existente desde, la cadena de montañas de la costa y el pie de los Andes.

La Llanura Costanera se encuentra disectada por numerosas quebradas profundas y secas, verdaderos cañones que corren en dirección SO.

Foto 1: Formación Moquegua, Cerro Baúl, ubicado, en la vía - Moquegua – Torata.



Nota. Esta colina, en forma de mesa, denominada Cerro Baúl, es un remanente de la Formación Moquegua, compuestas por capas de estratos, muy erosionados.

3.1.2 Flanco Andino

Es un territorio formado de rocas volcánicas y macizos intrusivos. En conjunto muestra una topografía abrupta y bastante disectada y que se eleva rápidamente desde los 3100 a 3400 m.s.n.m.

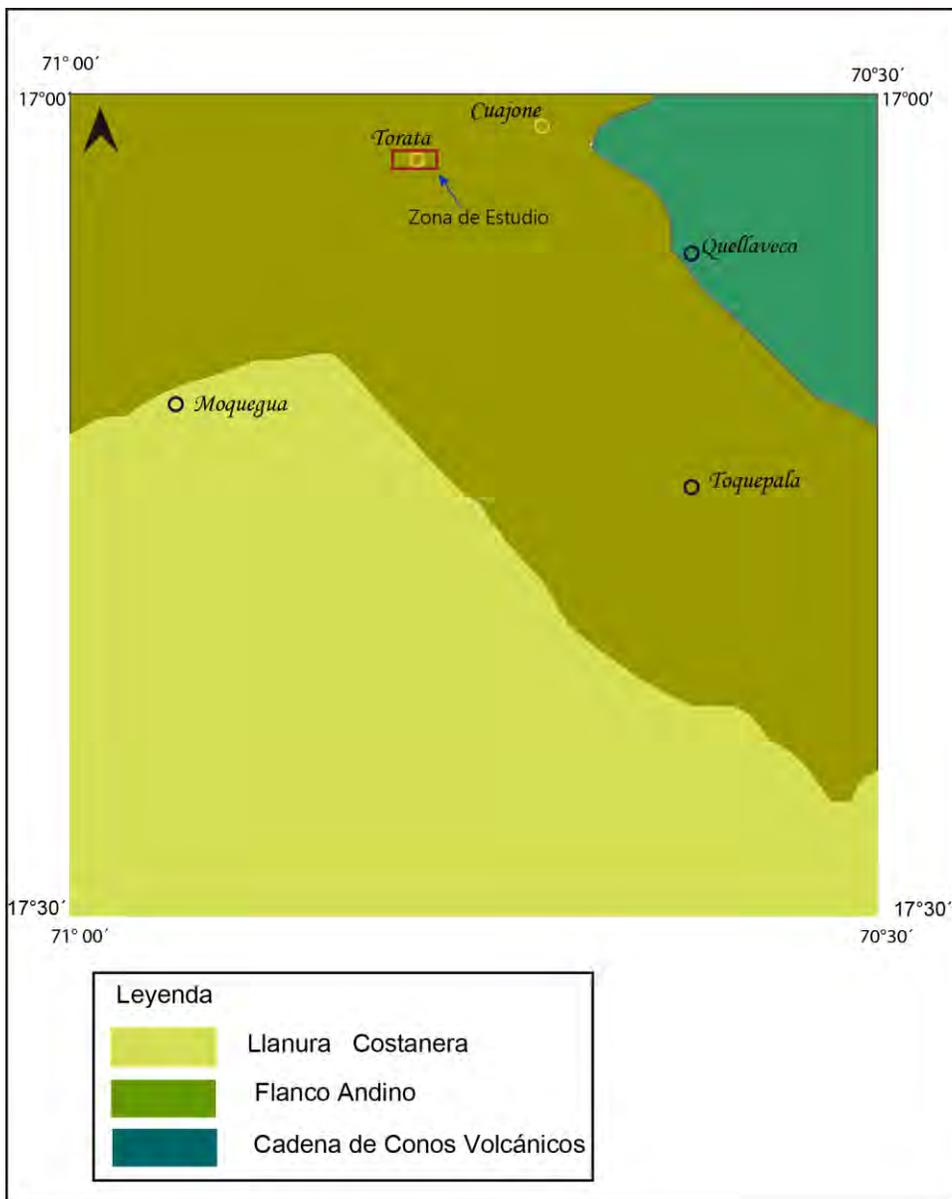
En el Flanco andino, se hace notoria, un cambio de pendiente del terreno a diferencia de las pendientes suaves de la costa.

Bellido (1979), describe al Flanco Andino, como, una superficie de erosión antigua labrada en las rocas volcánicas del grupo Toquepala.

3.1.3 Cadena de Conos Volcánicos

En esta unidad geomorfológica de carácter regional, se denomina, cadena de conos volcánicos, que se extiende en dirección, NO -SE, donde los estudios científicos, creen que se da por la existencia de una falla regional, la cual se daría producto a las intrusiones de magma y la creación de los volcanes, estos volcanes a su vez han sido afectados por las glaciaciones cuaternarias.

Figura 12: Unidades Geomorfológicas del Cuadrángulo de Moquegua



Nota. Elaboración – propia. Modificado de Bellido, (1979).

3.2. Geomorfología Local

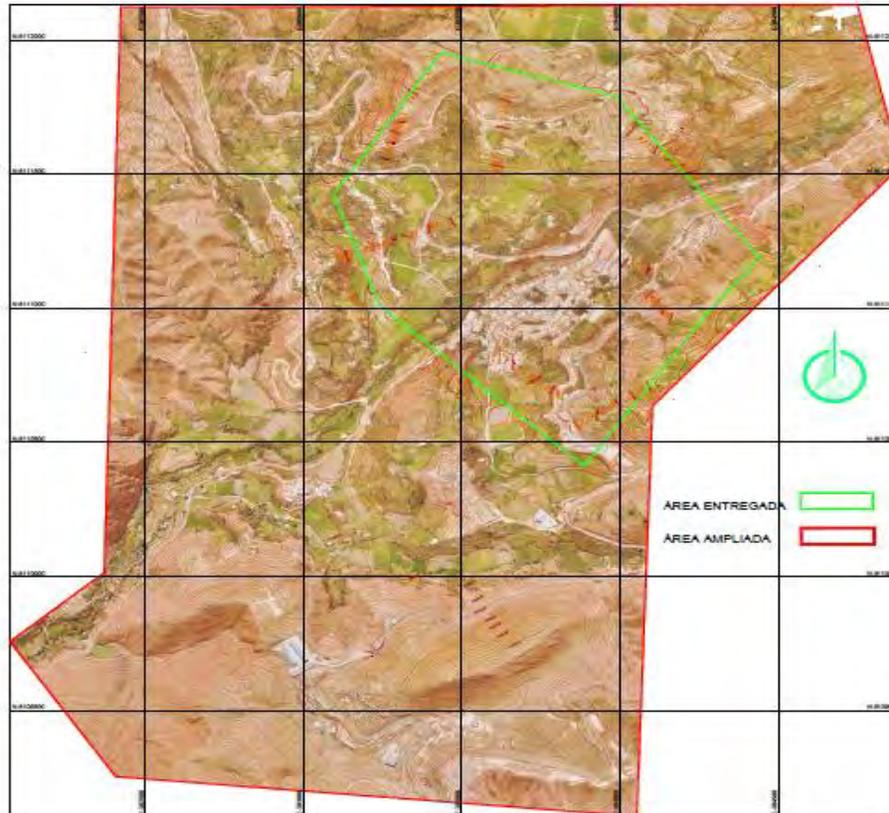
3.2.1 Base Topográfica

Se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Torata, que abarcó un área de 657 ha (sector urbano). Este trabajo se realizó con el propósito de obtener la representación digital del relieve que conforman las unidades tales como: terrazas, lomas, entre otros.

Para la ejecución de este trabajo, se utilizó un vehículo aéreo no tripulado (VANT), la metodología y los parámetros empleados para el levantamiento fotogramétrico se presentan en el anexo de topografía.

A partir, del levantamiento fotogramétrico, se obtuvo un plano topográfico a escala 1:6,500. Esta escala permite la toma de decisiones sobre prevención y manejo. Generalmente, la escala 1:5.500 es la mejor para establecer planes de manejo de los riesgos (Leroi, 1996) que contiene curvas de nivel (líneas que unen puntos con igual altitud) con resolución espacial de 5 m, **Figura 13, Plano topográfico de la localidad de Torata a escala 1:6500.**

Figura 13: Plano topográfico de la ciudad de Torata



Nota. En la figura se observa el área o polígono verde de la zona de estudio, en el cual se muestra la ortofoto y las curvas de nivel. Fuente, Instituto Geofísico del Perú (IGP) -PPR -2018.

3.2.2 Modelo Digital de Elevación (MDE)

Los MDE son representaciones gráficas de la superficie del terreno, conformados por un número de puntos con información altimétrica y planimétrica. Por su naturaleza digital, permiten ser utilizados para realizar mapas de pendientes, acumulación de horas de radiación, parámetros morfométricos, entre otros (Felicísimo, 1994). Para la elaboración del MDE de la ciudad de Torata, se tomó en cuenta el uso de herramientas SIG sobre las curvas de nivel obtenidas anteriormente, teniendo como resultado la representación digital de la superficie del terreno de la localidad, que cubre un área de 6.57 km² aproximadamente para un formato de impresión tamaño A3, **Mapa -02. - Modelo Digital de Elevaciones**

302900

303600

304300

305000

8112500

8111600

8110700

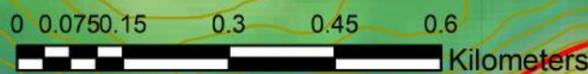
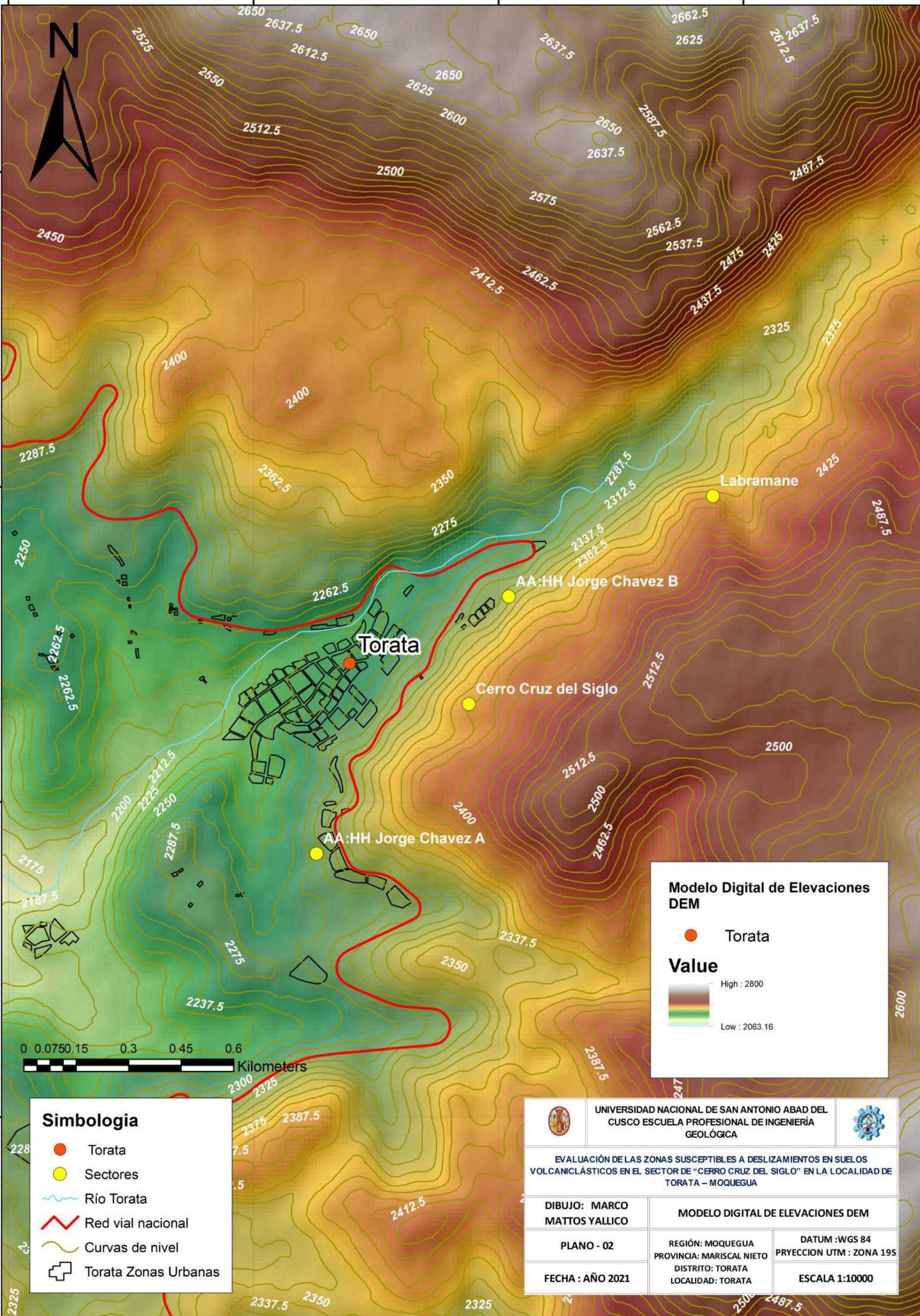
8109800

8112500

8111600

8110700

8109800



Simbología

- Torata
- Sectores
- ~ Río Torata
- Red vial nacional
- Curvas de nivel
- Torata Zonas Urbanas

Modelo Digital de Elevaciones DEM

● Torata

Value

High : 2800

Low : 2063.16

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCO MATTOS YALLICO		MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES DEM
PLANO - 02	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM :WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2021	ESCALA 1:10000	

302900

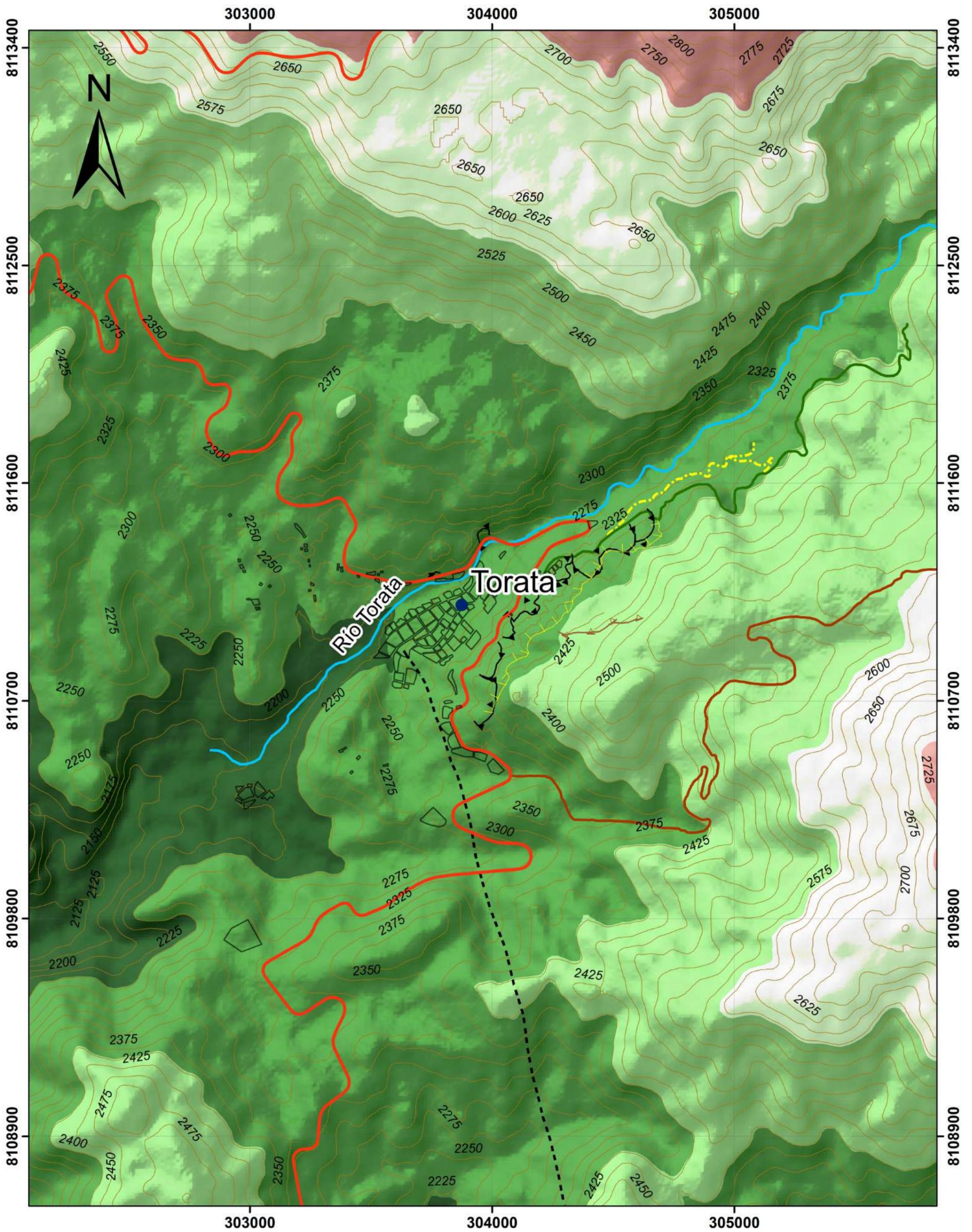
303600

304300

305000

En base al MDE elaborado de la ciudad de Torata se evidencia que el (70%) aproximadamente del área urbana se asienta sobre una terraza fluvio-aluvial que presentan elevaciones entre los 2190-2250 m.s.n.m y el otro 30% se asienta dispersas en las montañas que rodean Torata y presentan elevaciones entre los 2,250 y 2350 m.s.n.m.

En la localidad de Torata las mayores elevaciones se encuentran en las montañas ubicadas al nor-este, encontrándose estas entre los 2567 y 3421 m.s.n.m, cabe señalar que las montañas de Torata conforman y son parte del flanco andino del sur del Perú. **Mapa 03 - Mapa de Elevaciones de la Ciudad de Torata**



Simbología	
● Torata	Escarpas de deslizamiento
● Villa Cuajone	Escarpa de Deslizamiento Antiguo
Torata zonas urbanas	Río Torata
Red Vial Nacional	Carretera Labramane
Falla Torata Inferida	Carretera a Cuajone
Zonas susceptibles a Deslizamientos	Trocha

ELEVACIONES (m.s.n.m)
1,989 - 2,223
2,223 - 2,398
2,398 - 2,567
2,567 - 2,736
2,736 - 2,922
2,922 - 3,151
3,151 - 3,421

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANCLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCO MATTOS YALLICO	MAPA DE ELEVACIONES	
PLANO - 03	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM :WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2021	ESCALA 1:15000	

3.2.3 Pendientes

Es el ángulo que se expresa en grados o porcentajes. Este parámetro influye en la formación de los suelos y condiciona el proceso erosivo, puesto que, mientras más pronunciada sea la pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo (Belaústegui, 1999).

El diseño del mapa de pendientes de la ciudad de Torata, fue desarrollado a partir del DEM, AP_27030_FBS_F6840_RT1.dem.tif. Extraído de las imágenes satelitales ALOSPARSAL, FBS; obtenidas de la (NASA) con resolución de 12.5 m, descargado de la web, <https://search.asf.alaska.edu>. (EarthData, ASF, data search Vertex) y con el uso del programa de SIG, y Software, ARGIS, y la Plataforma ArcMap, se obtuvo el mapa de pendientes, para nuestra zona de estudio, representadas a una escala de 1:5500.

3.2.3.1 Clasificación del grado de pendientes

Para la clasificación de los rangos de pendientes se usó como base el informe: “Estudio de riesgos geológicos del Perú – (Fidel, 2006), **Tabla 03**.

Tabla 6: Rangos de Pendientes del Terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
May-20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

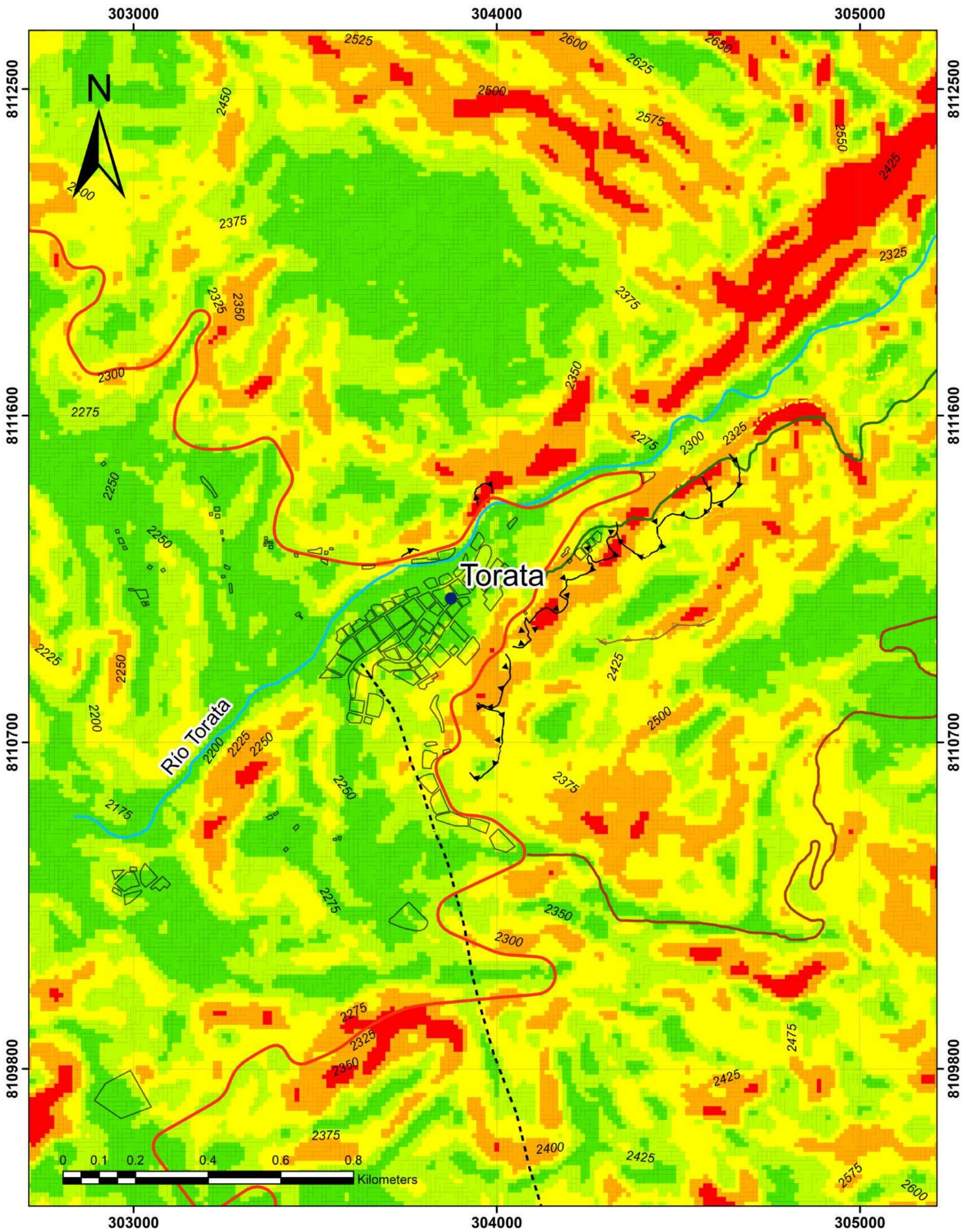
Nota. Fuente: Fidel et al., (2006).

Las pendientes en las zonas urbanas en la localidad de Torata, están entre los 0° y 15° esto incluye las zonas ubicadas en las terrazas fluvio - aluviales, y todas las viviendas ubicadas en la margen izquierda y derecha del río Torata, mientras que las viviendas ubicadas por debajo

del nivel del ,Cristo Blanco de Torata, se encuentran con pendientes entre los 15° y 45°, en tanto ,las zonas ubicadas por encima de la Red vial nacional, donde se ubican las zonas susceptibles a deslizamientos se encuentran con pendientes pronunciadas de hasta 45°. De acuerdo al grado de pendientes de la tabla 1, se consideran como pendientes fuertes.

Siendo estas zonas susceptibles a movimientos en masa como caída de rocas, flujo de detritos y deslizamientos.

Mapa - 04. *Mapa de Pendientes*



Simbología	
	Torata
	Villa Cuajone
	Torata zonas urbanas
	Red Vial Nacional
	Falla Torata Inferida
	Zonas susceptibles a Deslizamientos
	Escarpas de deslizamiento
	Escarpa de Deslizamiento Antiguo
	Rio Torata
	Carretera Labramane
	Carretera a Cuajone
	Trocha

Leyenda	
PENDIENTES (Grados°)	
	0- 5
	5 - 20
	20 - 35
	35 - 50
	> 50

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANCLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCO MATTOS YALLICO	MAPA DE PENDIENTES	
PLANO - 04	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM : WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2021	ESCALA 1:10000	

3.3 Unidades geomorfológicas

La geomorfología es la ciencia de los paisajes. Como ciencia incluye tanto la descripción del paisaje como el análisis de los procesos que lo crean.

El paisaje de la superficie de la tierra, es en gran medida la creación de dos conjuntos de fuerzas naturales, (Fuerzas endógenas, y fuerzas exógenas), que actúan constantemente una contra la otra. Por un lado, la aparentemente sólida superficie de la tierra, es poco más que una corteza pequeña, que cubre un interior de roca fundida. Los movimientos dentro de ese interior pueden causar la inyección de material fundido en la corteza exterior sólida, donde se forma una nueva roca. o el derrame de material fundido sobre la superficie para crear volcanes y flujos de lava. esta actividad volcánica se complementa con los movimientos de la tierra, que son el levantamiento, descenso y plegamiento a gran escala de la corteza sólida por las fuerzas interiores de la tierra.

Los movimientos de tierra son capaces de formar nuevas rocas (por ejemplo, a partir de sedimentos marinos levantados) y de crear nuevas formas de terreno a partir de las rocas existentes.

Por otra parte, en contra de estas fuerzas internas de creación de rocas y formas terrestres se encuentran las fuerzas externas (fuerzas exógenas), el clima, el agua, el hielo y el mar, que modifican y destruyen esas rocas y formas terrestres.

La mayoría de los paisajes de la tierra son de origen de denudacional, la denudación en realidad consiste en un número de operaciones separadas como lo son: la meteorización, el transporte, la erosión, y la deposición.

La denudación en su conjunto forma parte de lo que se conoce como el ciclo geológico. Weyman,D.R (1977).

En base a las características físicas de las geoformas y su origen, en la ciudad de Torata, se cartografiaron siete unidades geomorfológicas: Lecho fluvial, Llanura de inundación, Terraza fluvio-aluvial, Abanico aluvial, Loma, y Montaña.

Tabla 07, Mapa-05 – Mapa Geomorfológico.

Tabla 7: Geoformas en la ciudad de Torata en base a las características físicas y su origen.

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS IDENTIFICADAS EN LA CIUDAD DE TORATA						
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		ORIGEN	PROCESO	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	ÁREA EN (HAS)	SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA
Pendiente	< 5°	Denudacional	Erosión	Lecho Fluvial	4	Ninguna
Altura	0 -100					
Geometría	Alargada					
Drenaje	dentritico					
Pendiente	< 5°	Denudacional	Deposicional	Llanura de Inundación	6	Ninguna
Altura	0 - 50					
Geometría	Irregular					
Drenaje	Irregular	Denudacional	Deposicional	Terraza Fluvio - aluvial	164	Ninguna
Pendiente	5° - 20°					
Altura	< 100					
Geometría	Irregular					
Drenaje	Irregular	Denudacional	Deposicional	Abanico aluvial	8	Flujo de detritos y Lodos
Pendiente	20° - 35°					
Altura	< 100					
Geometría	cono/abanico					
Drenaje	Radial	Denudacional	Denudacional	Loma	16	Deslizamientos , Caída de rocas
Pendiente	< 35°					
Altura	< 300 m					
Geometría	Alargado					
Drenaje	Dentritica	Téctonico	Deformación Orógenica	Montaña	246	Deslizamientos, caída de rocas , flujo de detritos
Pendiente	20° - 45°					
Altura	> 600					
Geometría	Irregular					
Drenaje	Radial					

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se describen dichas Unidades Geomorfológica

3.3.1 Tectónico, por deformación orogénica.

Los movimientos tectónicos que forman montañas y en general los relieves de la corteza. Se originan en varios estadios y se acompañan de ciclos magmáticos. En la actualidad el mecanismo orogénico casi únicamente aceptado es el de la tectónica global o tectónica de placas.

La unidad geomorfológica considerada en este ítem se describe a continuación:

3.3.1.1 Montaña

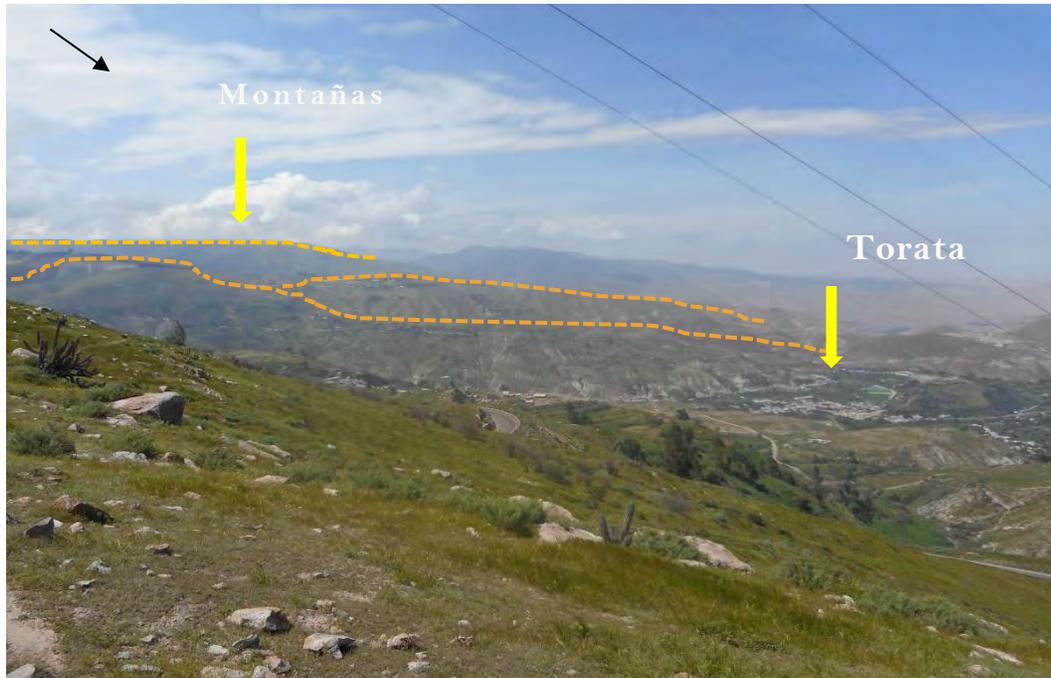
Montaña es la elevación o grupo de elevaciones originadas por fuerzas endógenas (orogénesis) y modeladas y divididas por fuerzas exógenas.

Las montañas que rodean la localidad de Torata, geomorfológicamente se encuentran

en el Flanco-Andino, presentan pendientes $> 30^\circ$, y de una altura > 700 m, respecto a su base y una geometría irregular y drenaje dendrítico.

Se hace mención que, esta unidad abarca aproximadamente el 55 % del área de estudio. **Foto 2.**

Foto 2: Montañas que rodean la ciudad de Torata, vista panorámica



Nota. La flecha negra indica la dirección norte.

3.3.2 Origen denudacional

Los procesos de erosión implican movimiento y transporte de los materiales, modifican el relieve, interviniendo en este proceso agentes como el agua y el viento.

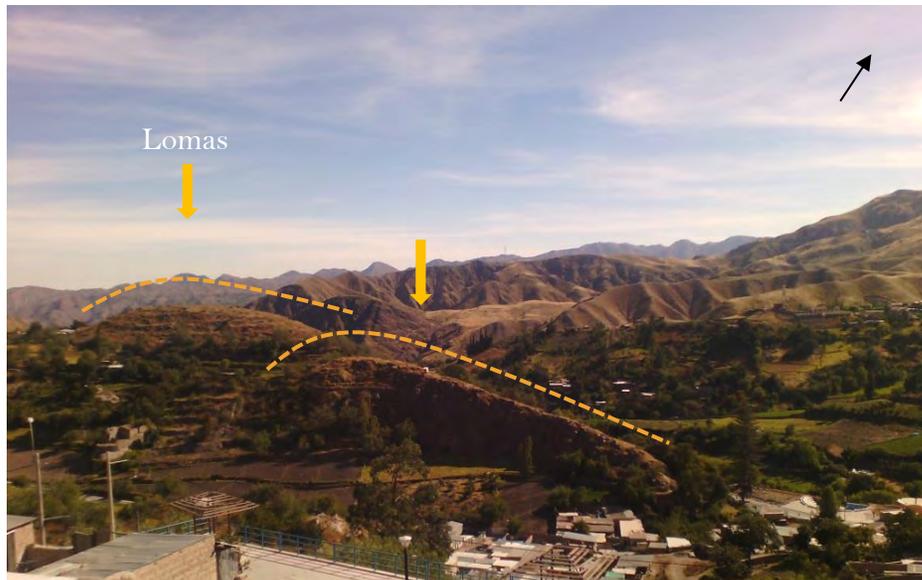
La unidad geomorfológica considerada en este ítem se describe a continuación:

3.3.2.1 Loma

Esta geoforma presenta una pendiente $< 35^\circ$, altura < 300 m, geometría alargada, drenaje dendrítico y origen denudacional.

Se hace mención que, esta unidad abarca el 3.6 % del área de estudio. El trabajo de campo ha permitido identificar tres lomas en el flanco sur-oeste y se encuentran ubicadas a unos 400 metros aproximadamente de la plaza principal de Torata. **Foto 3.**

Foto 3: Vista Panorámica, de las Lomas (Forma Alargada) en Torata



Nota. Lomas (líneas anaranjadas) ubicadas a 400 metros al sur-oeste de la plaza de Torata

3.3.3 Origen depositacional

Comprende geoformas resultantes por la depositación de fragmentos o sedimentos originados durante los procesos de erosión de rocas preexistentes en áreas geográficas generalmente de baja pendiente.

Entre las unidades geomorfológicas que se clasifican en este ítem se tienen aquellas que se encuentran relacionadas a la dinámica aluvial como: terrazas y abanicos aluviales.

3.3.3.1 Abanico aluvial

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $< 35^\circ$, así como una geometría en forma de abanico y drenaje radial.

Los abanicos se originan siempre al final de una pendiente montañosa. Se hace mención que, esta unidad abarca el 1.8 % del área de estudio. **Foto 4.**

Foto 4: Abanico aluvial



Nota. Abanico aluvial ubicado en la margen derecha del río Torata, (línea punteada de color verde), la flecha negra indica el norte.

3.3.3.2 Terraza fluvio-aluvial

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional en la ciudad de Torata comprende el 36 % del área de estudio.

Se hace mención que, en las inmediaciones de Torata se ha distinguido una terraza fluvio-aluvial la misma que se han reconocido en base a la pendiente y desnivel que presenta. A continuación, se detalla la misma.

Constituye la terraza más reciente, posee pendiente menor a 10° , así como una geometría y drenaje irregular. **Foto 5.** Actualmente, sobre esta unidad geomorfológica se asienta el área urbana de Torata y en la parte sur-oeste de la ciudad se establecen zonas agrícolas.

Foto 5: Terraza Aluvial



Nota. Terraza aluvial (línea-celeste) donde se asienta la población de Torata.

3.3.3.3 Llanura de inundación

Esta unidad geomorfológica de origen depositacional presenta una pendiente $< 5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Se hace mención que, esta unidad abarca el 2.6 % del área de estudio y se encuentra ubicada adyacente al río Torata, cabe señalar que las inundaciones en esta localidad no son recurrentes. **Foto 6.**

Foto 6: Llanura de Inundación

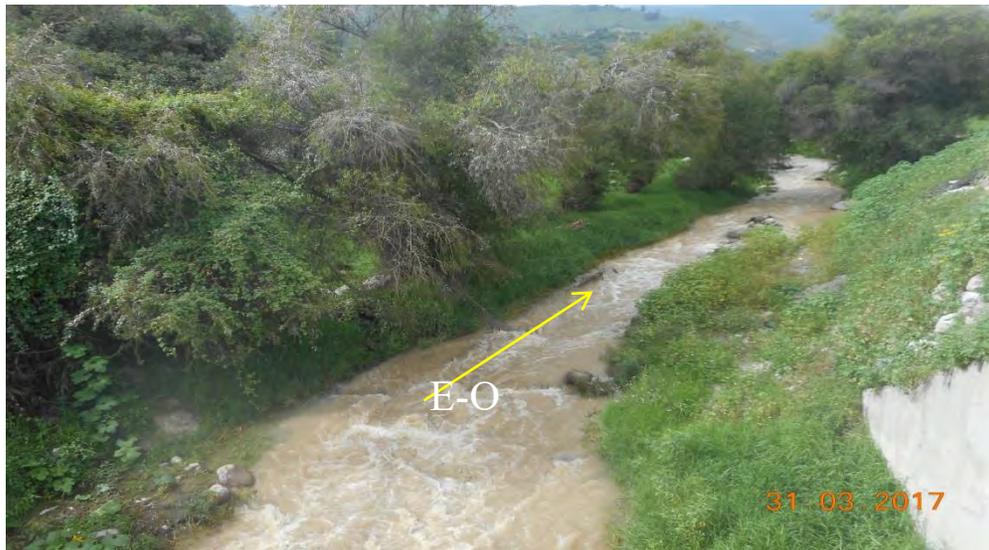


Nota. *La llanura de inundación a ambos márgenes del río Torata (línea azul)*

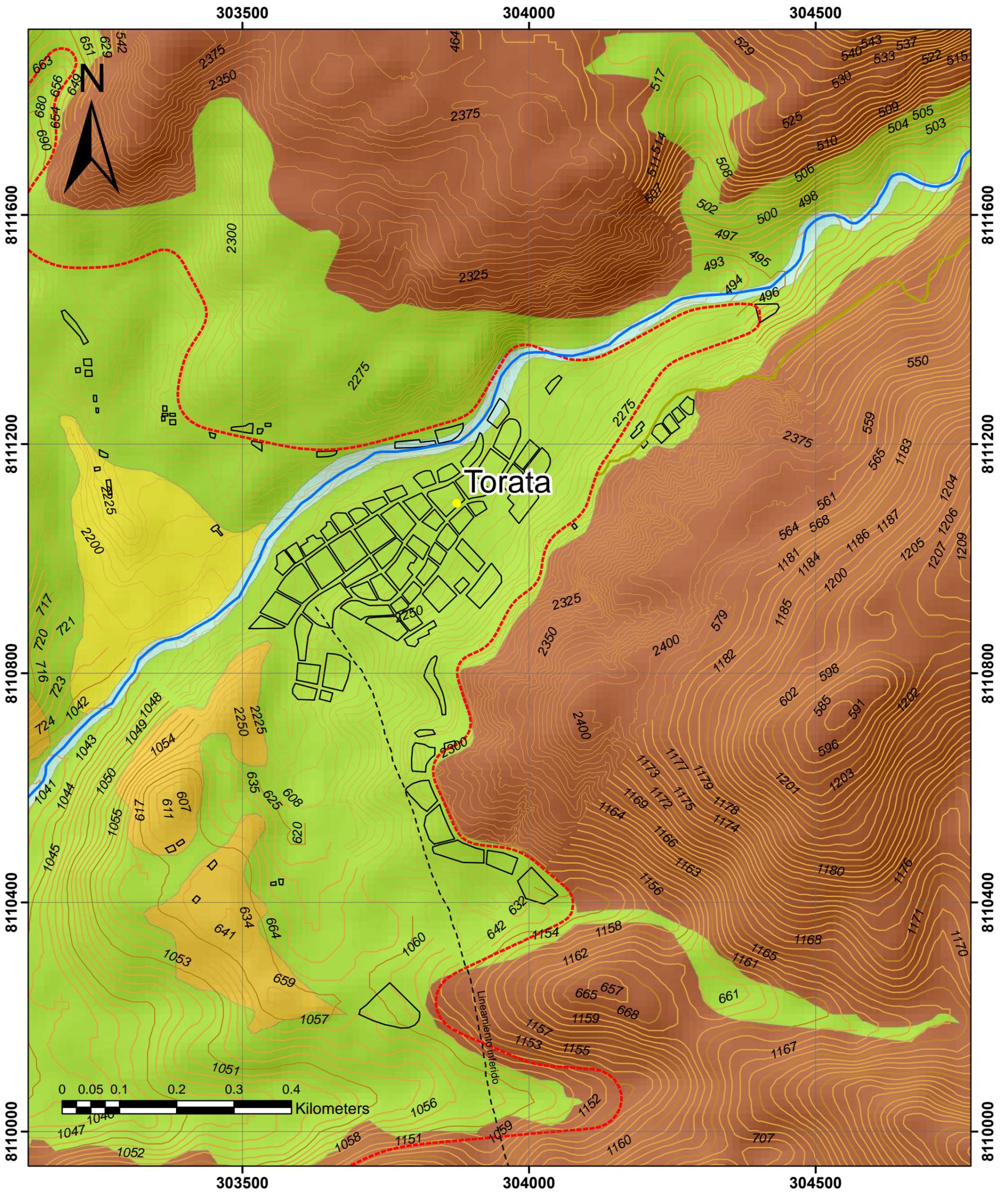
3.3.3.4 Lecho fluvial o Cauce fluvial

Esta unidad geomorfológica, originada por procesos de erosión, deposición y transporte de sedimentos, presenta una pendiente $< 5^\circ$, así como una geometría y drenaje irregular. Se hace mención que, esta unidad abarca el 1. % del área de estudio y se encuentra ubicada a lo largo del cauce del río Torata, cuyas aguas discurren a través de la ciudad y se movilizan con dirección este-oeste, **Foto 7**.

Foto 7: Lecho Fluvial del río Torata



Nota. El río avanza con dirección E-O. el lecho fluvial mide 6 metros de longitud



SIMBOLOGÍA	
	Torata
	Río Torata
	falla Inferida
	Red vial nacional
	Carretera Labramane
	Torata zonas urbanas
	Curvas de nivel maestra
	Curvas de nivel intermedia
	Curvas_de_nivel_indice1
	Curvas_de_nivel_intermedia1

LEYENDA	
Unidades Geomorfológicas	
	Lecho fluvial
	Llanura de inundación
	Terraza fluvio - aluvial
	Abanico aluvial
	Loma
	Montaña

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA			
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA			
DIBUJO: MARCOS MATTOS YALLICO		MAPA DE GEOMORFOLOGÍA	
MAPA - 05		REGIÓN: MOQUEGUA	DATUM :WGS 84
FECHA : AÑO 2023		PROVINCIA: MARISCAL NIETO	PRYECCION UTM : ZONA 19S
		DISTRITO: TORATA	ESCALA 1:6500
		LOCALIDAD: TORATA	

Capítulo IV: Geología

La geología es la ciencia que estudia la Tierra, los materiales que la componen, las estructuras y los procesos que actúan sobre y debajo de la superficie a lo largo de millones de años desde su origen hasta la actualidad. La litología como parte de la geología, estudia las características físicas de las rocas y depósitos que constituyen una formación geológica, es decir una unidad litoestratigráfica. Los tipos de rocas han sido originados por procesos internos (tectónica de placas, ascenso de magma, etc.) como también por la erosión, transporte y depositación de rocas preexistentes (procesos de meteorización).

Para entender el comportamiento del terreno, es necesario conocer los procesos geológicos externos (meteorización, erosión, transporte y sedimentación). Se estudian las rocas y los suelos que provienen de las mismas, analizando las propiedades asociadas al comportamiento mecánico.

La geología comprende varias disciplinas tales como la geología regional, histórica y estructural que permiten explicar el cómo, cuándo y que procesos actuaron en el emplazamiento de las rocas y materiales que constituyen los suelos sobre los que asienta la zona estudiada.

Durante el terciario superior y el cuaternario, en el área de Moquegua al igual que en el resto del bloque andino, se levantó epirogenéticamente, hasta alcanzar sus altitudes actuales.

Como consecuencia del levantamiento andino, los ríos abandonaron fuertemente a sus cauces formando valles profundos y encañonados, el tectonismo actual se manifiesta en forma de movimientos sísmicos y ocurren con mucha frecuencia a lo largo de los andes.

4.1 Geología regional

El marco geológico regional de una ciudad es importante para comprender los procesos y eventos geológicos que ocurrieron a gran escala.

En base a la información geológica regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) A escala 1:50,000 por los autores, William Martínez, y Andrés Zuloaga, que describe las siguientes unidades litológicas aflorantes en el área de estudio, cuyas edades varían desde el Cretácico hasta el cuaternario reciente.

La geología regional que rodea el área de estudio está conformada por rocas del Grupo Toquepala, conformada por rocas volcánicas con algunas intercalaciones de sedimentos clásticos que afloran a lo largo del Flanco Andino y de las cuales se tiene como sustrato rocoso, rocas volcánicas de la Formación Paralaque, compuesta mayormente por dacita, riolita y andesitas de color marrón y rosado claro, con intercalaciones de piroclásticos y lentes de conglomerados, los derrames piroclásticos se presentan estratificados en bancos de hasta 10 metros de espesor.

El volcánico Paralaque sobreyace con discordancia a los conglomerados y areniscas de la Formación Inogoya e infrayace con igual relación al Volcánico Quellaveco, Se ubican extensamente a 5 km al nor-oeste de Torata. Y también al sur-este de la ciudad de Torata.

Rocas de la Formación Inogoya, que afloran a unos 6 km al oeste de Torata conformada por una secuencia de conglomerados y areniscas gruesas de color gris verdoso a pardo claro, la secuencia sobreyace con discordancia a la Formación Huaracane, nombrada anteriormente como (Formación Toquepala) e infrayace con igual relación a la Formación Paralaque, Huaracane, La parte inferior se compone de derrames y brechas de flujo piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica de colores grises, pardos y violetas. La parte media incluye lentes de conglomerados y areniscas de coloración verdosa. La parte superior derrames y brechas de flujos riolíticos de colores pardos y aglomerados de colores blanquecinos. Esta secuencia tiene un espesor de 650 a 700 m. Conocida anteriormente como, Formación

Toquepala aflora a unos 2 km al sur-oeste en el curso del río Torata.

4.2 Geología Histórica

La Región Moquegua, durante el Paleozoico fue escenario de transgresiones y regresiones marinas, y también de movimientos orogénicos.

En la región no se han reconocido depósitos de triásico inferior y medio, no se han encontrado rocas de dicha edad, por lo que todo indicaría que fue una época de emersión general. Existen afloramientos del Triásico superior y el Jurásico inferior, y están representados por formaciones continentales volcánicas, y semicontinentales, Durante los inicios del Jurásico superior se produce en el sur del Perú una transgresión marina, procedente del Pacífico, que abarca grandes extensiones de la región.

Al finalizar el terciario inferior o comienzos del superior se produjo el sistema de fallas de Incapuquio, y la gran depresión longitudinal, las fallas de Incapuquio crearon en algunos lugares zonas de debilidad que hicieron posible el emplazamiento de los stocks de pórfido monzonítico y dacítico, y las formaciones de las chimeneas de brecha y éstas en relacionadas a la génesis de los depósitos de cobre diseminados en Toquepala, Cuajone y Quellaveco.

Después de depositarse la formación Moquegua, siguió un episodio volcánico muy intenso de carácter explosivo y de posiblemente de origen fisural, cuyos depósitos (volcánico huaylillas) cubrieron ampliamente el flanco andino, Después continuo un ciclo volcánico de carácter efusivo explosivo que tuvo lugar en el término del Terciario, debido a esto se tiene la faja montañosa de conos volcánicos de rumbo NO-SE y se localizan en la parte alta de los departamentos de Tacna, Moquegua, Arequipa.

Durante el Terciario Superior y el Cuaternario, en el área de Moquegua al igual que en el resto del bloque andino, se produjo un proceso de orogénesis hasta alcanzar sus altitudes actuales. Como consecuencia del levantamiento andino, los ríos abandonaron fuertemente a sus cauces formando valles profundos y encañonados, el tectonismo actual se manifiesta en forma de movimientos sísmicos y ocurren con mucha frecuencia a lo largo de los andes.

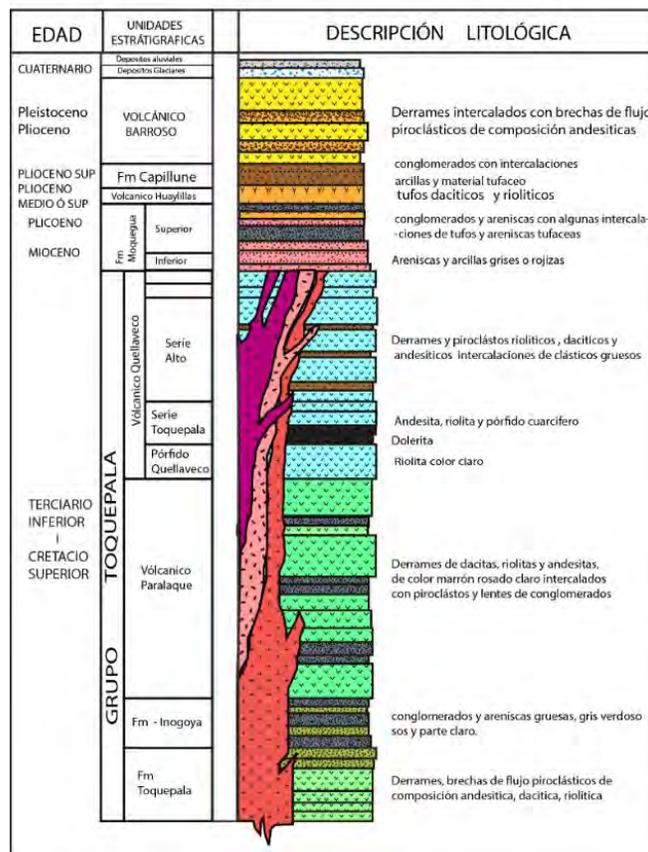
4.3 Estratigrafía Regional

Según Bellido y Guevara (1963), describen a un conjunto de rocas volcánicas, con algunas intercalaciones de clásticos gruesos, que afloran a lo largo del Flanco Andino, denominadas Grupo Toquepala.

En el cuadrángulo de Moquegua el grupo Toquepala se ha dividido, en las siguientes formaciones: Volcánico Quellaveco Volcánico Paralaque Formación Inogoya Formación Toquepala. **Figura 15.**

Figura 15:Columna Estratigráfica Compuesta del Cuadrángulo de Moquegua – Boletín 15, hoja 35 -u.

Columna Estratigráfica compuesta del cuadrangulo de Moquegua

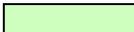
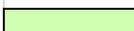
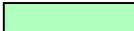


Nota. Modificado de: E. Bellido 1972. Fuente, elaboración propia.

4. 4 Geología local

En la zona de estudio se hizo el reconocimiento y cartografiado de las unidades litológicas aflorantes en la ciudad de Torata y alrededores a escala 1:6,500, que abarcó un área de 325 hectáreas aproximadamente. La geología local que rodea el área de Torata está conformada por rocas volcanoclasticas, del Grupo Toquepala, y también por depósitos Cuaternarios fluvio-aluviales. **Mapa - 06 -de Geología. Tabla 08.**

Tabla 8: Columna Crono Litoestratigráfica de las Unidades Aflorantes en la Localidad de Torata.

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	TIPO DE DEPOSITOS-LITOFACIES
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósitos Aluviales 	Qh-al Gravas , arenas , limos , arcillas
		PLEISTOCENO	Depósitos Fluvio -Aluviales 	Qh - fl - al Gravas , arenas , limos , arcillas
		PLIOCENO		
	NEÓGENO	MIOCENO		
		PALEÓGENO	EOCENO-OLIGOCENO	
MESOZOICA	CRETÁCIO		FORMACIÓN PARALAUQUE 	Ks -pa/tbl+ht TOBAS SOLDADAS LITICAS PORFIRITICAS GRIS ROJIZA, LITICAS
			FORMACIÓN INOGOYA 	Ks -in ARENISCAS Y CONGLOMERADOS VOLCANOCLASTICOS POLIMICTICOS, SE INTERCALAN FLUJOS PIROCLASTICOS TIPO TOBALPILLI
		SUPERIOR	Formación Huaracane miembro 4 	Ks-hu/cz+fk LAVAS PIROCLÁSTICAS SOLDADAS DE CUARZO-FELDESPATO, MACIZOS PORFIRITICOS, GRIS ROJIZO, COMPOSICIÓN RIOLITAS
	JURÁSICO	SUPERIOR		

Nota. Unidades Litoestratigráficas identificadas en la ciudad de Torata, modificada de (INGEMMET), cuadrángulo 35u-4. Fuente, elaboración propia.

A continuación, se describen estas unidades.

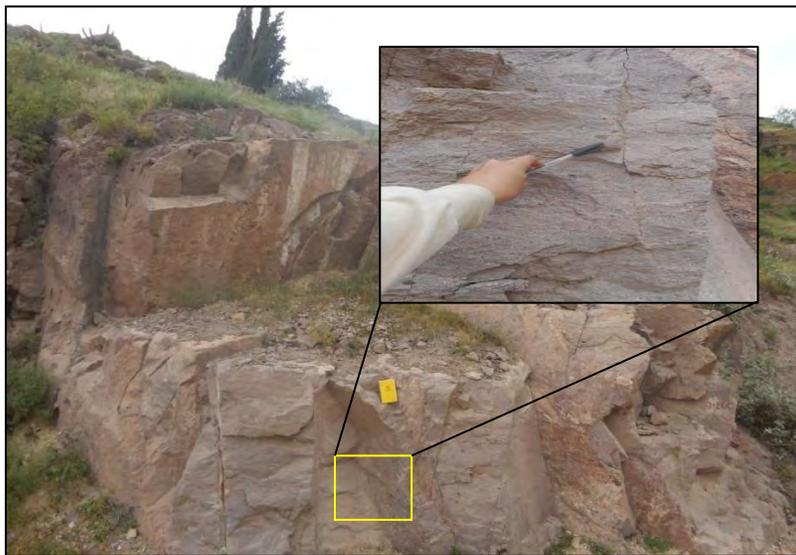
4.4.1. Rocas del Cretácico-Paleógeno

Grupo Toquepala (KsP-to). - Este grupo está representado por cuatro Formaciones, conformadas por rocas volcánicas con intercalaciones de sedimentos clásticos y se describen a continuación:

Formación Huaracane (Ks-hu). -Dividida en 7 unidades Volcanoclasticas y reconocida anteriormente como Formación Toquepala (Bellido y Landa 1965).

En los límites del área de estudio aflora ampliamente rocas del Miembro 04 - 250 m. (Ks-hu/cz+fk), conformada por Lavas piroclasticas soldadas de cuarzo-feldespatos, macizos porfiriticos, gris rojizo, composición riolitas. Conforman estructuras macizas y farallones prominentes. **Foto 8.**

Foto 8: Rocas de la Formación Huaracane



Nota. Se puede observar una roca volcánoclastica, fracturada con presencia de xenolitos de 2" de diámetro aproximadamente de color oscuro y también presenta cristales de vidrio volcánico (obsidiana). Se ubica a 765 m, al sur-oeste de la plaza principal de Torata.

Formación Inogoya (Ks-in). - Afloran a unos 776 metros al nor-este de la plaza principal de Torata, al pie de la carretera Binacional. Conformada por una secuencia de conglomerados y areniscas gruesas de color gris verdoso a pardo claro, la secuencia sobryace con discordancia a la Formación Huaracane e infrayace con igual relación a la Formación Paralaque.

Foto 9: Rocas de la Formación Inogoya



Nota. Areniscas y conglomerados con gravas angulosas meteorizadas, en una matriz arenosa limosa, de la formación Inogoya.

Formación Paralaque (Ks-pa/lo+ar+li - Ks-pa/tb+li). -Conformada por Tobas, altamente soldadas porfiríticas, de textura eutaxítica. Con minerales esenciales plagioclasas y cuarzo, como accesorios, biotita, fragmentos líticos vidrio y opacos, color gris rojizo, **foto 10.** y **foto 11.**

Foto 10: Rocas de la Fm, Paralaque



Nota. Afloramientos de Tobas grises y lavas piroclásticas soldadas, de colores grises con presencia de cuarzo y feldespato, (líneas amarillas) que afloran a 275 metros al sur-este de la Plaza principal de Torata, en el sector denominado (Cerro Cruz del Siglo).

Foto 11: Rocas de Fm, Paralaque



Nota. Tobas soldadas líticas porfíricas de color gris, rojiza, líticas, ubicadas, a pocos metros del Cristo Blanco de Torata, en el sector del Mirador, se observa la diferencia de colores (líneas amarillas) en el corte de la carretera Binacional.

4.4.2 Rocas del Neógeno-Cuaternario

4.4.2.1 Depósitos Cuaternarios fluvio-Aluviales (Qh-fl-al)

En la zona de estudio se evidencio en campo depósitos Cuaternarios conformados por: gravas, arenas y limos, cantos rodados, bloques angulosos, subangulosos, también se pudo reconocer en campo material arcilloso de color rojizo.

Foto 12.

Foto 12: Depósitos fluviales



Nota. Material arcilloso, de plasticidad media, de compactación baja, presenta clastos angulosos y subredondeados, de 1” de diámetro y humedad media. Ubicados en el sector Centro turístico recreacional de Torata.

4.4.2.2 Depósitos Cuaternarios Aluviales (Qh - al)

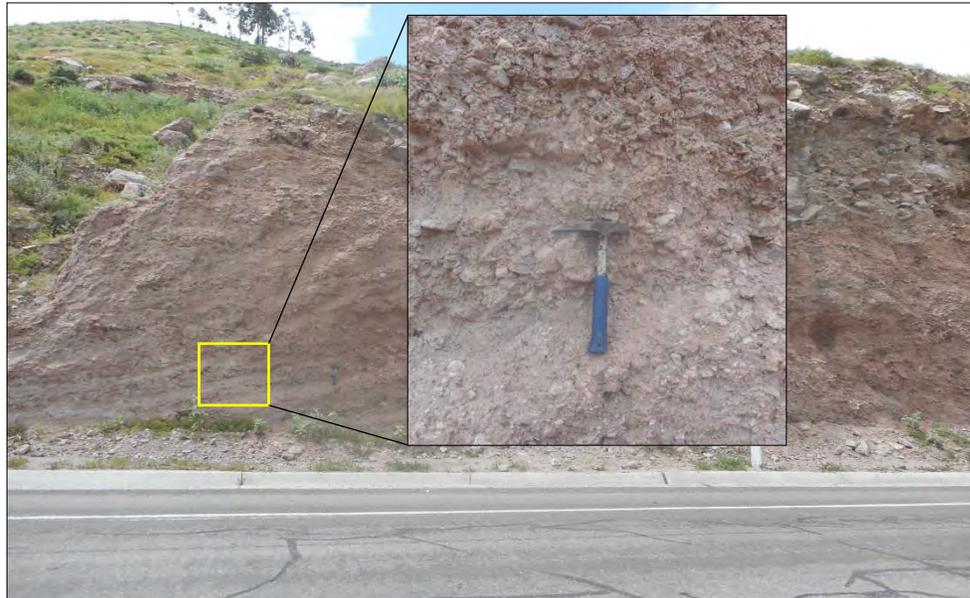
Conformados por gravas, arenas, y limos, arcillas se evidenciaron estos depósitos en las zonas ubicadas en las zonas agrícolas en el cerro “Cruz del Siglo” en Torata. A continuación, se muestran algunas fotografías de estos depósitos. **Foto 13.**

Foto 13: Depósitos aluviales, o “depósitos rudimentarios”

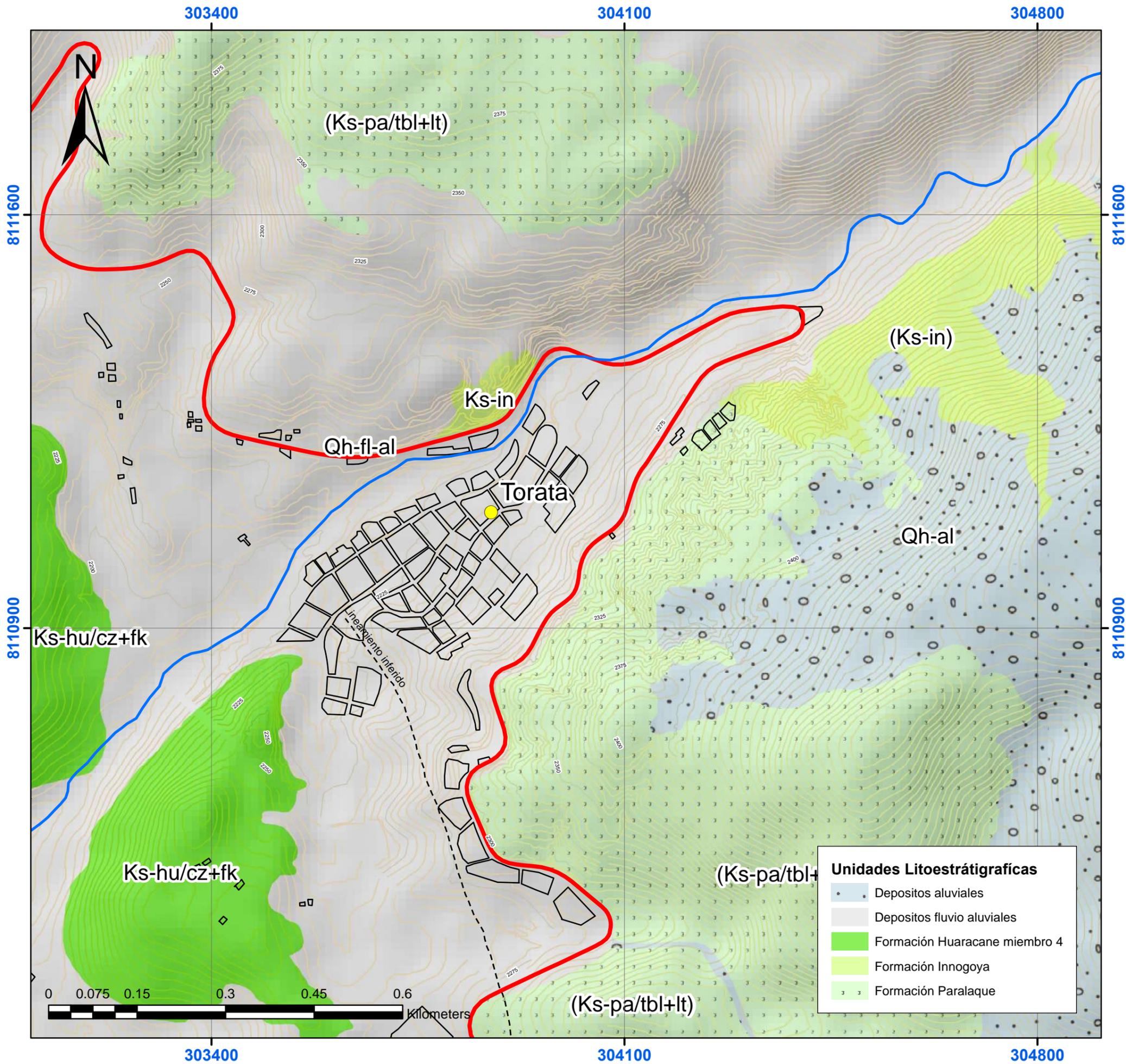


Nota. Con presencia de gravas con redondez y esfericidad angulares y subangulares, de 3” de diámetro, en una matriz arcillosa rojiza, de mediana plasticidad, en la parte superior e inferior presenta limos de color beige (línea amarilla). Ubicado a 1km al sur-oeste de Torata

Foto 14: Depósitos aluviales



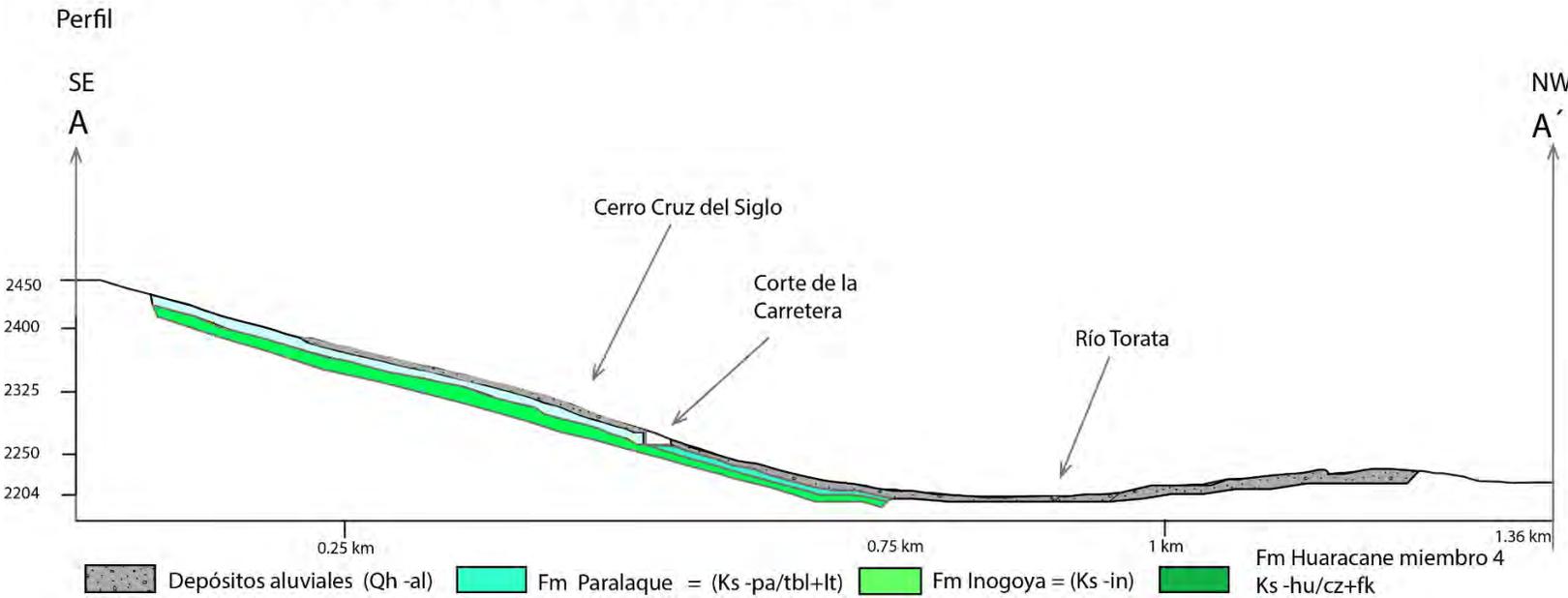
Nota. Depósitos aluviales, con clastos subangulares heterogéneos, de 1" a 3" de diámetro, en una matriz limosa, intercaladas en estratos de (0.10 metros) de arcilla rojiza, en la parte inferior se aprecia gravillas en una matriz areno-limosa. Ubicada en la carretera Binacional, cerca de la quebrada Tres arcos.



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
	EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCOS MATOS YALICO	MAPA DE GEOLOGÍA		
MAPA - 06	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM: WGS 84 PROYECCION UTM: ZONA 19S	
FECHA: AÑO 2023	ESCALA 1:6500		

Figura 16: Perfil Geológico A A' de la localidad de Torata.

Perfil geológico de Torata



Nota. Elaboración propia.

4.5 Genesis de las Rocas Volcanoclasticas en Torata - Moquegua

4.5.1 Breve resumen de la formación de la Cordillera Andina y de los volcanes en el sur del Perú

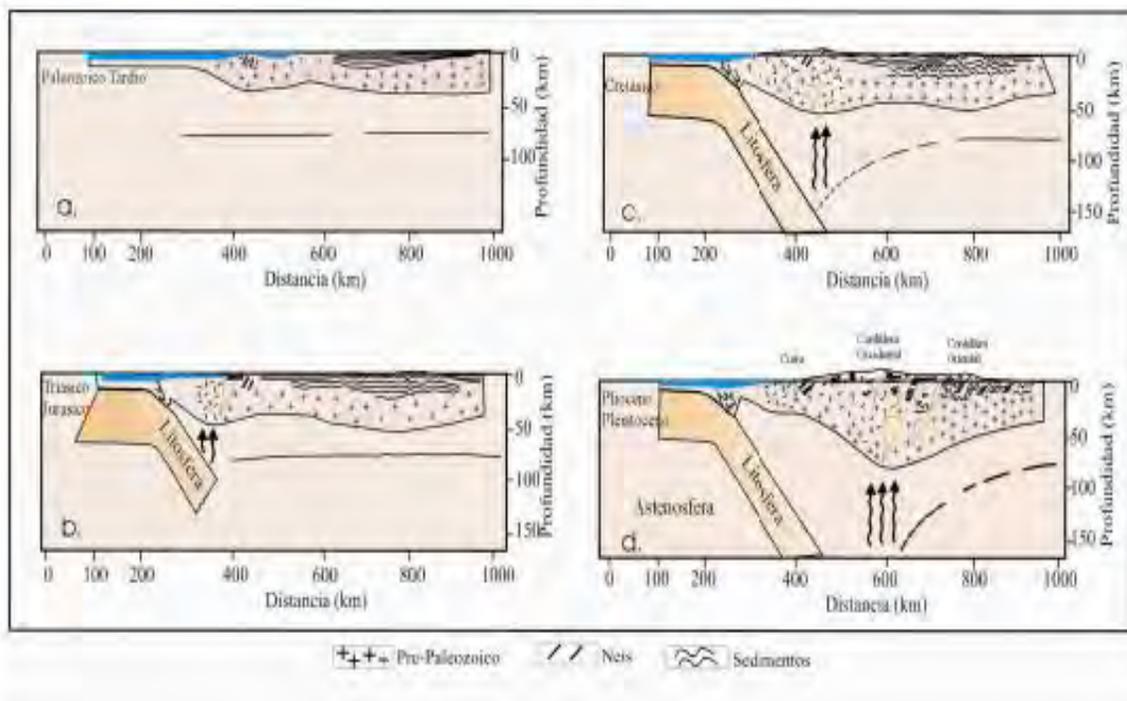
La formación de la Cordillera de los andes, fue acompañada por una sucesión de periodos de subsidencias y levantamientos relacionados con regímenes tectónicos de extensión y compresión que produjeron consecuentemente el acortamiento y engrosamiento de la corteza. Figura 17.

Según Megard (1978), Dalmayrac et al (1981) y Sebrier et al (1985), todo el proceso geodinámico que ha soportado el Perú se ha desarrollado en dos periodos claramente identificados los cuales se mencionan a continuación:

El primer periodo se desarrolla, durante el Paleozoico y se caracteriza por producirse en un régimen de deformación netamente extensional que fue perturbado por la ocurrencia de diferentes sucesos.

El segundo periodo, de evolución de la Cordillera Andina se produjo durante el Triásico–Pleistoceno, y se caracteriza por ser totalmente de régimen compresional con la consecuente formación y evolución de la Cordillera de los andes hasta presentar los rasgos topográficos que dibujan el paisaje actual.

Figura 17: Esquema de la Evolución de la Cordillera de los Andes



Nota. Tomado de, Megard (1978) Dalmayrac et al, (1981) y Sebrier et al (1985)
 (a) Régimen extensional y (b, c, d) régimen compresional.

4.5.2 Origen de las rocas volcánicas y volcanoclásticas en la ciudad de Torata.

Para comenzar a entender el origen de las rocas volcanoclásticas en este trabajo es fundamental aclarar que el término “Volcanoclástico” fue introducido por primera vez por: “Fisher en 1961”, y redefinido por “Fisher y Smith” en 1991, ellos, mencionan que el termino Volcanoclástico, incluyen a todos los depósitos clásticos que se componen enteramente o en partes de productos volcánicos; originados a partir de una fragmentación mecánica por procesos volcánicos o de resedimentación.

Los volcanes según Tazieff Haroun. (1954) “se delimitan en ciertas regiones donde la corteza de la tierra es débil, sobre áreas de cientos y hasta miles de kilómetros”. (p.31). La más famosa de estas cadenas es la del “Cinturón del fuego del Pacífico”

Roberth y Barbara Decker (1982) sostienen recientemente que “Los volcanes deben de ser clasificados según su origen tectónico y esto tendría la ventaja de reducir la clasificación de los volcanes, en solo tres tipos, los cuales son: Volcanes de zonas subducción, volcanes en zonas de rift y márgenes de placas convergentes”, para los volcanes del del Perú los volcanes tendrían un origen tectónico, de zonas de subducción.

Las rocas volcanoclásticas que afloran en la zona de estudio (Torata) tienen un origen tectónico, debido a que la corteza terrestre del planeta está dividida en placas, (Alfred Wegener 1912) como un rompecabezas que se mueven sobre un manto compuesto de roca líquido muy caliente. Estas placas se mueven y chocan entre sí, y También divergen unas de otras. Las placas tectónicas que chocan entre si forman cordilleras, así como también existen placas que se sumergen una por debajo de otra a estas zonas se les llama limites convergentes o zonas de subducción debido a que las placas oceánicas son más delgadas y más densas que las placas continentales. En estos

límites también se crean cordilleras y volcanes, este es el caso de nuestro país, Perú, que se encuentra en una zona de subducción o de límites convergentes, situado en el “Cinturón de fuego del Pacífico”, donde el origen de los volcanes en el sur del Perú, se debe a la subducción de placas tectónicas, Nazca que se sumerge debajo de la placa Continental.

Estos episodios de volcanismo eruptivo en el pasado, (erupción del Huynaputina en 1600 AC) que dieron como resultado productos volcánicos, como flujos piroclásticos y nubes ardientes cubrieron extensas áreas del sur del Perú.

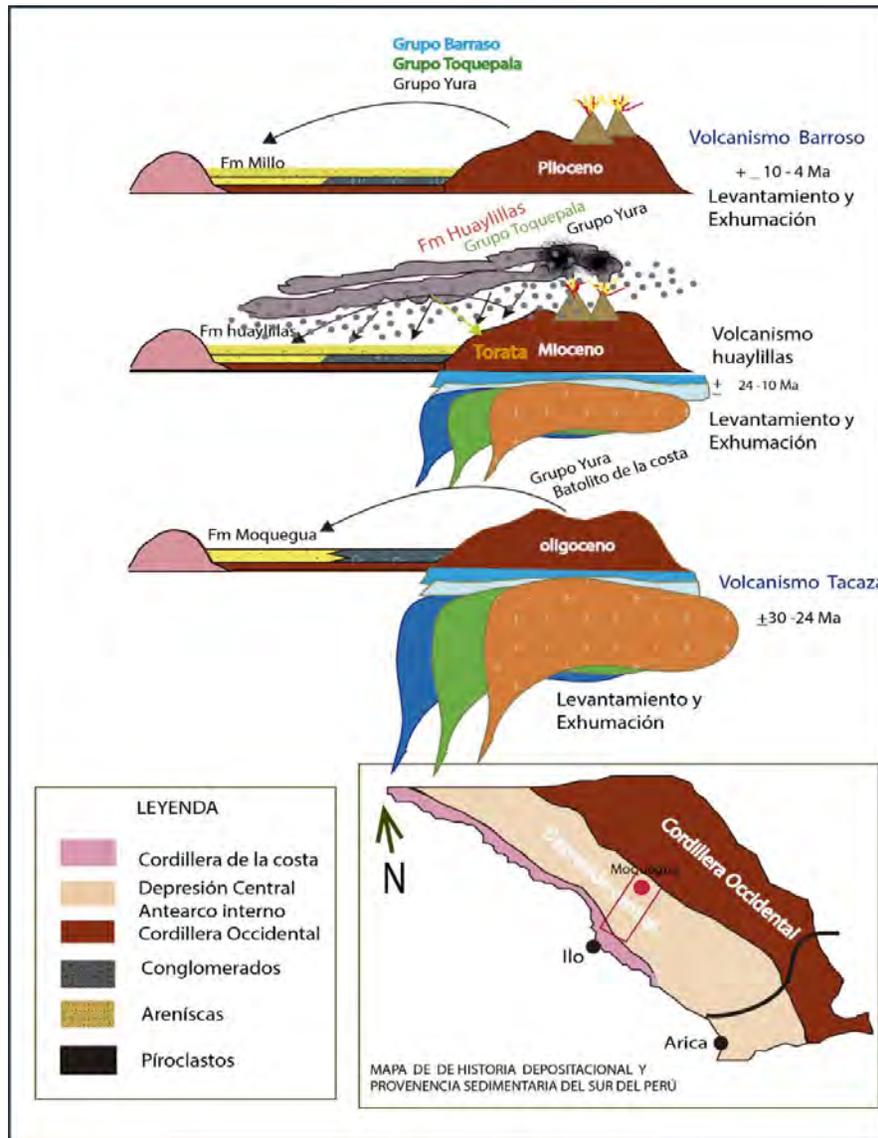
4.5.3 Origen de los depósitos volcánicos en Torata – Moquegua

Según Jordán *et al.* (1983) y Oncken *et al.* (2006), el oroclino de los Andes Centrales (15-26° S), en el suroeste de Perú está representado por las cordilleras Occidental y la de la Costa (Bellido, 1969), las cuales están compuestas por rocas proterozoicas, paleozoicas y mesozoicas (Palacios y Castillo, 1983; Palacios *et al.*, 1993)

Durante los procesos geológicos orogénicos (exhumación de los andes), se produjeron grandes pulsaciones de magmas intrusivos que dieron origen a los volcanes en el sur del Perú, en el Mioceno (24 -10) donde se dio episodios de erupciones volcánicas, Decou *et al.* (2013) (Volcanismo Huayllas) Estos episodios de volcanismo eruptivo en el pasado, como por ejm la erupción del volcán Huynaputina en 1600 AC) que dieron como resultado productos volcánicos, como flujos piroclásticos y nubes ardientes que llegaron a cubrir extensas áreas en el sur del Perú. Figura 18.

Los remanentes de estas cenizas actualmente se localizan muy cerca de los centros volcánicos en el sur del Perú, donde actualmente existen o se establecieron poblaciones habitadas en estos días, como por ej., la ciudad de Torata, donde se realizó nuestro estudio.

Figura 18: Origen de los Depósitos Piroclásticos



Nota. Gráfico donde muestra el origen de los depósitos piroclásticos y su deposición, en la zona de estudio Torata, según Decou et al. (2013) (para el valle de Moquegua). Elaboración propia.

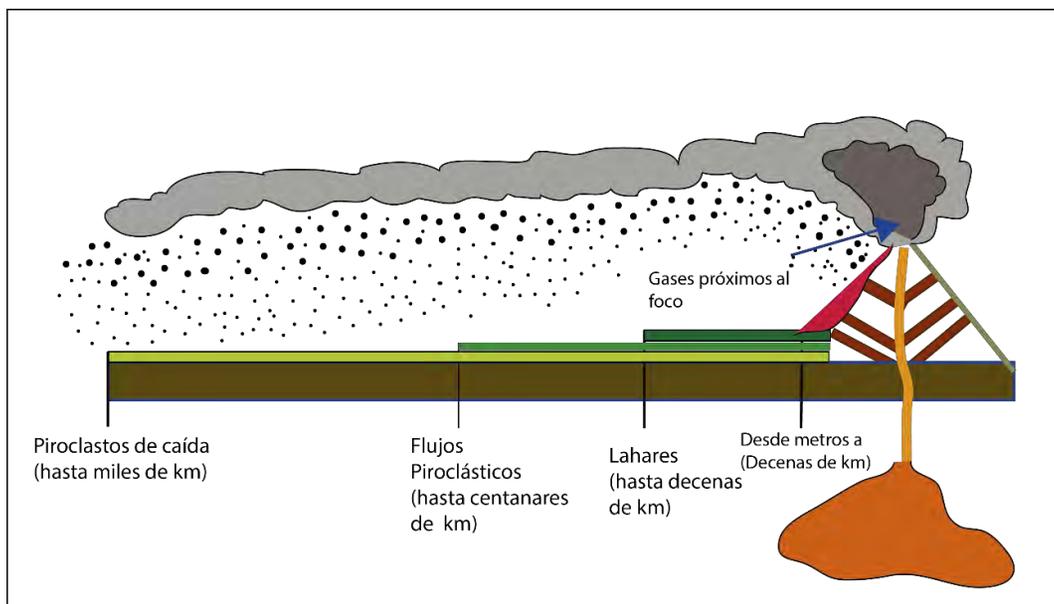
4.5.4 Rocas volcaniclasticas en la ciudad de Torata.

En la ciudad de Torata y alrededores afloran rocas volcánicas y rocas volcaniclasticas que son rocas de origen volcánico, es decir son rocas que fueron alguna

vez roca liquida fundida (magma) que salió a superficie producto de una erupción volcánica, los productos de estas erupciones son lavas, piroclastos, nubes de ceniza o nubes ardientes. Esta última también llamada "flujos piroclásticos" pueden viajar hasta centenares de km, Y los piroclastos de caída hasta miles de km. desde los centros volcánicos o centros de emisión. Figura 19

En la ciudad de Torata, en el Cerro cruz del Siglo, en las laderas del lado sur al pie de la carretera (Binacional) y en las lomas ubicadas a 300 metros al sur -oeste de la plaza principal de Torata, Figura 41, se evidencia la presencia de cenizas, lapilli, tobas soldadas que mezclados a los depósitos aluviales conformados por gravas, arenas y limos se tienen suelos superficiales de origen volcánico y clástico. (Volcaniclasticas).

Figura 19: Alcances de los Diferentes Tipos de Actividad Volcánica

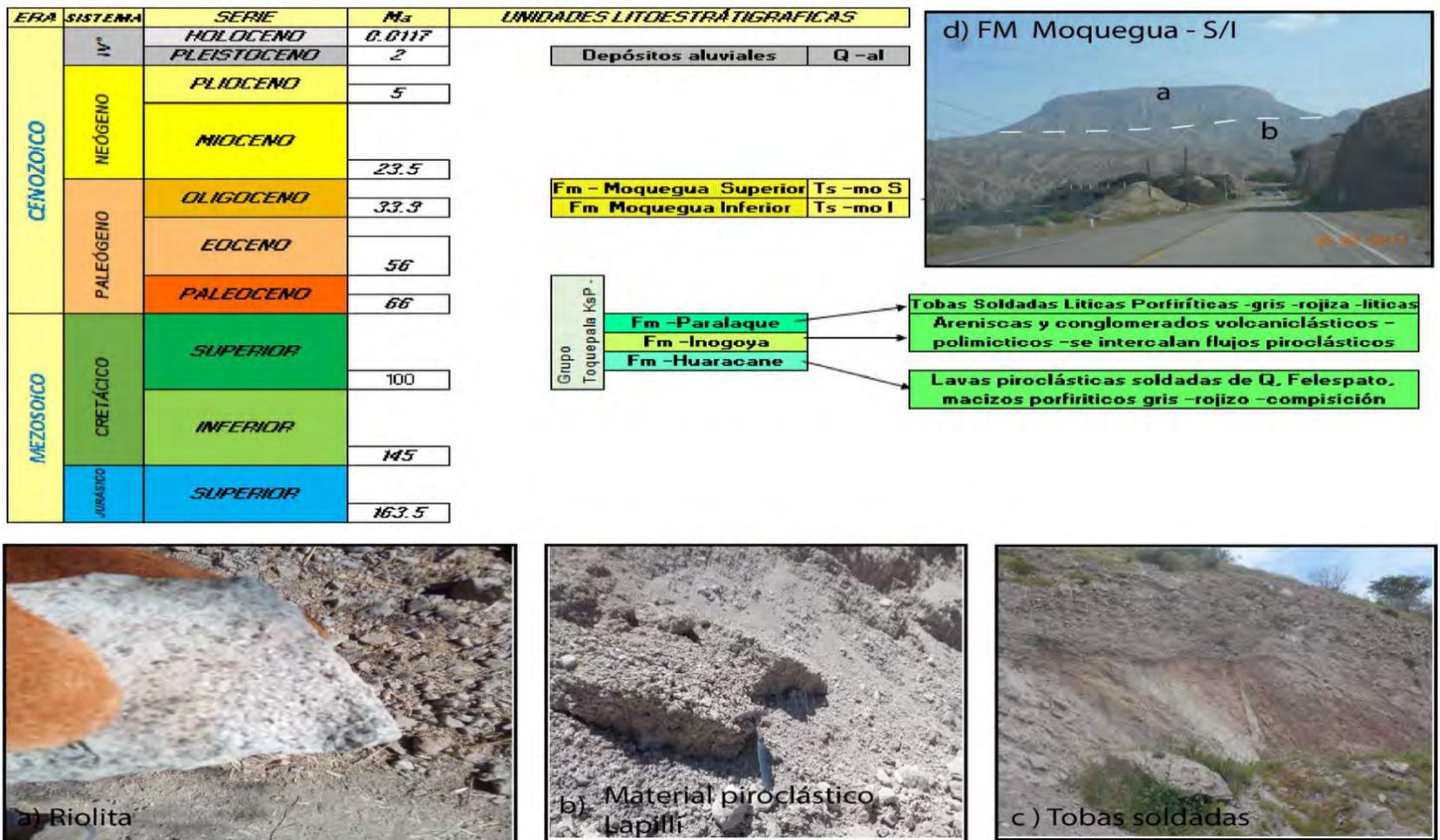


Nota. Los piroclastos de caída pueden llegar hasta miles de km, del centro de emisión.

Foto 15: Depósitos de flujos piroclásticos en la localidad de Torata



Figura 20: Cuadro con las principales rocas volcánicas y Volcaniclasticas



Nota. Principales rocas volcánicas y volcaniclasticas en la ciudad de Torata con respecto a su tiempo geológico.
Fuente. Elaboración propia.

Capítulo V: Geológica Estructural

5.1 Geología Estructural Regional

En los alrededores de la zona de estudio los rasgos estructurales son muy complejos, La región de Moquegua está dividida en dos zonas estructurales, una occidental, que vendría a ser la cuenca de Moquegua donde se depositaron sedimentos clásticos, de las Formaciones: Sotillo y Moquegua, como producto del levantamiento y degradación del frente montañoso oriental, cabe señalar que es aquí donde actualmente se asienta la ciudad de Torata, y la segunda una zona oriental maciza conformada por secuencias volcánicas e intrusivas afectadas por un conjunto de fallas con orientación paralela NO-SE. Que corresponderían al sistema de fallas de Incapuquio.

5.1.1 Sistema de Fallas Incapuquio

A nivel regional el rasgo tectónico estructural, más importante en el sur del Perú y que afecta la zona de estudio es el, Sistema de Fallas Incapuquio, que se caracteriza por un sistema transcurrente sinistral con orientación N 125E de tendencia N 125E que tiene al menos 400 km de largo y localmente > 10 km de ancho.

El Sistema de Fallas Incapuquio (SFI) probablemente facilitó el abundante magmatismo del Cretácico Tardío-Paleógeno Temprano (Grupo Toquepala), y permaneció activo durante el Oligoceno, formando el borde activo NE de la cuenca de Moquegua. Actualmente, el SFI sigue siendo sísmicamente activo.; Sempere et al., (2002). **Figura 21.**

Figura 21: Sistema de Fallas Incapuquio, en el Sur del Perú



Nota. En la figura se observa (SFI), El Sistema de Fallas Incapuquio con dirección NO -SE, pasando los departamentos de Tacna y Moquegua, en el Sur del Perú. Tomado de, Sempere, et al (2002) STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE INCAPUQUIO FAULT SYSTEM, SOUTHERN PERU.

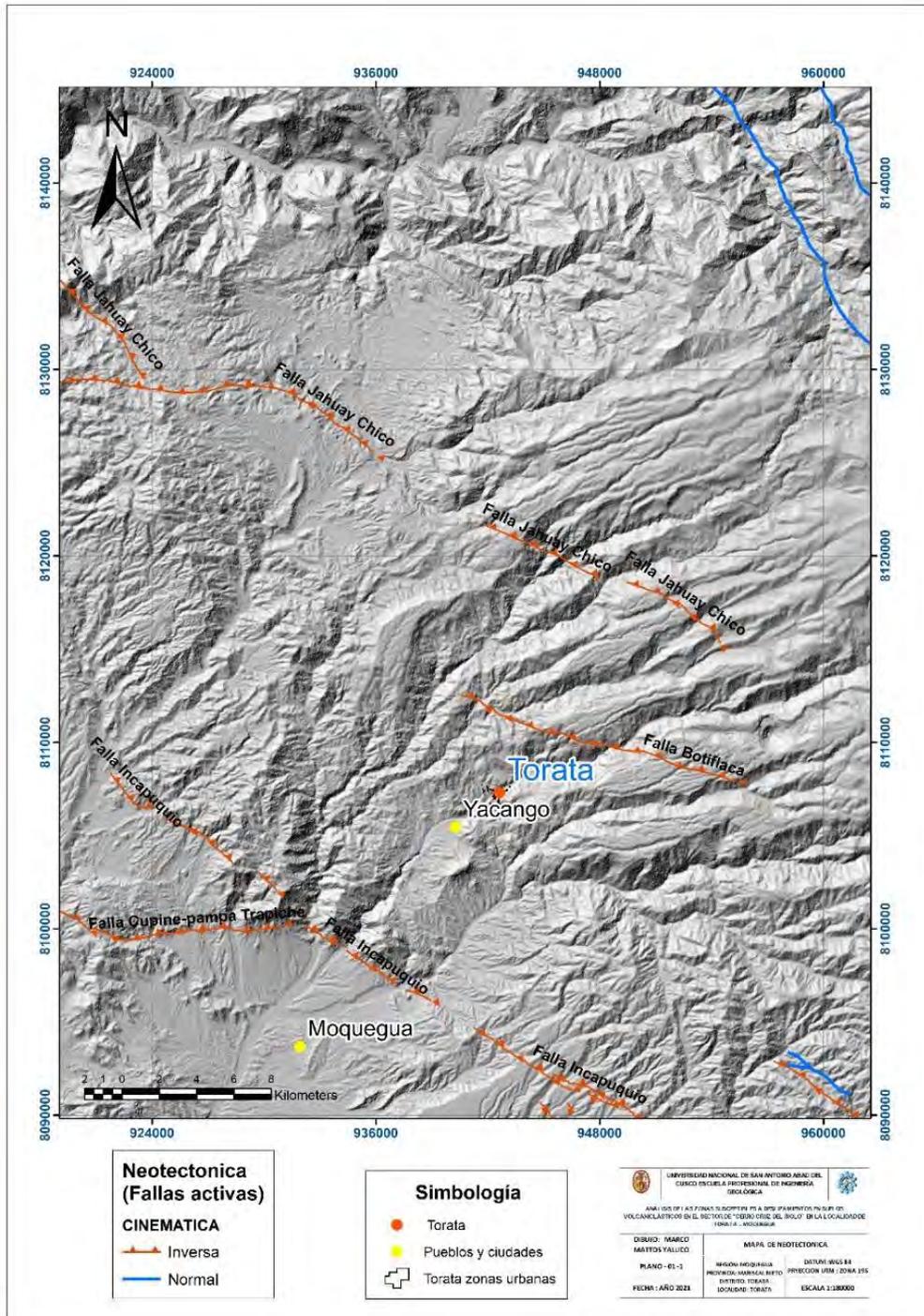
5.1.2 Neotectónica

Según Stewart, (2005), La neotectónica se ocupa del estudio de los movimientos horizontales y verticales de la corteza terrestre que se han producido en un pasado geológicamente reciente aproximadamente entre un periodo de (10,000 años) y que pueden estar produciéndose en la actualidad.

5.1.2.1 Fallas activas

En los alrededores del distrito de Torata, existen, fallas activas las cuales según el mapa de neotectónica del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET), son: a) la Falla Botiflaca, ubicada al nor-este de Torata. b) Falla Jahuay Chico, ubicada a 15 km aproximadamente al N -E de la localidad de Torata. y por último c) la Falla Incapuquio, que recorre en dirección NO -SE, a 5 km al NE, de la Ciudad de Moquegua. Todas ellas fallas inversas.

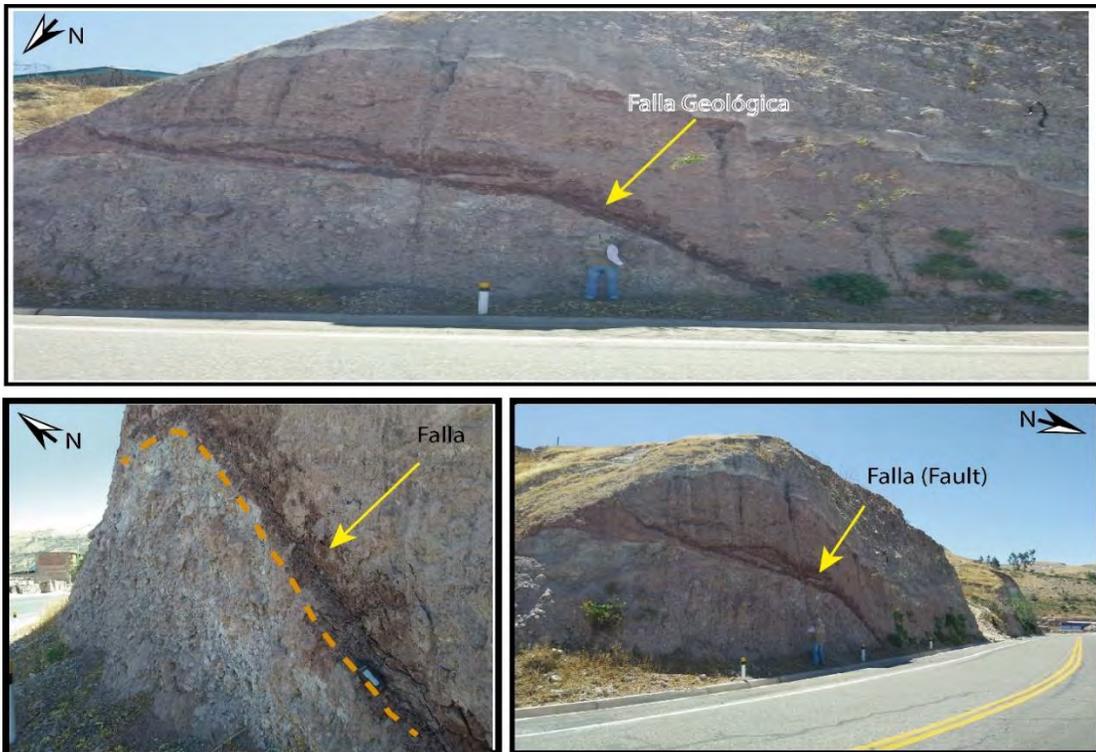
También existen fallas normales a una distancia de 30km al nor -este, aproximadamente, todas ellas en la actualidad son activas o producen movimientos sísmicos. **Mapa 01-1 Neotectónica.**



5.1.2.2 Falla Torata

Es muy importante mencionar que a 552 metros al sur-este de la Plaza de armas de Torata, existe una falla geológica todavía mencionada por la bibliografía especializada, como una falla geológica inferida, que tiene una dirección sur -este a nor -oeste y que probablemente se trataría de una falla inversa o una falla Trust fault. **Foto 16.**

Foto 16: Falla Geológica Torata



Nota. Se infiere sería una falla de tipo, trust fault, ubicada en la vía -interoceánica, ubicada a unos metros del mirador de "Cristo blanco" -Torata

Capítulo VI: Geodinámica

Acorde con E. Cheidegger (1982), que menciona que la geodinámica suele considerarse uno de los temas que permiten comprender el origen de los rasgos visibles de la superficie terrestre, que se suelen considerar contruidos por fuerzas geodinámicas originadas en el interior de la tierra ("procesos endogenéticos") y luego degradados por agentes geomorfológicos originados en la atmósfera y el océano ("agentes exogenéticos").

Entre los eventos geodinámicos más comunes que afectan esta localidad tenemos: caída de rocas, deslizamientos, flujo de detritos, entre otros, Debido a la particular composición litológica de todo el distrito, los suelos de cimentación de la localidad de Torata son suelos volcánico-sedimentarios (volcaniclásticos) y los afloramientos rocosos están dominados por rocas del Grupo Toquepala (KsP-to), y depósitos fluvio-aluviales conformados litológicamente por gravas, arenas, limos y también arcillas que afloran ampliamente en ambas márgenes del río Torata.

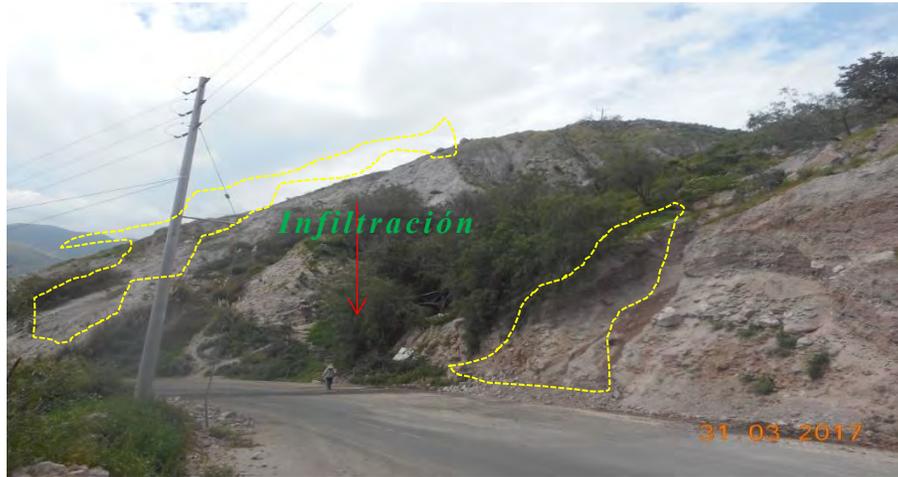
En este estudio en la localidad de Torata, se realizó un mapeo detallado, que abarco un área de, 3.8km². Donde se identificaron los siguientes eventos geodinámicos.

6.1 Flujos de detritos

En este tipo de evento los materiales de las rocas de la Formación Paralaque, y Formación Inogoya, y depósitos aluviales que han sido afectados por los distintos procesos de erosión y meteorización, permanecen en las cárcavas y laderas ubicadas a 250 metros al sur -este de la plaza principal de la localidad de Torata. al pie de la carretera binacional; en el Cerro Cruz del siglo, estos materiales acumulados de distintos tamaños obstruirían la carretera en caso de un sismo que los desestabilizaría, también la esorrentía sería un factor desencadenante por incremento de las precipitaciones que formarían flujos de detritos (debris Flow). En estas laderas el

paisaje es desértico, árido sin la presencia de vegetación lo cual incrementaría el peligro ante este evento geodinámico. **Foto 17.**

Foto 17: Flujos de Detritos e Infiltraciones de Agua



Nota. Flujos de detritos (polígonos amarillos) también infiltraciones de agua, (flecha roja), ubicados en al pie del cerro “Cruz del Siglo” – Carretera – Interoceánica.

6.2 Caída de rocas

Los clastos o gravas y bloques, de la Formación Inogoya, son afectados por los distintos procesos de erosión y meteorización, ya sean de origen natural o antrópico (corte de taludes), ocasionando el desprendimiento de estos materiales.

La zona de caída de roca tipo toba, está ubicada a 314 metros al nor-este de la plaza principal y a 82 metros frente al coliseo de Torata, al pie de la carretera Binacional. Foto 18. en la margen derecha del río Torata, se evidencio que el macizo presenta fracturas, y también, caída de rocas sueltas, en la vía y ante un posible sismo, como factor desencadenante, se produciría la caída de rocas obstruyendo esta vía causando un mayor daño y dañando las infraestructuras hasta causar algún accidente por ser una zona de alto flujo, de paso de autos y/o buses interprovinciales.

Foto 18: Caída de Rocas



Nota. Caída de rocas (polígonos amarillos), en el sector Cerro Blanco y la Banda.

6.3 Deslizamientos activos en el Cerro Cruz del Siglo

La ciudad de Torata se asienta sobre una terraza fluvio-aluvial, donde se asientan la mayor parte de las zonas urbanas, por otra parte, en la margen izquierda del río Torata, al pie de una montaña denominada por los pobladores con el nombre de "Cerro Cruz del siglo". Las zonas de expansión urbana se sitúan en las laderas ubicadas al sur-este de esta montaña como el asentamiento humano, Jorge Chávez B, en el "Cerro Cruz del Siglo" las pendientes son pronunciadas y el material de los suelos de cimentación conformados por tobos de la Formación Paralaque e Inogoya, y suelos aluviales conformados por bloques, gravas y arenas que afloran en estas laderas; se encuentran erosionadas y meteorizadas dejando como resultado escarpas que se pueden ver desde largas distancias, aquí los suelos en superficie presentan un color blanco debido a los materiales litológicos compuestos por tobos, cenizas areniscas y conglomerados volcánoclasticos. En estas laderas existen escarpas (**Figura 22**), con saltos de aproximadamente 4.17 metros, y una longitud de 455 metros, estas escarpas se ubican a 66 metros ladera arriba, al sur-este de la carretera Binacional (Desaguadero -Puno). Las laderas que se encuentran en el cerro Cruz del siglo debido a las características litológicas mencionadas sumado a que presentan pendientes empinadas entre (40° - 45°) hacen que estas zonas sean zonas susceptibles a movimientos en masa o específicamente zonas críticas a sufrir deslizamientos, caída de rocas, flujos de detritos entre otros, cuando caminamos en estas laderas podemos observar que en superficie los suelos son

muy deleznales y se evidencia la existencia de bloques fracturados dispersos de rocas, desde tamaños de 10 cm, hasta tener bloques de dimensiones mayores a los 2 metros de longitud todos ellos, a punto de perder su estabilidad y que podrían caer hacia las partes más bajas debido a un agente desencadenante que podría ser por ejemplo un movimiento sísmico o por la fuerza de la precipitación de las lluvias en épocas de enero a marzo.

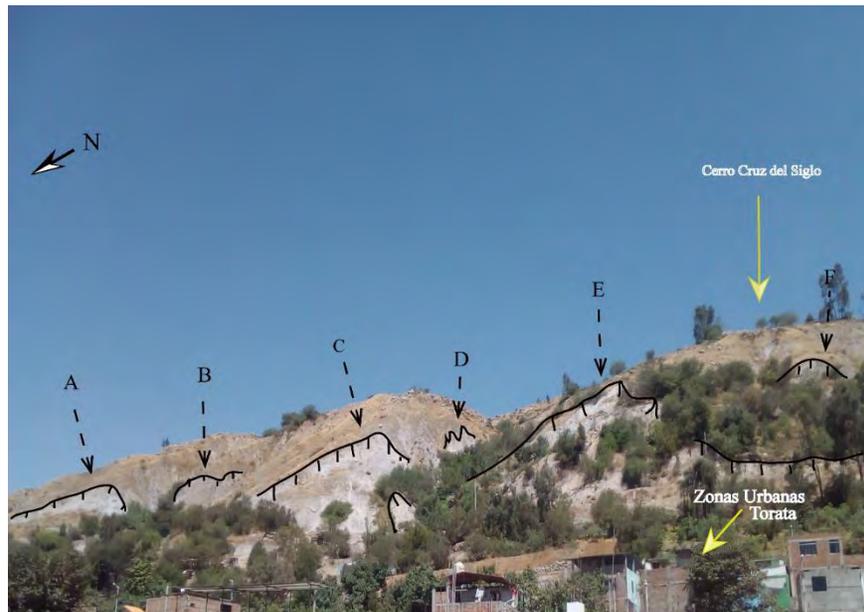
Otro factor detonante es las ondas de explosión de explosivos provenientes de la mina Cuajone, ubicada a 14 km de distancia; sin embargo, las ondas llegan a mover los suelos y vibrar en Torata.

En los trabajos de campo se evidencio la presencia de infiltraciones de agua que afloran en las laderas del cerro “Cruz del siglo”, que podría ser un factor desencadenante que estaría contribuyendo a la inestabilidad de las laderas en este sector.

Todo esto en conjunto nos indicaría que esta montaña está perdiendo las fuerzas de fricción que lo mantienen estable y podría originarse un movimiento en masa haciendo vulnerables las áreas urbanas de Torata, además que podría afectar la infraestructura que existe en estas laderas como la Carretera Binacional, que en cualquier momento puede verse afectada por un movimiento en masa.

En los trabajos de campo se realizo el mapeo y/o cartografiado e inventario de los movimientos en masa de los últimos eventos geodinámicos, donde se han evidenciado, 6 seis escarpas de deslizamientos rotacionales activos (A, B, C, D, F) **Foto 19**, y 1 escarpa de deslizamiento antiguo a 184 metros por encima de estas escarpas.

Foto 19: Escarpas de Deslizamiento en el Sector de Cerro "Cruz del siglo" Torata.



Nota. En la figura se aprecia escarpas muy erosionadas desprovistas de vegetación, mientras que las zonas urbanas se ubican unos metros más abajo.

Figura 22: Escarpas, en el cerro "Cruz del Siglo" Torata



Nota. En la figura se aprecia a) las escarpas y los saltos de deslizamiento, b) también las infiltraciones de agua, c) y los suelos deleznaibles.

6.4 Zonas Susceptibles a procesos geodinámicos externos

Entre estos procesos se encuentran a susceptibilidad está referida a la probabilidad de que suceda un evento geodinámico durante un período de tiempo en un sitio dado (Hauser, 1985 y 1993; Sepúlveda, 2000).

Algunos autores definen como la mayor o menor predisposición a que un proceso geodinámico suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico y tiempo, lo cual depende de los factores: litología, tectonismo, agentes geológicos y actividad humana (taludes de corte). La identificación y delimitación de los eventos geodinámicos, ha permitido reconocer zonas probables que podrían ser afectadas por los mismos (inundación y caídas).

Foto 20: Zonas susceptibles a deslizamientos en el cerro “Cruz del Siglo”



Nota. Se ha estimado que las zonas susceptibles para movimientos en masa se localizan en las laderas ubicadas al pie de la carretera del denominada, Cerró Cruz del Siglo, y abarca un área 3.76 hectáreas.

Litológicamente están conformadas por tobas y sedimentos clásticos. Las tobas volcánicas son rocas formadas por material suelto arrojado por un volcán en erupción y son materiales muy porosos y caracterizados por su baja densidad, son rocas que absorben rápidamente la humedad, en el Cerro Cruz del siglo las rocas volcaniclásticas podrían ganar paulatinamente la inestabilidad por la presencia de infiltraciones de agua

subterránea, Foto 21, en distintos puntos de este sector, la presencia de agua sería el factor desencadenante que originaría un futuro deslizamiento. (Foto -21).

Foto 21: Infiltraciones de Agua



Nota. Infiltraciones de agua a 250 m, al sur-oeste de la plaza principal de la ciudad de Torata, en el sector denominado (Cerro cruz del siglo).

En el trabajo de mapeo de movimientos en masa, **Mapa de Geodinámica- (Mapa 07)**, que se realizó es importante mencionar un evento de subsidencia **Figura 23**, en las zonas urbanas de Torata específicamente en la calle Nicolas de Pierola, donde se evidencio un hundimiento del suelo de unos 7cm, en la pistas y veredas de esta calle, en una longitud 10 metros. Entre los factores desencadenantes se evidenciaron infiltraciones de agua en varios puntos en las laderas sur- este del “Cerro Cruz del Siglo” cuyo origen se estima serian aguas subterráneas.

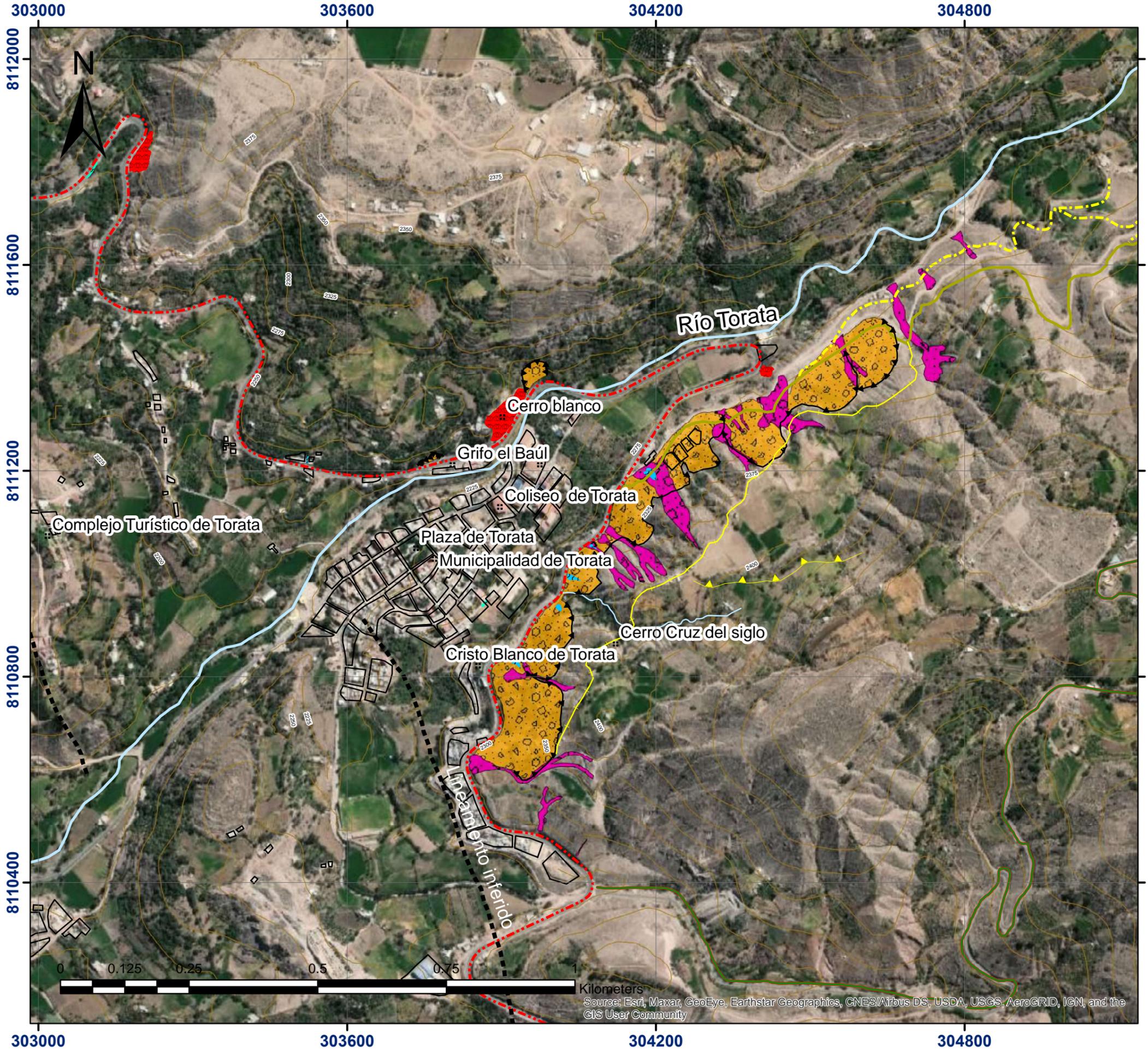
Figura 23: Subsidencia

Subsidencia



Subsidencia en la intersección de la Calle Nicolas de Pierola, a 167 metros al sur - este de la Plaza principal de Torata.

Nota. Subsidencia en la intersección de la calle, Nicolás de Piérola a 167 metros al sur – este de la Plaza de Torata.



Simbología

- Torata
- Carretera a Cuajone
- ▲▲▲▲ Escarpas de deslizamiento
- ~ Riachuelo
- - - - falla Inferida
- ~ Río Torata
- · - · Red vial nacional
- Carretera Labramane
- Carretera a Cuajone
- ~ Curvas de nivel
- · - · Trocha
- ~ infiltraciones de agua
- Torata zonas urbanas

Geodinámica

- Zonas susceptibles a deslizamientos
- ▲ Escarpa de deslizamiento antiguo
- ▲▲▲▲ Escarpas de deslizamiento
- - - - falla Inferida
- Agrietamiento y hundimiento
- Caída de Rocas
- flujos de detritos
- Deslizamiento rotacional activos

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANCLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCOS MATTOS YALLICO	MAPA DE GEODINÁMICA	
Mapa - 07	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM :WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2022	ESCALA 1: 7500	

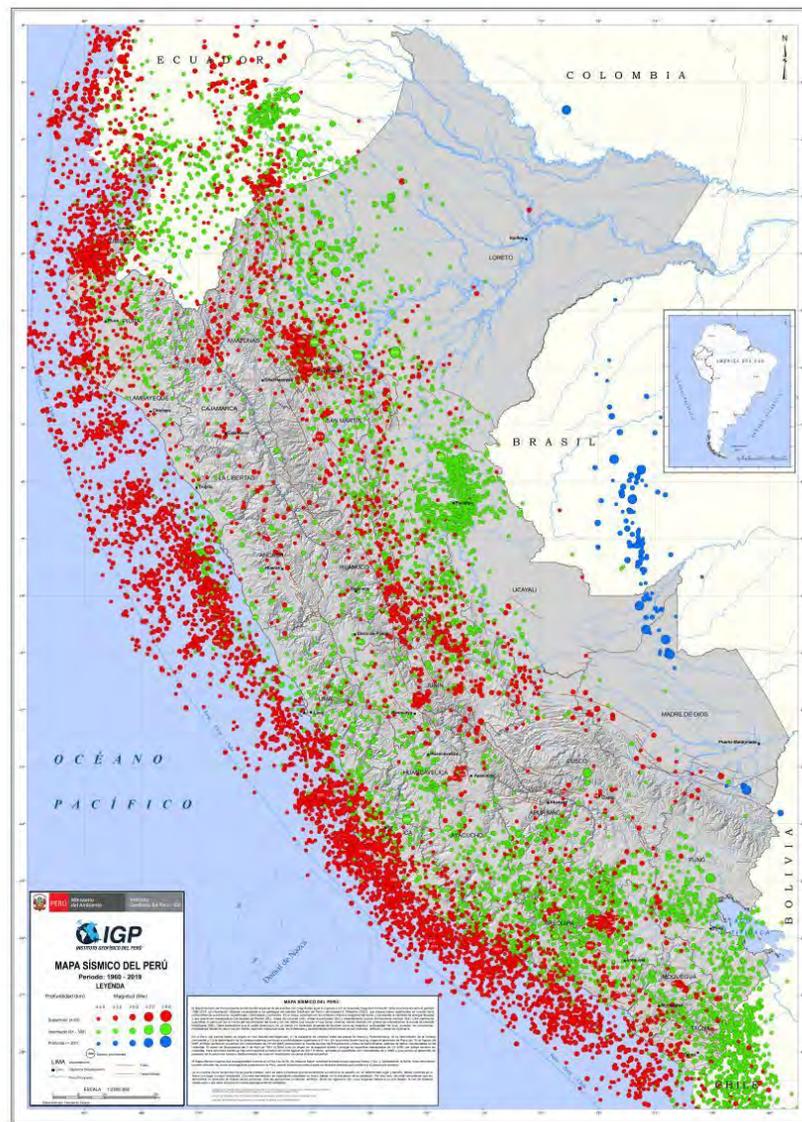
Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Capítulo VII: Geofísica

7.1. Antecedentes de la sismicidad en la Localidad de Torata departamento de Moquegua

De acuerdo a la historia sísmica del Perú, la región sur ha sido afectada en varias oportunidades por eventos sísmicos de variada magnitud, **figura 54, Mapa Sísmico del Perú**, que han generado altos niveles de intensidad, puesta en evidencia con los daños observados post-sismo en los departamentos de Tacna y Moquegua (Silgado, 1978; Tavera et al. 2016). Al ser los sismos cíclicos, es de esperarse que, en el futuro, las mismas ciudades y/o áreas urbanas sean afectadas por nuevos eventos sísmicos con la misma o mayor intensidad. Entonces, no es tan importante el tamaño del sismo, sino la intensidad del sacudimiento del suelo, la educación de la población y la calidad de las construcciones.

Figura 24: Mapa Sísmico del Perú, periodo 1960 -2019. Instituto Geofísico del Perú



Nota. Fuente, Instituto Geofísico del Perú (IGP).

7.2 Adquisición de datos geofísicos en la ciudad de Torata

En este estudio se ha realizado la aplicación de métodos sísmicos y geofísicos, para lo cual se han utilizado diferentes tipos de registros y arreglos. Para aplicar la técnica de razones espectrales (H/V) se utiliza registros de vibración ambiental, mediante los arreglos

sísmicos lineales (MASW) se obtiene registros sísmicos y los métodos eléctricos (ERT) los valores de resistividad del suelo. A continuación, se describe brevemente la toma de datos

7.2.1 Registro de vibración ambiental H/V

Para la obtención de los registros de vibración ambiental se utiliza el equipo sísmico compuesto por un registrador tipo CityShark y sensores de tres componentes de registro tipo Lennartz, **Figura 25**.

Figura 25: Equipo sísmico utilizado para el registro de vibraciones ambientales en Torata.



Para la aplicación de esta técnica se procedió, sobre el mapa catastral de la ciudad, a definir la distribución y el número de puntos para el registro de vibraciones ambientales teniendo en cuenta la información geológica y geomorfológica de la zona de estudio. Cada uno de los puntos de registro de vibración ambiental obtenidos en campo, tienen una duración de 15 minutos, lo cual permite disponer de buena cantidad de información para su posterior análisis. En el área urbana de Torata - Yacango, se consideró 123 registros de vibración ambiental de los cuales en la localidad de Torata se realizaron 51, obtenidos de manera puntual, y distribuidos según él, **Mapa de ensayos geofísicos Mapa– 01 -2**

Cabe señalar que en el “Cerro Cruz del Siglo” se realizaron los puntos: To -062, To-098, To-029, To-004, To-028, To-083.

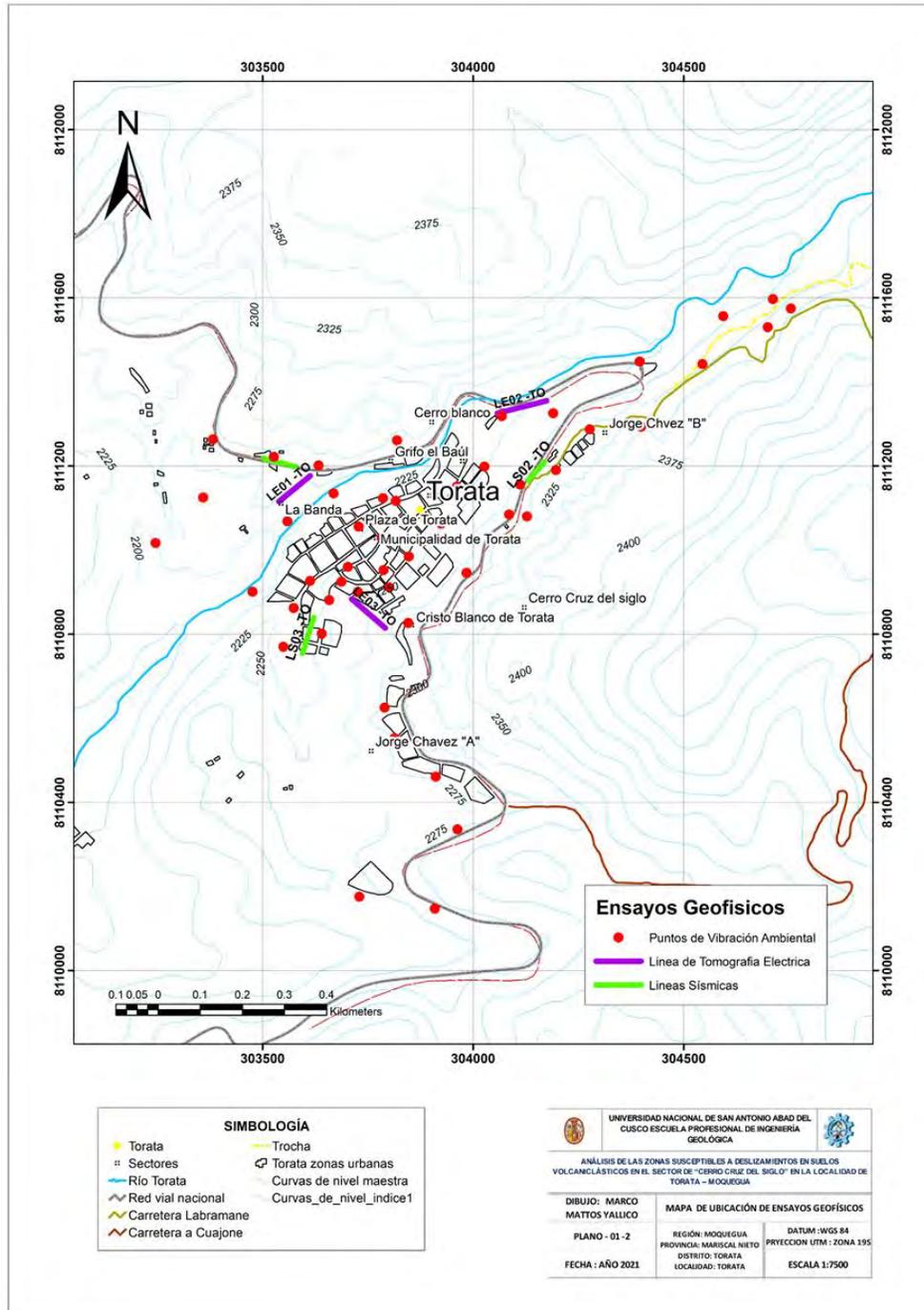
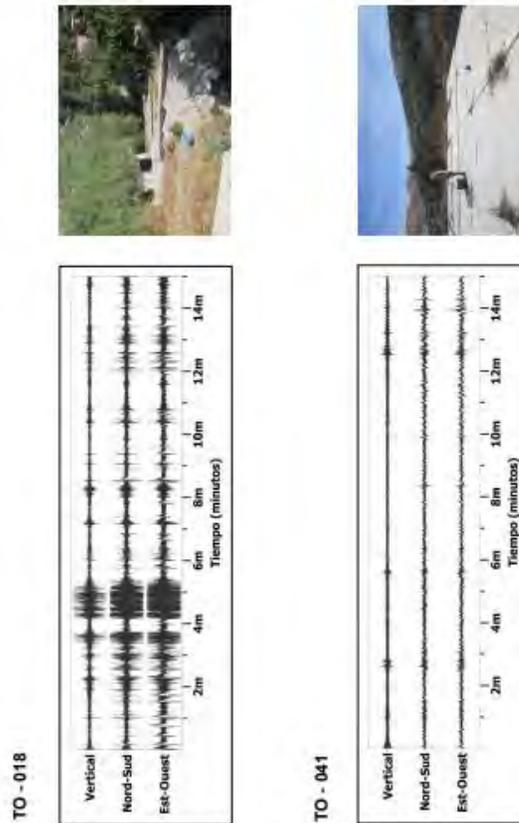


Figura 26: Registro de Vibraciones Ambientales



Nota. Ejemplos de registros de vibración ambiental obtenidos sobre una zona con ruido transitorio (TO-018) y otro con ruido de fondo constante (TO-041). Obsérvese las diferentes amplitudes de la señal registrada en cada punto.
Fuente. Instituto Geofísico del Perú. (IGP) -2018.

7.2.2 Registro de arreglos lineales MASW

Para el registro de información se ha utilizado un equipo sísmico (sismómetro) de uso multipropósito, modelo GEODE de Geometrics, 24 sensores o geófonos de baja frecuencia (4.5 Hz). Como fuente de impacto y/o energía para generar las ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs, ver **Figura 27**. Los parámetros de registro, tales como la

geometría del tendido, espaciamiento entre geófonos, fue variable ya que dependió de la geomorfología de la zona de estudio y accesibilidad. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz (0.25 ms) con un pre-trigger de -0.1s y una longitud de registro de 2 segundos.

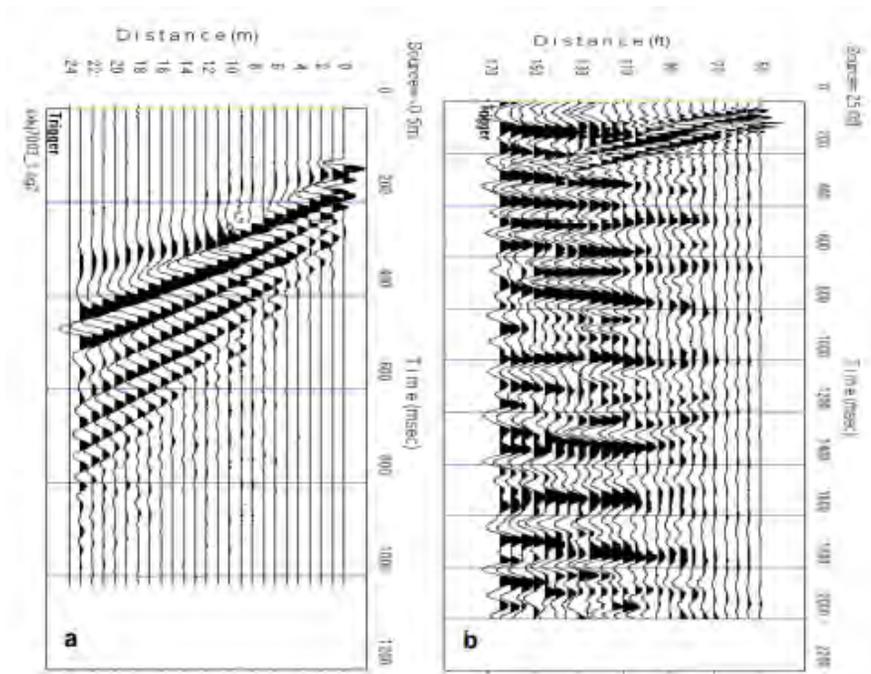
Figura 27: Arreglos Sísmicos



Nota. Adquisición de datos y los componentes para el registro de arreglos lineales MASW. Fuente, (IGP) -2018.

Durante su adquisición se visualiza los datos sísmicos (sismogramas), a fin de verificar la calidad de la data y el nivel de ruido, tal como se observa en la **Figura 28**. Para mejorar la relación señal/ruido fue necesario realizar apilamientos de señales (en cada punto de disparo se registran varios golpes y es acumulado al anterior), realizando de cuatro a cinco golpes en cada punto —shot. Finalmente, se realiza el procesamiento preliminar para determinar si la profundidad y la velocidad sísmica obtenida tienen sentido geológico y completan la finalidad del estudio. El procesamiento de la información de MASW fue realizado en el programa de computación SeisImager.

Figura 28: Sismogramas “a” y “b” donde se aprecian las ondas de ruido



Nota. a) Registro sísmico con bajo contenido de ruido ambiental, es decir, alta calidad. b) Registro sísmico con alto contenido de ruido ambiental.

7.2.2.1 Ubicación y Adquisición de datos

Tabla 9: Coordenadas y características de las líneas sísmicas realizadas en la localidad de Torata.

Línea Sísmica	Este	Norte	Cota m.s.n.m	Espaciamiento entre Geofónos (m)	Longitud Total en (m)
LS01 -TO	303586	8111188	2205	4	92
	303496	8111208	2208		
LS02 -TO	304164	8111196	2257	4	92
	304229	8111262	2257		
LS03 -TO	303645	8110833	2196	3	69
	303629	8110767	2194		

Nota. Elaboración propia.

Figura 29: Registro de Arreglos Lineales MASS W

Registro de arreglos lineales MASW



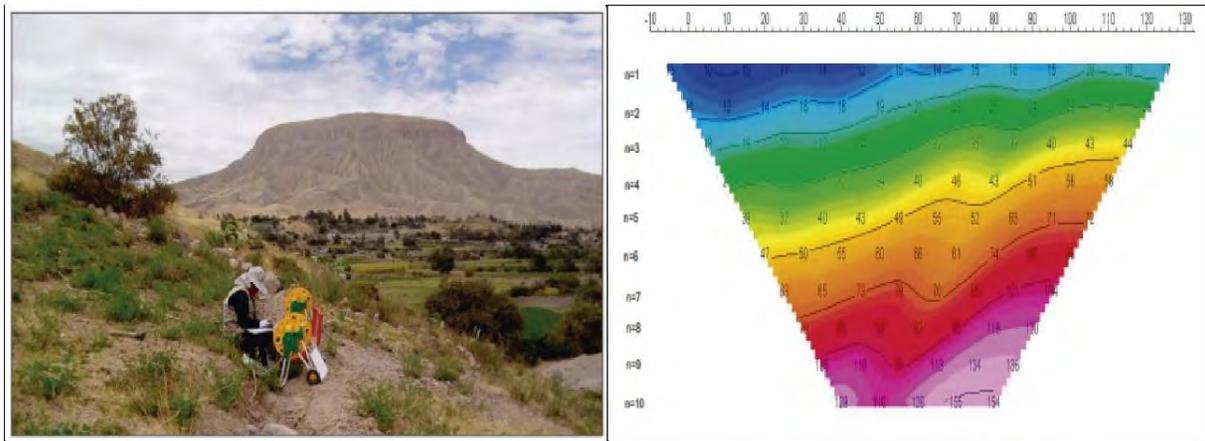
Nota. En la figura 60, se observa las Líneas sísmicas (LS01 -TO), Líneas sísmicas (LS02 -TO), Líneas sísmicas (LS03 -TO), realizadas en la localidad de Torata. fuente: Instituto geofísico del Perú -2018. En los sectores, La Banda, Jorge Chavez “B”, y Calle – Torata.

7.2.3 Registro de la resistividad del suelo ERT

Para el registro de información se ha utilizado un equipo de Resistividad / IP Syscal Pro de marca Iris Instruments, 30 electrodos de acero y 10 cables de potencial multiconductor.

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ. **Figura 30.** se tienen la disposición de equipo eléctrico en campo y un ejemplo de la distribución de valores de resistividad en profundidad.

Figura 30: Disposición del equipo de adquisición por la técnica de ERT (LE08-TO) y el registro eléctrico



Nota. En la figura a) se observa la realización del ensayo de resistividad eléctrica. b) en la figura, se observa los valores de resistividad. Instituto Geofísico del Perú (IGP) -2018

La calidad de la señal eléctrica de todos los registros se evaluó mediante un test de resistencia de contacto entre los electros y el terreno, garantizando datos confiables para el procesamiento, donde se busca mejorar las imágenes con el uso de filtros que disminuyeran los efectos de borde, medidas negativas de resistividad aparente y la obtención de dos ciclos de registro por cada punto de medida de resistividad. Este hecho permitió evaluar la fiabilidad mediante la comparativa de los dos valores de resistividad, siendo los más fiables aquellos con menores diferencias. Se consideró los siguientes criterios:

- ✓ La diferencia de potencial registrada debe ser mayor a 0.2 mV
- ✓ La relación entre el potencial registrado y la intensidad de corriente (V/I) debe ser mayor o igual a $5 \times 10^{-4} \Omega$.
- ✓ La diferencia de resistividad entre los dos ciclos de medida realizados en cada punto de registro debe ser inferior al 3%.
- ✓ La resistividad mínima y máxima aparente ha de estar entre 1 y 100 000 Ωm .

Para el procesamiento de la información recolectada se ha hecho uso de los algoritmos de inversión DCIP2D y OASIS MONTAJ.

La **Tabla 0**, muestra las coordenadas UTM (WGS84) que corresponden a los puntos extremos de las líneas eléctricas. Y en la figura 31, las líneas de tomografía eléctrica.

7.2.3.1 Ubicación y Adquisición de datos

Tabla 10: Coordenadas UTM, de las Líneas eléctricas (LE) realizadas en Torata

Línea Eléctrica	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Espaciamiento entre electrodos(m)	Longitud total (m)
LE01-TO	303629	8111183	2209	10	140
	303509	8111105	2193		
LE02-TO	304196	8111355	2233	10	140
	304062	8111315	2219		
LE03-TO	303812	8110788	2245	10	140
	303711	8110888	2210		

Figura 31: Líneas de Tomografía Eléctrica, ensayos realizados en Torata.

Líneas de Tomografía Eléctrica



Nota. En la figura se observa la realización de los ensayos de LE01, realizada en el sector la Banda, LE02, realizada en el sector, Cerro Blanco, LE03, en la calle Asociación 28 de Julio. Instituto Geofísico del Perú (IGP -2018).

7.3 Análisis e Interpretación y resultados de los Datos Geofísicos

En este estudio se ha realizado la aplicación de los siguientes métodos sísmicos y geofísicos: razones espectrales (H/V), arreglos sísmicos lineales (MASW) y métodos eléctricos (ERT). Todos tienen como principal objetivo conocer las propiedades físicas y dinámicas del subsuelo (periodos dominantes, velocidades sísmicas, resistividades del subsuelo, en la localidad de Torata.

7.3.1 Frecuencias predominantes

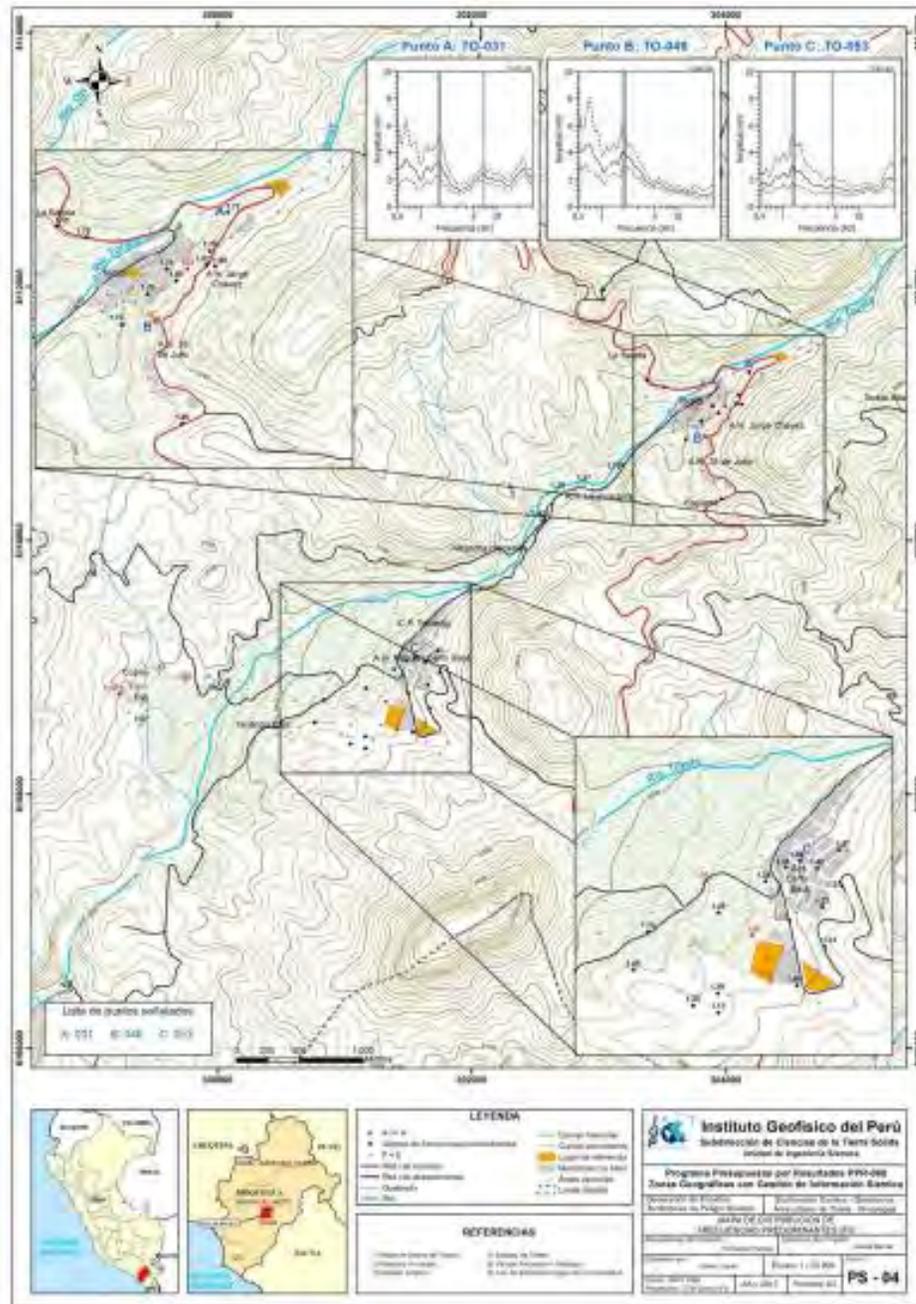
Esta información permite obtener espectros de Fourier para las tres componentes de registro de vibración ambiental obtenidos de manera puntual en 51 puntos, la relación espectral de la componente horizontal con la vertical permite conocer las frecuencias y/o periodos dominantes de vibración natural del suelo y en algunos casos, la amplificación sísmica relativa para cada punto.

- **Distribución de frecuencias predominantes:** A partir de los valores extraídos de las razones espectrales H/V, se obtiene mapas con la distribución espacial de los valores de frecuencias predominantes. Los resultados obtenidos de las razones espectrales H/V, permite definir dos rangos de frecuencias F0 ($F \leq 2.0$ Hz) y F1 ($F > 2.0$ Hz), en razón que en varios puntos de medición sobresalen un pico de frecuencia bien definido, y otro de menor amplitud con tendencia a valores mayores de frecuencia. A continuación, se describe y analiza la distribución espacial de las frecuencias predominantes identificadas en el área urbana de Torata.

7.3.1.1 Frecuencia predominante F0

En la **Figura 32**, se muestra el mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes, sobresaliendo en la margen derecha de la Plaza de Armas y el Mercado Municipal de la localidad de Torata, frecuencias entre 1.0 y 2.0 Hz., hacia la margen izquierda en el sector La Banda valores entre 1.5 y 1.7 Hz.

Figura 32: Mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes definidas en cada punto

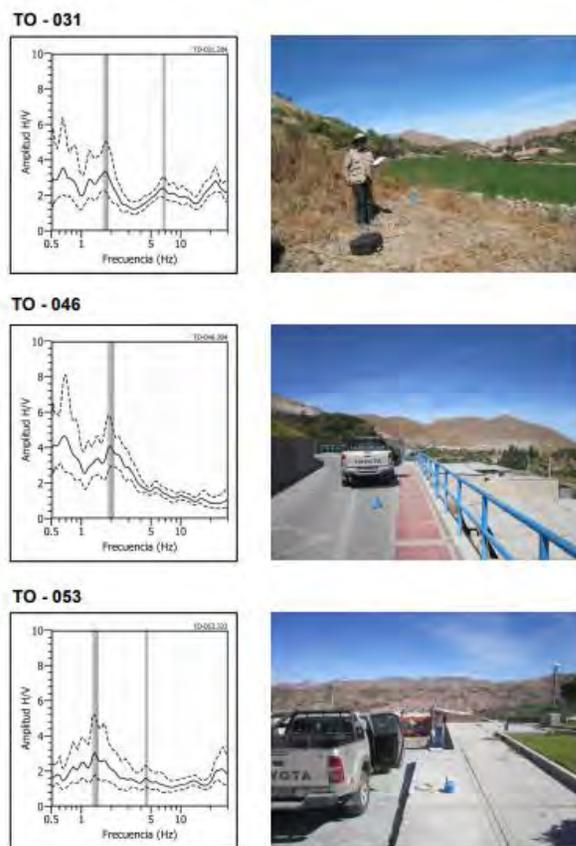


Nota. Las letras indican la ubicación de los gráficos que se están considerando.

Fuente: Instituto geofísico del Perú (IGP). 2018.

Los ejemplos de razones espectrales se muestran en la **Figura 32**, para los puntos TO-031 (A), TO-046 (B) ubicados en el sector de La Banda, El Mirador Turístico y en dirección N del Parque Recreacional de Yacango, donde predominan un pico bien definido a frecuencias de 1.8, 1.9 y 1.4 Hz. con amplificaciones de hasta 4 veces. Asimismo, sobresale un segundo pico, entre 4.0 y 7.0 Hz con mínimas amplificaciones y en algunos casos alcanza amplificaciones de hasta 3 veces como se observa en el punto TO-031.

Figura 33: Ejemplos de razones espectrales (H/V)



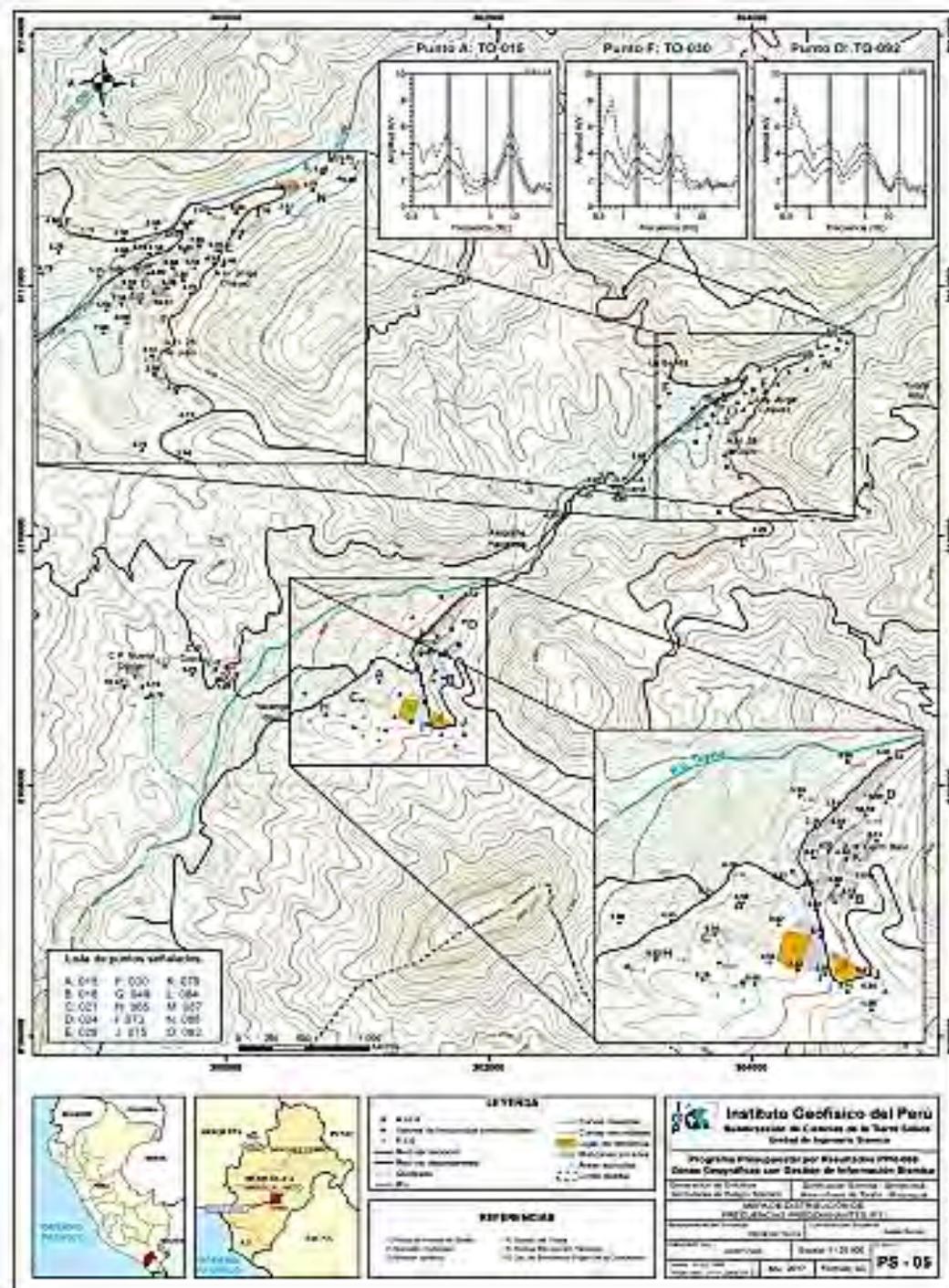
7.3.1.2 Frecuencia predominante F1

En la **Figura 34**, se muestra el mapa con la distribución espacial de las frecuencias predominantes, sobresaliendo en casi toda el área urbana de Torata - Yacango, F1 ($F > 2.0$ Hz). En la zona céntrica del área urbana de Torata y el sector La Banda se observan valores entre 2.0

y 9.0 Hz. hacia el sur del Mirador de Turístico se observan valores entre 2.0 y 6.0 Hz. y conforme se tiende hacia el extremo NE estos valores tienden a 4.0 y 5.0 Hz.

Las razones (H/V) obtenidos para los puntos TO-029 (E), TO-030 (F) y TO-092 (O), **Figura 35**, ubicados en el A.H. Jorge Chavez, en el sector La Banda y en la margen derecha de la Plaza de Armas de Torata, donde predominan frecuencias de 5.8, 4.0 y 5.2 Hz. con amplificaciones de hasta 4 veces, asimismo, sobresale un primer pico a frecuencias de 1.7, 1.5 y 1.8 Hz. con amplificaciones de hasta 4 veces y en el punto TO-092 sobresale un tercer pico a 13.6 Hz. alcanzando amplificaciones mínimas de hasta 2 veces como se observa en el punto TO-092, evidenciando la presencia de suelos relativamente heterogéneos. Este primer pico, desaparece, conforme se tiende hacia el extremo NE de la zona urbana de Torata, donde se ubican los puntos TO-084 (L), TO-087 (M) y TO-088 (N), que se distribuyen en la margen derecha de la Compañía de Bomberos Virgen de la Candelaria, donde predominan frecuencias de 4.5, 4.3 y 4.5 Hz. con amplificaciones de hasta 3.0 veces. Evidenciando la presencia de suelos relativamente compactos

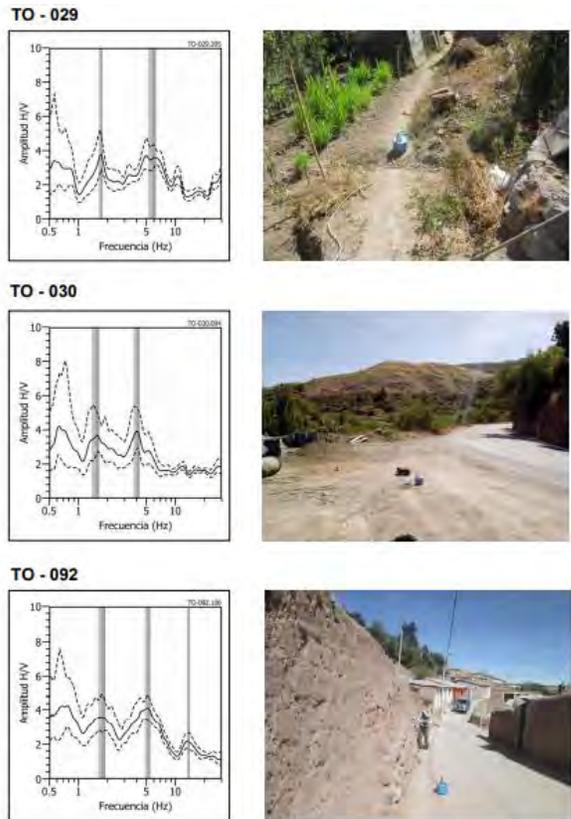
.Figura 34: Mapa del área de estudio con la distribución espacial de las frecuencias predominantes



Nota. Datos obtenidos del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Figura 35: Ejemplos de razones espectrales (H/V)

Ejemplos de razones espectrales (H/V)



Nota. Para los puntos TO-029 (E), TO030 (F) y TO-092 (O), ubicados en el A.H. Jorge Chávez, en el sector La Banda y en el centro de la ciudad de la margen derecha de la Plaza de Armas de Torata. Las líneas continuas representan la razón espectral y las discontinuas su desviación estándar. Las barras grises, definen la frecuencia predominante. (IGP-2018)

7.3.2 Perfiles de velocidad de ondas de corte Vs

El procesamiento permitió llegar desde profundidades mínimas de 2 y 5 metros a profundidades mayores de los 30 metros en cada línea sísmica. Posicionados: las LS01, LS02 y LS03 en el cercado de Torata.

Línea sísmica LS01-TO: Ubicado en el sector La Banda, próximo al cercado de Torata (Figura Indican la presencia de suelos conformados por dos capas: la primera, de 4 metros de espesor y velocidad Vs de 210 m/s, la segunda, con velocidad Vs de 315 m/s y con 9 metros de

espesor, ambos consideran suelos moderadamente rígidos. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 558$ m/s que sugiere suelo muy rígido o roca blanda.

Líneas sísmicas LS02-TO: Ubicados en la A.H. Jorge Chávez (LS02), Indican la presencia de suelos conformados por dos capas sísmicas: la primera de 4 a 9 metros de espesor y velocidades V_s entre 251 a 324 m/s sugieren suelos moderadamente rígidos.

Línea sísmica LS03-TO: Ubicado en el A.H. 28 de Julio (Cercado de Torata), Indican la presencia de suelos conformados por una capa de 11 metros de espesor y velocidad V_s de 301 m/s que sugiere suelo moderadamente rígido. La superficie de contacto con el semiespacio presenta velocidades $V_s > 955$ m/s que sugiere roca moderadamente dura.

En la Tabla 11, se resume los valores de velocidad de ondas de corte V_s para los distintos tipos de perfiles de suelo, según lo dispuesto en la Tabla 8 y en la **Figura 36**, se presenta los resultados de la línea sísmica LS01.

Finalmente, los resultados obtenidos definen 2 capas sísmicas y un semiespacio (Tabla 11). El análisis de los resultados según cada capa sísmica encontrado y su correlación geológica son descritos a continuación:

En el Cercado del distrito de Torata, se sugieren suelos moderadamente rígidos en superficie (V_s 210 a 315 m/s), siendo el mayor espesor en el sector La Banda y en el A.H. 28 de Julio (de 11 a 13 metros). Por debajo presenta suelos rígidos a muy rígidos en profundidad, las cuales se encuentran emplazados al norte del área urbana. Sin embargo, roca moderadamente dura es identificado por debajo de los suelos en el A.H. 28 de Julio.

Los suelos en superficie corresponderían a los aluviales que suprayacen a los depósitos de tobas volcánicas (en el A.H. Jorge Chávez) y a rocas volcánicas (en el A.H. 28 de Julio).

Cabe señalar que en los **Anexos 1**, se presenta el resultado para los ensayos LS02 y LS03.

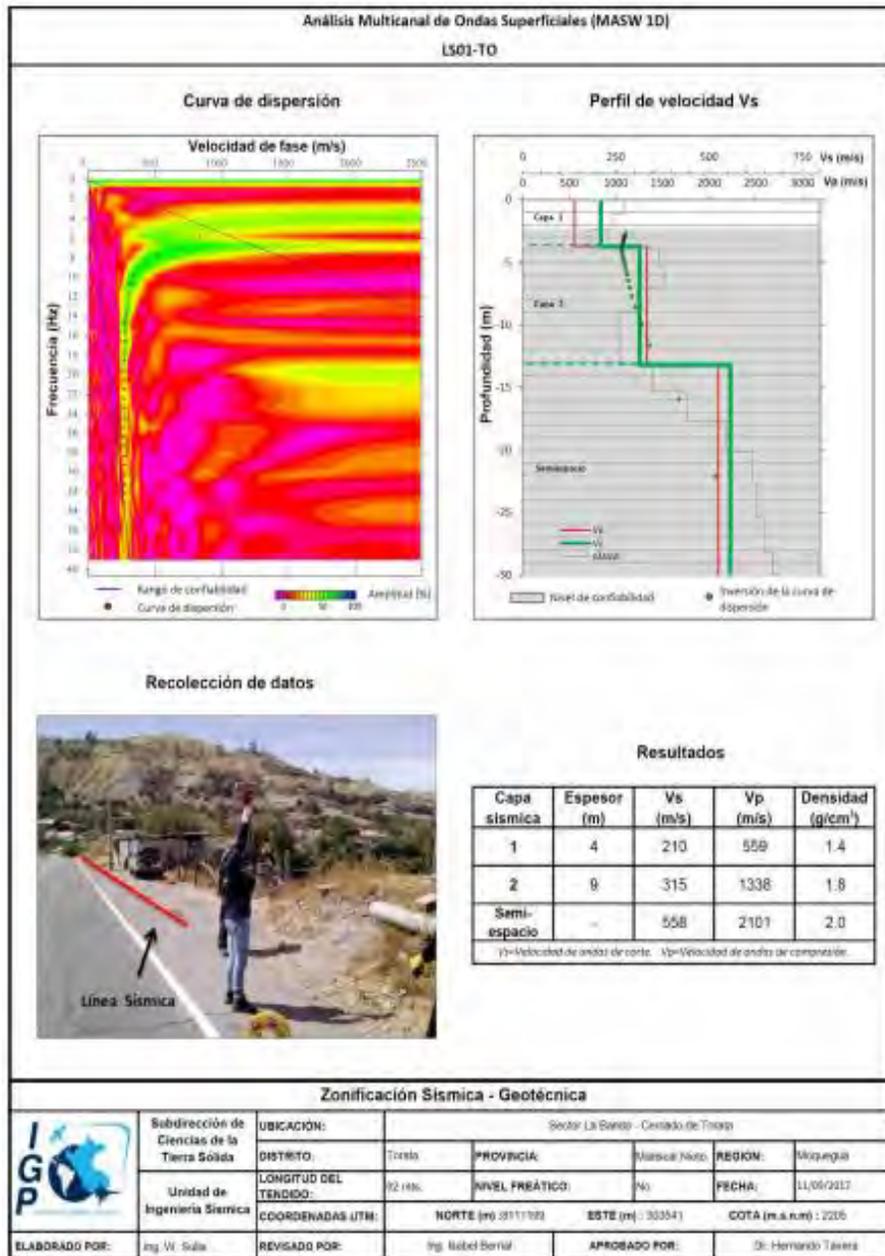
Tabla 11: Valores de Espesor y Vs de las Líneas Sísmicas Realizados en Torata

Línea Sísmica	Superficie → Profundidad						
	N° DE CAPA						VS30 (m/s)
	1		2		Semiespacio		
Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)	Vs (m/s)	Esp. (m)		
LS01-TO	210	4	315	9	558	-	377
LS02-TO	269	7	392	13	661	-	394
LS03-TO	301	11	955	-	-	-	514

	Suelo blando ($V_s < 180$ m/s)
	Suelo moderadamente rígido (180 – 350 m/s)
	Suelo rígido (350 – 500 m/s)
	Suelo muy rígido o roca blanda (500 – 800 m/s)
	Roca moderadamente duro (800 – 1500 m/s)
	Roca dura ($V_s > 1500$ m/s)

Nota. Los colores representan los diferentes tipos de suelos, desde suelos blandos hasta roca dura, por ejemplo, el color azul, representa roca dura, mientras que el rojo, suelo rígido. Fuente. Elaboración propia.

Figura 36: Resultados de la línea sísmica LS01, con el método MASW.



Nota. Fuente. IGP -2018.

7.3.3 Secciones de resistividad geoelectrica

A continuación, se describe los resultados obtenidos de las líneas de tomografía eléctrica realizados en el área urbana de Torata.

Las líneas eléctricas LE01-TO y LE03-TO ubicadas al oeste de la Plaza de Armas de Torata y próximo al Mirador Turístico paralela a la Calle Loreto, respectivamente, ver (**Mapa – 01-1**)

Ambas líneas fueron tomadas sobre terrenos de cultivo próximos al río Torata. En la línea LE01-TO, esta línea eléctrica, en mayor porcentaje presenta valores bajo a muy bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), lo que sugiere correspondería a material aluvial saturado constituido por gravas arcillosas.

La línea LE03-TO, presenta un horizonte geoelectricos, de material bajo resistivo a muy bajo resistivo, este horizonte se correlaciona a una mayor permeabilidad del depósito aluvial. Y en menor porcentaje se presentan valores medianamente resistivos (100 a $500 \Omega.m$) en forma aislada.

Resumiendo, estas líneas eléctricas presentan un menor porcentaje de valores medianamente resistivos ($>100 \Omega.m$), asociado a materiales con menor contenido de humedad, porosidad y permeabilidad como depósitos aluviales con presencia de gravas; mientras que, en mayor porcentaje se presentan valores bajo resistivos ($<100 \Omega.m$), tanto en superficie como en profundidad, siendo medios con mayor contenido de humedad, de mayor permeabilidad como arenas arcillosas, porosas pudiendo volverse un medio saturado.

En la línea LE02-TO, se definió que el primer horizonte geoelectrico es el que presenta valores medianamente resistivos a resistivos, asociados a las gravas, depositadas por el río Torata y bloques de rocas.

En la **Tabla 12**, se muestra la orientación, profundidad alcanzada en el estudio y la saturación del Medio. Cabe señalar que en los **Anexos 1**, se presenta el resultado para la línea LE01-TO, LE02 -TO. LE03 – TO. Y también el Mapa de Mapa - de Zonificación Sísmica Geotécnica del área urbana de Torata.

Tabla 12: Valores de resistividad obtenidos de las líneas eléctricas distrito de Torata

Línea Eléctrica	Orientación	Profundidad de alcance (m)	Horizontes geoelectrónicos	Profundidad del horizonte saturado (m)	Saturación
LE01-TO	NE-SW	39	Horiz. 1 (< 100 $\Omega.m$)		P
LE02-TO	NE-SW	39	Horiz. 1 (> 100 $\Omega.m$)		NP
			Horiz. 2 (40 - 80 $\Omega.m$)	15	P
LE03-TO	NW-SE	39			P

Nota. (P) Presente, (NP) No presenta, fuente: Elaboración propia. Fuente (IGP -2018).

7.3.3.4 Resultados de los ensayos geofísicos en Torata

De acuerdo a los datos analizados podemos decir que los medios saturados son los que predominan en el distrito de Torata, observándose en la mayoría de las líneas un medio saturado desde la superficie. Excepto en la zona Noreste de Torata y en el A. H. La Pascana.

La profundidad alcanzada en este método (39 metros) ha definido la presencia de medios saturados, el acuífero permeable saturado y en explotación, presentaría resistividades que varían de 40 a 82 Ohm.m, correspondiendo a clastos gruesos de buena permeabilidad, con espesores que fluctúan entre 23 y 47 metros (INRENA, 2004), teniendo coherencia con los resultados obtenidos en las líneas eléctricas.

la zona del Mirador Turístico de Torata se observan mayormente resistividades menores a 20 Ohm.m que muestran un incremento notable de material arcilloso y a mayor profundidad se corroboraría la impermeabilidad (con un incremento de la resistividad).

Geológicamente Torata, presenta depósitos aluviales permeables, que corresponderían a gravas, clastos subredondeados y angulosos en una matriz areno limosa asociados a flujos de barro y conos aluviales, semiconsolidados, teniendo la capacidad de almacenar agua subterránea. Además, existe la Formación Huacarané con tobas, lapilli, líticos volcánicos, lavas de composición andesítica siendo medios impermeables.

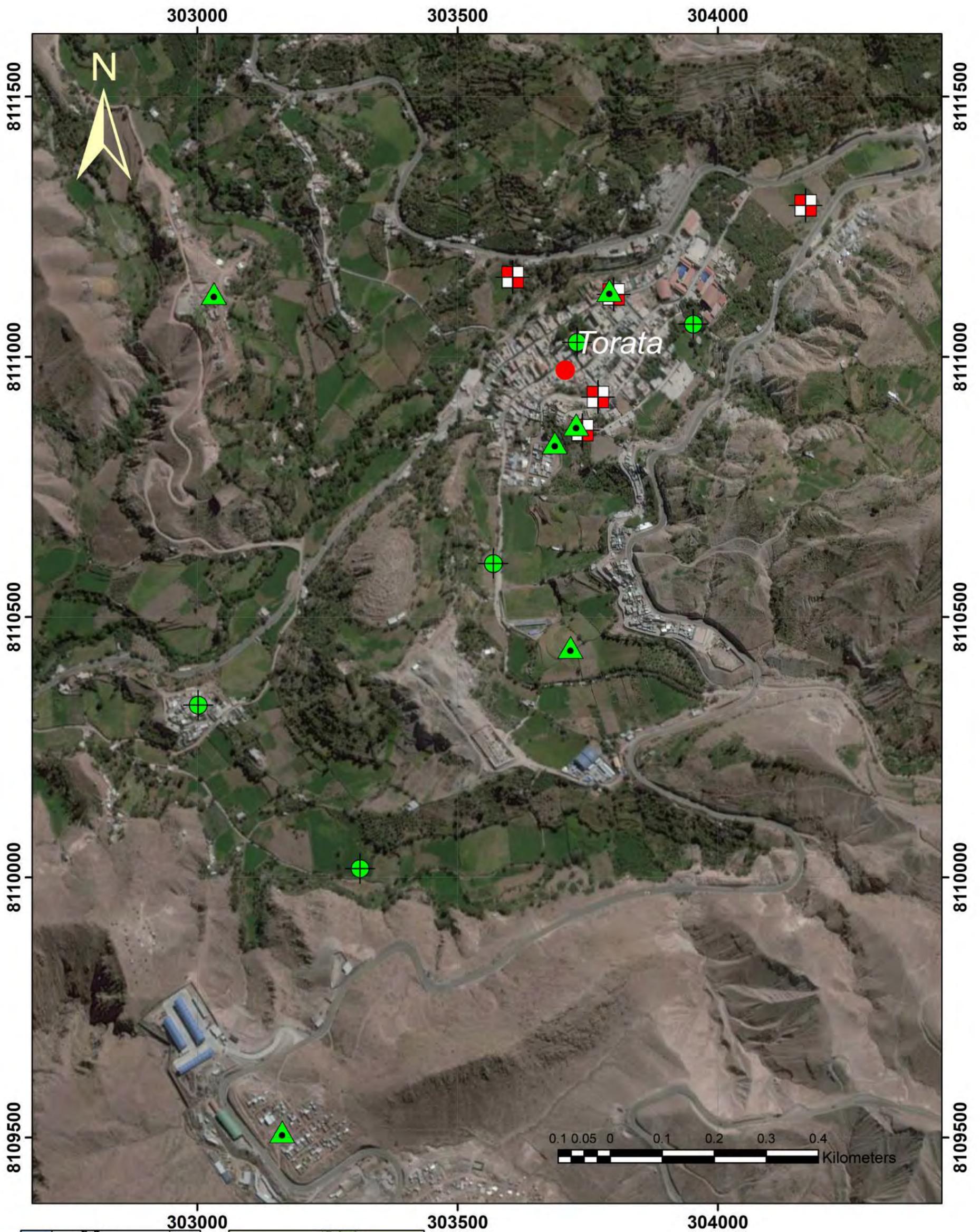
Finalmente, los resultados obtenidos indican que el nivel freático en el área urbana de Torata se presenta a partir de 5 metros de profundidad, esto se puede correlacionar con los estudios geofísicos realizados por INRENA (2004). La cuenca del río Torata los espesores del acuífero varían entre 7 a más de 39 metros.

Capítulo VIII Geotecnia

8.1 Aspectos Geotécnicos

En la ciudad de Torata, se realizó el estudio geotécnico que consistió en la elaboración de calicatas, densidad de campo, posteos y ensayos de penetración dinámica ligera (DPL), (**Mapa – 08- Exploraciones geotécnicas**).

Asimismo, de las calicatas se extrajeron ocho (05) muestras que fueron enviadas al laboratorio, con el fin de realizar ensayos de mecánica de suelos como: granulometría, plasticidad, corte directo y el cálculo de la capacidad de carga admisible, a continuación, se detallan los mismos:



Ensayos Geotecnicos

-  Dpl
-  Posteos
-  Calicatas

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA 		
EVALUACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCO MATTOS YALLICO	UBICACIÓN EXPLORACIONES GEOTECNICAS	
PLANO - 07	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM : WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2021	ESCALA 1:7500	

8.1.1 Exploraciones a cielo abierto (Calicatas, Norma ASTM D420)

Es un método de exploración directo que consiste en realizar una excavación en el terreno para la observación del suelo a cierta profundidad (aproximadamente 3.00 m.), a fin de describir los estratos que lo conforman, así como, extraer muestras para la realización de ensayos y análisis. Estas calicatas son realizadas con maquinaria (retroexcavadora) o de forma manual.

Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- Reconocimiento de la zona de estudio: Las exploraciones se ubicaron de tal manera que se distribuyan de forma uniforme en la ciudad de Torata, en base al análisis visual de las características del terreno, accesibilidad y lugares apropiados donde ubicarlas.
- Excavaciones: Estas tuvieron las siguientes dimensiones: 1.5 x 1.5 m. y aproximadamente 3.00 m. de profundidad en promedio.
- Muestreo: Proceso de extracción de dos muestras alteradas de suelo (para la identificación y la otra para determinar las propiedades de resistencia del suelo), en bolsas herméticas con capacidad de 5 kg aproximadamente.

8.1.1.2 Descripción de calicatas

Una vez terminada la excavación de la calicata, se procede a describir el perfil estratigráfico del subsuelo, **Figura 37**, para obtener las características geotécnicas del terreno, como el color de los horizontes, se describe el tipo de suelo que se observa ya sea un suelo arcilloso, limoso, de acuerdo a lo que observa, también se describe el tamaño de los clastos o el tamaño de las partículas de roca y su distribución para luego tomar apuntes en una libreta, la cual se pasaran al programa Excel para un formato más ordenado con todas las características tomadas en campo, para ello se han elaborado 05 fichas de descripción de calicatas, las mismas que se adjuntan en el **Anexo 2**.

Figura 37: Características Geotécnicas del terreno, Ficha de descripción de calicatas

PERU		Ministerio del Ambiente	Instituto Geofísico del Perú - IGP	Dirección Científica	Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida	Unidad de Geodinámica			
REGISTRO DE CALICATAS									
ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA		CALICATA: CAL - 05							
		UBICACIÓN: Calle Alfonso Ugarte							
		DISTRITO: Torata	PROVINCIA: Mariscal Nieto	REGIÓN: Moquegua					
		PROFUNDIDAD (m): 1.50	NIVEL FREÁTICO (m): No Presenta	FECHA: 22/06/2017					
		COORDENADAS UTM							
ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico		NORTE (m): 8110023	ESTE (m): 323770	CDTA (m.a.u.m.):					
		REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Fernando Tuesta						
(m)	PROF.	MUESTRA	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (g/cm ³)		GRANUCO	SUCS	FOTOGRAFÍA	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50		M-1	14.6	2.0	2.4				
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									
3.10									
3.20									
3.30									
3.40									
3.50									
3.60									
3.70									
3.80									
3.90									
4.00									
4.10									
4.20									
4.30									
4.40									
4.50									
4.60									
4.70									
4.80									
4.90									
5.00									
OBSERVACIONES: En el ensayo no se encontró nivel freático, sin embargo a los 5 metros al sur del ensayo se evidenció agua subterránea, en los alrededores de una construcción.									
REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL - 05									
									
La calicata se realizó en la calle Alfonso Ugarte, a 1.50 m. al surcorte de la plaza de Torata.					El material corresponde a grava arcillosa.				

Nota. Descripción del perfil del suelo, calicata N° 5, Sector la Banda. Fuente. (IGP -2018), elaboración propia.

8.1.1.3 Ensayo del Cono de Arena

Una vez realizadas las descripciones del perfil del terreno, se hará el ensayo de densidad in -situ o ensayo de cono de arena, Para obtener la densidad del terreno, primero, se ubica un punto dentro de la calicata de unos 20cm², donde procederá el ensayo, como primer paso se realiza un agujero, de unos 15cm de profundidad, de acuerdo al diámetro de una placa metálica con un círculo con norma estandarizada, luego se extraerá la muestra del suelo del agujero, que se llenara en una bolsa, para luego ser pesada, luego se invertirá el cono de arena convencional de unos 12,5mm de abertura cuyo interior esta relleno de arena de Ottawa, dejando caer la arena en el agujero previamente realizado . **Figura 38.**

Figura 38: Ensayo de Cono de Arena- in -situ -Proyecto Calicatas en Torata - Moquegua

Ensayo de Cono de Arena - in situ . proyecto Calicatas en Torata - Moquegua.



Nota. En las fotografías se observa la realización del ensayo del cono de arena, en la calicata - N° 1 en el Sector la Banda fuente: elaboración propia.

Una vez que el agujero y el cono están llenos, se determina el peso del recipiente, del cono y de la arena restante en el envase.

Como último paso se determinará la densidad húmeda del suelo dividiendo la muestra (masa húmeda) del material que fue extraído del orificio. El cual se hizo con un cucharón metálico, debiendo tener cuidado de no hacer caer en lo

posible nada de este material de muestra. Luego en el laboratorio de mecánica de suelos, utilizando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y volumen del orificio, se puede calcular el volumen del agujero excavado, la masa seca del material extraído y las densidades húmedas y secas “in situ” del suelo de las 5 calicatas realizadas en la localidad de Torata.

8.1.1.4 Ubicación de las Calicatas realizadas en Torata.

Las excavaciones realizadas se localizan en las siguientes coordenadas UTM, **Cuadro 1**.

Cuadro 1: Ubicación de los ensayos de calicatas

CALICATA	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO A (m)
CAL - 01	303602	8111153	2198	1.40	NP
CAL - 02	303800	8111120	2205	2.10	NP
CAL - 03	304169	8111291	2193	1.60	NP
CAL - 04	303740	8110859	2241	2.00	NP
CAL - 05	303770	8110923	2206	1.50	NP

Nota. Elaboración propia, 2017. Dónde: N.P. = No presenta

Cabe resaltar que, la profundidad de investigación promedio es de 3 m, pero en la ciudad de Torata, no se pudo usar maquinaria para excavar los suelos, debido a la dificultad de acceso, muchos lugares presentaban cercos altos que impedían el ingreso de la maquinaria, todos los ensayos se realizaron de forma manual. El personal que trabajo haciendo la excavación de las calicatas tuvo dificultad de llegar a profundidades mayores a los 2.10 metros, Foto 22, porque el suelo presentaba compactación alta, debido a encontrarse con suelo rocoso, con lo cual tuvieron dificultad para excavar en este tipo de suelos.

Foto 22: Calicata CAL-01, Ubicada en el Sector Denominado La Banda, Torata



8.1.2 Exploraciones con posteadora manual (Norma ASTM D1452)

Se define posteadora como un barrenador manual en forma de "T" que permite realizar sondeos exploratorios (perforaciones) en suelos blandos (arcillas y arenas) hasta una profundidad de 5 a 6 m, a fin de obtener muestras de suelo. Las muestras extraídas se obtienen trituradas y completamente alteradas, sin embargo, sirven para reconocer el tipo de suelo y contenido de humedad que presenta.

Se hace mención que, la posteadora presenta restricciones en suelos con presencia de gravas y gravillas (las cucharas sacan muestras se entrampan con este tipo de suelos).

Procedimiento

Con la posteadora se penetra el subsuelo desde la superficie de tal manera que, se gira manualmente el equipo ejerciendo presión sobre el suelo, a

medida que va incrementando la profundidad, se van conectando y añadiendo las varillas de 1 metro de extensión para la obtención de muestras con las cucharas acopladas en el extremo. Estas exploraciones fueron distribuidas entre las calicatas, lugares donde no existía información geotécnica, a fin de obtener mejor caracterización de los suelos de la ciudad de Torata, a continuación, se muestra los resultados obtenidos y ubicación en el cuadro 2.

Cuadro 2:Coordenadas UTM de ubicación de Posteos

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREATICO A (m)
Posteo 1	303730	8111028	2183	0.48	N. P
Posteo 2	303953	8111063	2234	0.60	N. P
Posteo 3	303559	8110603	2210	0.60	N:P
Posteo 4	303002	8110331	2161	0.40	N. P
Posteo 5	303313	8110017	2164	1	N. P

Nota. Donde N.P = No presenta dato. PPR –(IGP) (2018). Elaboración propia.

Se hace mención que, los suelos de la ciudad de Torata están conformados principalmente por estratos superficiales cementados bien compactados de gravas, por esta razón el equipo no ha penetrado a mayor profundidad, alcanzando un máximo de 0.70 m, los detalles del reconocimiento de suelo se adjuntan fichas de posteos las mismas que se presentan en el **Anexo 2**, de geotecnia.

Foto 23: Ensayo con posteadora manual en la Plaza principal de Torata.



Nota. El tipo de suelo identificado mediante el ensayo de posteo hasta los 0.50 m de profundidad, se encuentra representado por suelos arcillosos con gravas, >1mm, de diámetro de color marrón oscuro, principalmente.

8.1.3 Ensayos de penetración dinámica ligera (norma DIN 4094)

Es un equipo de campo de registro continuo (se contabiliza el número de golpes para penetrar un tramo de varillaje a lo largo de todo el ensayo), permite estimar la resistencia del material (suelo) en kg/cm^2 al hincado del cono dinámico. La ventaja del instrumento es que es un equipo muy práctico y se puede transportar fácilmente.

Consiste en introducir al suelo una varilla de acero en la que se encuentra una punta cónica de 60° , mediante la aplicación de golpes con un martillo de 10 kg, que se deja caer desde una altura de 0.50 m. Como medida de la resistencia a la penetración se registra el número "N" (número de golpes en 10 cm de penetración), información que luego se correlaciona con algunas propiedades relativas del suelo, en particular, con sus parámetros de resistencia al corte, capacidad portante, densidad relativa, etc. A través de fórmulas empíricas donde se introduce el "N" y se obtiene el ángulo de fricción interna de los distintos materiales.

Se hace mención que, este ensayo es aplicable en terrenos arenosos, arcillosos y limo arenoso, no recomendable a utilizarse en gravas, fragmentos gruesos, conglomerados y terrenos rocosos.

Procedimiento

El procedimiento de campo incluyó las siguientes actividades:

- Ubicación de ensayos: Se distribuyeron generalmente al costado y en puntos intermedios a algunas de las calicatas, a fin de obtener mayor información de la resistencia del suelo en el área estudiada.
- Ensamble de equipo: Consiste en conectar los accesorios del equipo, la punta cónica va al final de la varilla de penetración, esta se une a la guía que contiene el yunque, posteriormente se ajusta las uniones y finalmente se empieza a hincar el suelo con la caída libre del martillo (acción de la gravedad).
- Proceso de toma de datos: Se debe registrar el número de golpes por cada 10 cm que la varilla penetra el suelo; se sigue este procedimiento hasta que el suelo ofrezca resistencia (no exceder los 45 golpes de acuerdo a norma técnica).

En la **Cuadro 3**, se indica la ubicación de los 7 ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) realizados en las inmediaciones de Torata (**foto 24**), la profundidad mínima alcanzada es de 0.45 m, debido a que los estratos contienen gravas de distintos tamaños que varían , entre ½ milímetro las más pequeñas e incluso algunas mayores a los 10 cm. Posteriormente, estos valores se corrigen y correlacionaron, para obtener el N el SPT, que nos permitió calcular algunos parámetros geotécnicos como: ángulo de fricción y cohesión, para generalmente calcular la capacidad de carga admisible.

Cuadro 3: Ubicación de ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL)

PUNTO	UTM ESTE (m)	UTM NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREATICO A (m)
DPL-01	0303792	8111128	2191	1.28	N.P.
DPL-02	0303605	8111170	2181	0.59	N.P.
DPL-03	0303728	8110870	2215	2.5	N.P.
DPL-04	0303687	8110835	2200	3.50	N:P
DPL-05	0303717	8110442	2222	1.54	N.P.
DPL-06	0303163	8109511	2271	0.45	N.P.
DPL-07	0303032	8111122	2235	0.80	N.P.

Nota. En el gráfico se muestra las coordenadas UTM, donde se realizaron los ensayos de DPL Y las profundidades alcanzadas. Fuente. PPR -2018. (IGP) -2018. Elaboración propia.

Foto 24: Ensayo de penetración dinámica ligera en el parque de niños de Torata



Los ensayos de DPL han alcanzado una profundidad máxima de 3.50 m (DPL-4) y mínima de 0.45 m, ya que los suelos están conformados por gravas que presentan ángulos de fricción entre 38.5° y 40.5° en promedio, característico de suelos granulares de compacidad alta.

Los datos obtenidos de los ensayos se presentan en fichas de DPL, las mismas que se adjuntan en los anexos de geotecnia.

8.1.3.1 Correlación entre el "N" DPL y el "N" SPT (ASTM D1586)

El ensayo DPL no cuenta con correcciones normadas para la obtención del ángulo de fricción interna, es por ello que, los valores obtenidos del número de golpes del ensayo DPL (N_{DPL}) fueron correlacionados con el número de golpes del ensayo de penetración estándar (N_{SPT}), a fin de determinar el ángulo de fricción interna corregido y posteriormente, calcular la capacidad de carga admisible.

Entre los diversos métodos de correlación para el número de golpes del ensayo DPL y SPT, en base a las características del terreno (compacidad, resistencia y deformabilidad), se utilizó una fórmula empírica que relaciona los parámetros de los equipos DPL y SPT, tales como: peso del martillo, altura de caída del martillo, área de la punta cónica, el espesor de la hinca y los números de golpes obtenidos con el DPL, a continuación, se detalla dicha relación:

$$N_1 = N_2 \frac{W_1 * H_1 * A_2 * e_2}{W_2 * H_2 * A_1 * e_1}$$

Dónde:

N_1 = Número de golpes equivalente en SPT

N_2 = Número de golpes obtenidos en DPL

W_1 = Peso del martillo del DPL

W_2 = Peso del martillo SPT

H_1 = Altura de caída de DPL

H_2 = Altura de caída del SPT

A_1 = Área de la punta cónica del DPL

A_2 = Área de la punta cónica del SPT

e_1 = Espesor de la hinca del DPL

e_2 = Espesor de la hinca del SPT

Una vez calculado los valores de golpes con el SPT (N_{SPT}), se realizaron las siguientes correcciones por: nivel freático, eficiencia, longitud y diámetro, para así

obtener un nuevo valor de número de golpes por ensayo SPT (N'_{SPT}), con el cual se procede a estimar el ángulo de fricción interna de los suelos.

8.1.3.2 Cálculo del ángulo de fricción interna a partir del N_{SPT}

Para determinar el ángulo de fricción interna de los suelos de cimentación, existen diversas fórmulas empíricas propuestas por diversos autores, por mencionar algunos autores tenemos: Dunham, Osaki (1959), Muromachi (1974), Peck (1974), Das (1995) y Katanaka - Uchida (1996). Para el caso de la ciudad de Torata, se empleó la relación experimental propuesta por OSAKI (1959), debido a que, es la más usada internacionalmente y sus resultados son conservadores, **Cuadro 04 y Cuadro 05.**

Cuadro 4: Cálculo del ángulo de fricción interna, usando valores de N_{SPT}

ENSAYO	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})	N_{SPT} CORREGIDO	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (ϕ'_{NSPT})
DPL-01	12.82	31.10	-	-
DPL-02	-	-	-	-
DPL-03	8.47	28.0	13.79	31.6
DPL-04	3.63	23.5	4.11	24.1
DPL-05	9.44	28.7	15.73	32.7
DPL-06	-	-	-	-
DPL-07	-	-	-	-
PROFUNDIDAD DEL ENSAYO	1.00 – 1.20 m		1.30 – 1.50 m	

Nota. La tabla muestra los valores del ángulo de fricción interna para las distintas profundidades. (IGP -2018).
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5: Compacidad relativa y ángulo de fricción interna en los suelos en base al (NSPT)

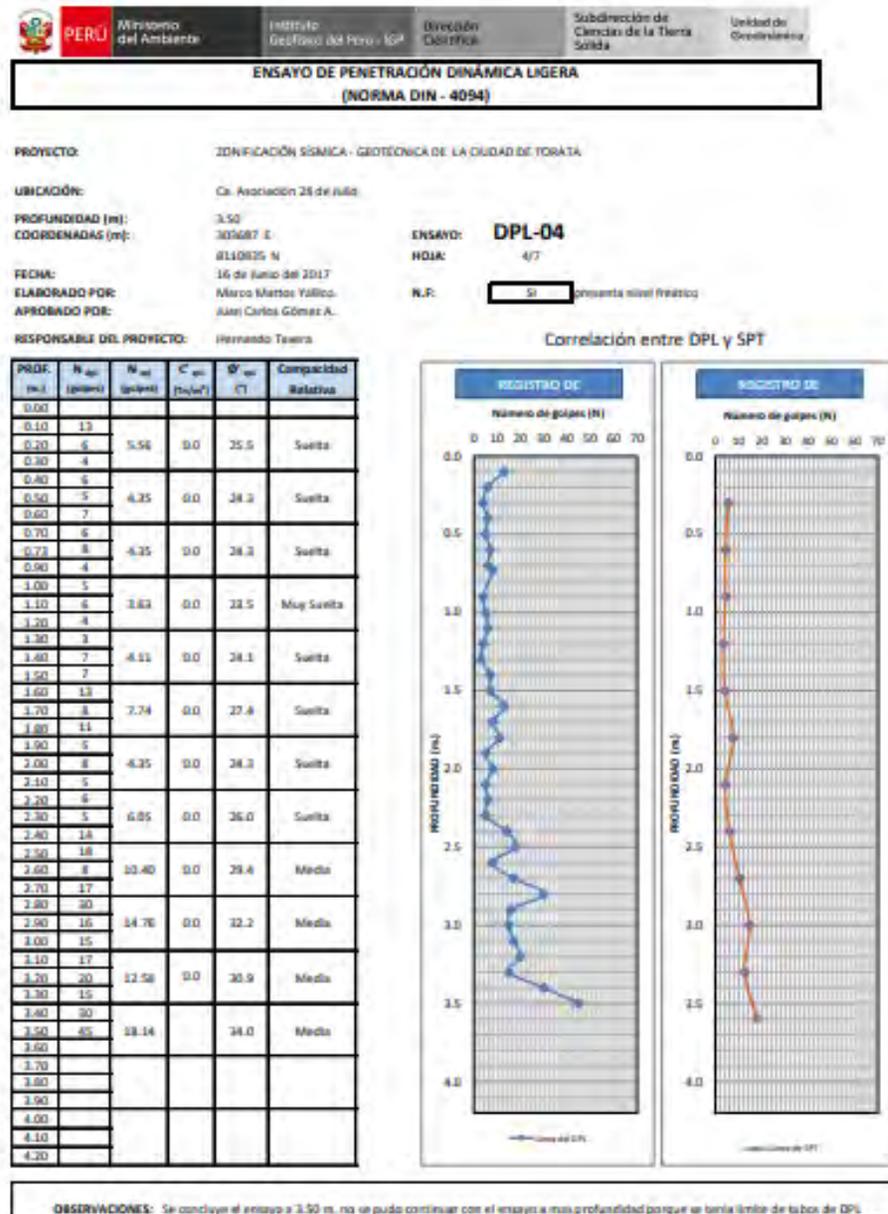
COMPACIDAD RELATIVA DE SUELOS GRANULARES			CONSISTENCIA EN SUELOS COHESIVOS		
VALOR DE N _{SPT}	COMPACIDAD RELATIVA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Φ	VALOR DE N _{SPT}	CONSISTENCIA	ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Φ
0 – 4	Muy Suelta	>28°	<2	Muy blanda	0°
4 – 10	Suelta	28° - 30°	2 – 4	Blanda	0° - 2°
10 – 30	Media	30° - 36°	4 – 8	Media	2° - 4°
30 – 50	Compacta	36° - 41°	8 – 15	Compacta	4° - 6°
>50	Muy Compacta	>41°	15 – 30	Muy Compacta	6° - 12°
			>30	Dura	>14°

Nota. Adaptado de Crespo V. (2004)

De acuerdo a los datos de la tabla 13 y la Tabla 14, los suelos de la ciudad de Torata, en su mayoría son granulares (arenas y gravas), el valor del ángulo de fricción interna en profundidades comprendidas entre 1.00 y 1.20 m, los suelos presentan compacidad media. Mientras que, a profundidades de 1.30 y 1.50 m, la compacidad relativa del suelo varía de media (de 36° a 30.1°).

Finalmente, se adjunta en los anexos del presente estudio, las fichas y resumen de cada uno de los ensayos realizados en campo y sus respectivos valores de ángulos de fricción interna, **Figura 39.**

Figura 39: Diagrama de correlación entre el DPL y el número de golpes del SPT, y cálculo del ángulo de fricción interna corregido



Nota. En la figura se observa la correlación entre el DPL (línea azul) y el SPT, (línea roja).

8.2 Suelos Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) en la ciudad de Torata

En base a la información geotécnica recopilada de las calicatas, Posteos, DPL y la inspección visual del terreno en la ciudad de Torata, y los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos (Fichas granulométricas) **Anexos 3** y de plasticidad realizados en el laboratorio de suelos de JCL Consultores S.A.C y en el IGP, **en el cuadro**, se ha identificado 03 tipos de suelo, los mismos que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S); **Plano P -09 y Cuadro 06**.

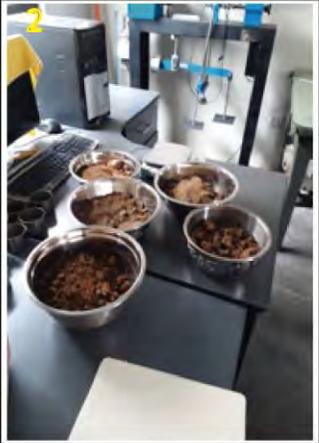
Cuadro 6: Clasificación de Suelos (SUCS) de las cinco (05) calicatas elaboradas en la ciudad de Torata

CALICATAS	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	GRAVAS % (>4.76 mm)	ARENAS % (>0.074 mm, <4.76 mm)	FINOS % (<0.074 mm)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	Clasificación (SUCS)	Denominación
CAL-01	1.4	N.P.	22.9	43.8	33.4	53.5	32.7	20.8	14.1	SC	Arena arcillosa con grava
CAL-02	2.1	N.P.	56.2	37.4	6.43	N.P.	N.P.	N.P.	5.4	GP	Grava mal graduada
CAL-03	1.6	N.P.	18.2	81.1	0.67	45.5	25.5	20	7.3	GC	Grava arcillosa, con arena
CAL-04	2	N.P.	24.2	55.1	20.65	N.P.	N.P.	N.P.	5.19	SM	Arena limosa
CAL-05	1.5	N.P.	40	39.9	20.12	50.3	28.5	21.8	5.12	GP-GC	Grava con arena y arcilla

Nota. Fuente: JCL, IGP-2018, Elaboración propia, Dónde: N.P. = No presenta.

Figura 40: Realización de los ensayos de granulometría en el laboratorio de mecánica de Suelos (IGP).

Ensayo Granulometrico



- 1.-Cuartear las muestras.
- 2.-Se pesan y se anotan como pesos iniciales de aprox, 1kg, a > 1kgde suelo.
- 3.-Como siguiente paso, se procede al Lavado de las partículas finas menor a 0.075 mm (malla N° 200) en una pileta

Tamizado

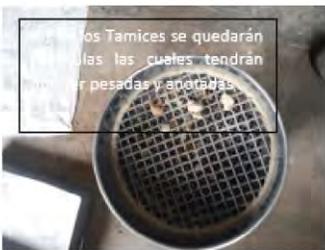
El proceso de Tamizado consistió en pasar las muestras extraídas del horno previamente aireadas y frías después de ser retiradas del horno, el ensayo consistió en armas las mallas en el orden:
76,2 mm (3"), 50,8 mm (2"), 37,5 mm (1½"), 25,4 mm (1"), 19,05 mm (¾"), 9,5 mm (3/4"), 9,525" (3/8"), 4,75 mm (N° 4), 2,00 mm (N° 10), 0,825 mm (N° 20), 0,425 mm (N° 40), 0,250 mm (N° 60), 0,15 mm (N° 100) y 0,075 mm (N° 200). Fondo < a Tamiz N° 200



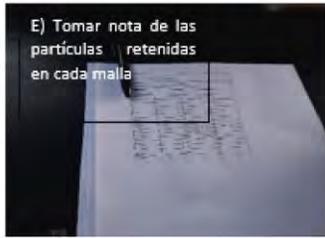
A) Ubicar los tamices redondos en el orden establecido y poner la muestra seca por los tamices



B) Zorandear el material Uniformemente durante un tiempo de modo que las partículas se establezcan o difieren en las mallas



C) Los Tamices se quedarán en las mallas las cuales tendrán que ser pesadas y anotadas.



E) Tomar nota de las partículas retenidas en cada malla

Realización de los ensayos de granulometría en el laboratorio de mecánica de Suelos (IGP).

*Nota. En la figura se aprecia el procedimiento de los ensayos de granulometría
Fuente. Elaboración propia.*

- Suelos tipo GC

Están conformados por mezclas mal graduadas de arcilla y arena con contenido de gravas y gravillas angulosas a subangulosas, el contenido de humedad es menor a 5%, constituyen suelos con grado de compactación media a alta, presentan plasticidad y se han identificado en las calicatas, CAL-02, CAL-03, CAL-04, CAL-05, que se ubican en los sectores: Parque de niños de Torata, La Rayan, Asociación 28 de Julio, y Calle Alfonso Ugarte.

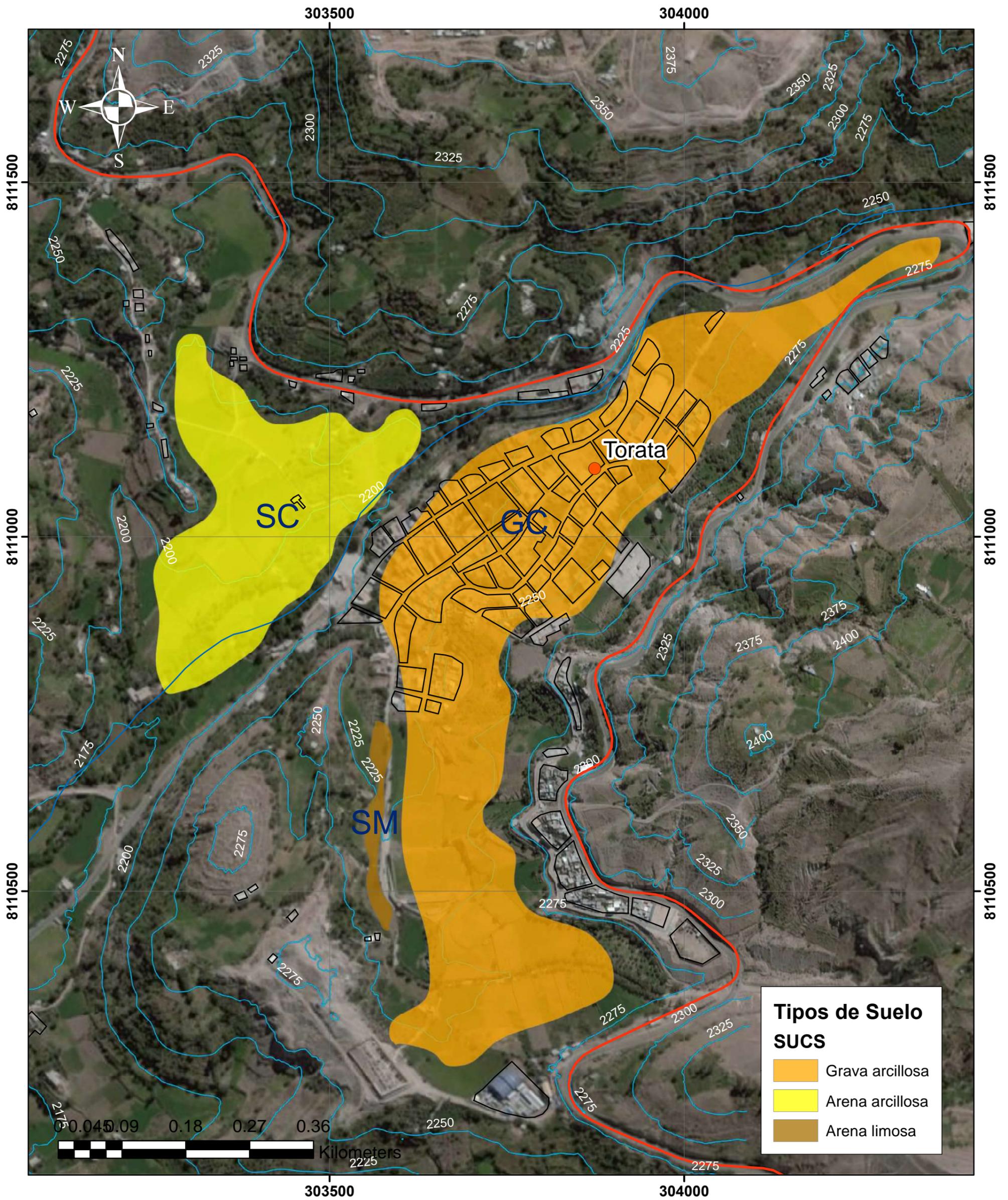
- Suelos tipo SC

Este tipo de suelo están conformado por arenas y arcillas mal graduadas contienen gravas y gravillas angulosas a subangulosas, constituyen suelos con grado de compactación media, y han sido identificados en las calicatas, CaL-01, ubicado en el sector La Banda.

- Suelos SM

Estos suelos están conformados por mezclas de arena, limo de grano fino y grava, presentan grado de compactación media, el contenido de humedad es menor al 5%, y presentan una coloración beige, este tipo de suelos se reconocieron en el sector de la calle Torata, a 163 metros al norte del estadio de Torata, es muy importante mencionar que este tipo de suelo, se ha identificado con los ensayos Posteos realizado en la zona de estudio.

Finalmente se realizó un mapa de suelos de Torata. con los diferentes tipos de suelo identificados los mismos, que han sido agrupados haciendo uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), (**Mapa- 09-Mapa de Suelos**), a **Escala 1:6500**.



Tipos de Suelo SUCS

- Grava arcillosa
- Arena arcillosa
- Arena limosa

Simbología

- Torata
- ~ Río Torata
- Red vial nacional
- ~ Curvas_de_nivel_indice2
- + Torata Zonas Urbanas



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUZCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLÓGICA		
EVALUACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANCLÁSTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA		
DIBUJO: MARCOS MATTOS YALLICO		MAPA DE SUELOS CLASIFICACIÓN S.U.C.S.
MAPA - 09	REGIÓN: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM : WGS 84 PRYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2023	ESCALA 1:6500	

8.3 Análisis de Estabilidad de Taludes (Factor de Seguridad en los Taludes del “Cerro Cruz del Siglo Torata)

8.3.1 Perfiles geológicos geotécnicos

Con el fin de hacer un análisis de la estabilidad de Taludes y el cálculo de factor de seguridad en las laderas nor-este del “Cerro Cruz del Siglo” se dibujó tres líneas, o secciones de las laderas (perfil1,perfil2,perfil3). Los perfiles se realizaron en el programa Autodesk Civil 3D. Aplicación (AutoCad 2017) donde se desarrollo el (Aligment) o alineamiento,para despues sacar los perfiles geológicos en las coordenadas UTM descritas en la **Figura 41**.

Figura 41: Ubicación de los perfiles en el cerro “Cruz del Siglo”



Nota. En la figura se lee, las coordenadas para los 3,perfiles .

Por otra parte en gabinete se elaboró dicho análisis haciendo uso del Software de cómputo geomecánico Slide 6.1, cabe señalar que para la representación de los materiales o suelos de cimentación geotécnicamente hablando, se utilizó un bosquejo o gráfico **Figura 42**, elaborado en los trabajos de evaluación y mapeo en el “Cerro Cruz del siglo” en la localidad de Torata - Moquegua delimitando los materiales de distinta composición, que se utilizó para realizar los perfiles geológicos o (Cross sections) utilizando dicho software.

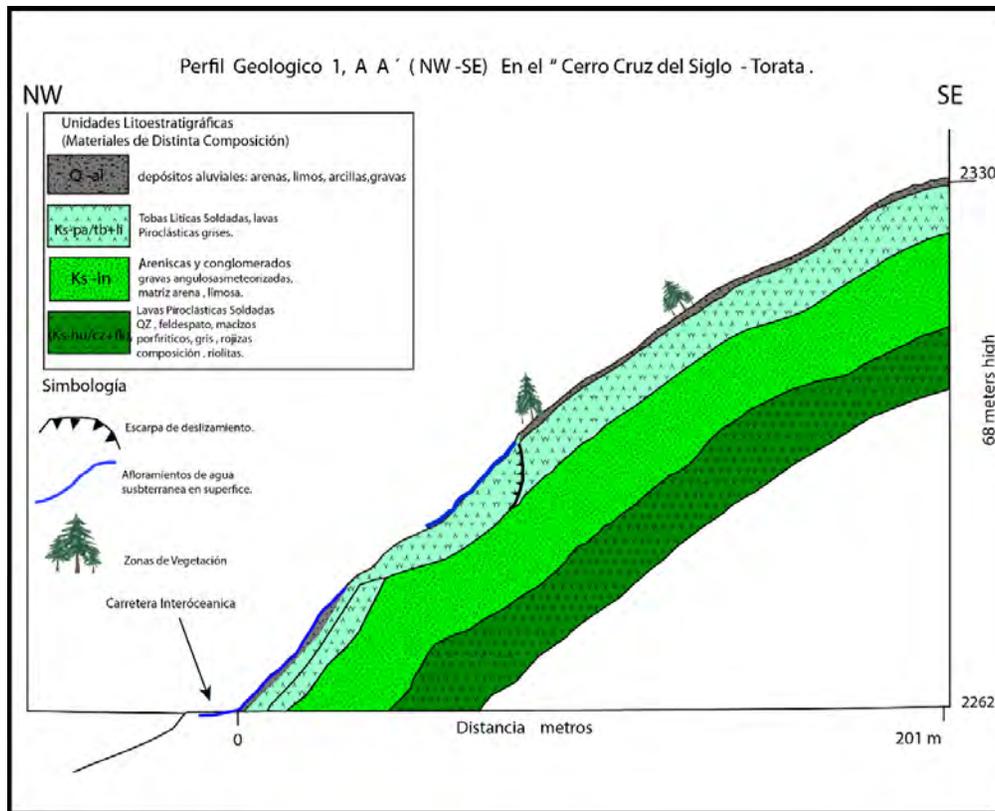
En esta sección se dibujaron cuatro unidades litológicas, que son las capas, horizontes o estratos, (strata), siendo el primer estrato superficial, materiales finos, conformados por arenas, arcillas, limos y gravas. Se presentan secos, delezables y se consideran porosos, el espesor fue inferido, de acuerdo a los trabajos de campo, con un espesor aproximado de, 1 a 2 metros.

La segunda unidad geológica, conformada por, materiales granulares, esta conformada por gravas mal graduadas, bloques de roca dispersos de la Fm, Paralaque, altamente meteorizadas entre ellas, (tobas liticas soldadas y lavas piroclásticas), en una matriz limo,arenosa, se presentan como materiales semicompactos a delezables, los clastos de esta unidad han sido generados por tobas soldadas líticas. El espesor promedio de esta unidad es de 5 metros.

La tercera unidad geológica está conformada por materiales del tipo, areniscas y conglomerados, gravas, arenas y limos, entre granulares y cohesivos se presentan secos, sin humedad aparente, delezables al contacto con una picota. El espesor promedio inferido de esta unidad podría ser mayor a los 5 metros, aproximadamente.

La cuarta unidad está conformada por el basamento rocoso, por lavas piroclásticas soldadas y macizos porfíricos, (rocas riolitas), compactas, el espesor de esta unidad se infiere que podría tener más de 20 metros.

Figura 42: Perfil geológico 2, elaborado con los datos de campo de las laderas del cerro "Cruz del Siglo"



Nota. Donde se aprecia la línea azul; infiltraciones de agua subterránea, así como la escarpa de deslizamiento, y la vegetación. Fuente: Elaboración propia.

8.3.2 Análisis de Estabilidad de Taludes

Con el software o programa SLIDE 6.1, que tiene por finalidad calcular el factor de seguridad, o coeficiente de seguridad (que es la relación entre la resistencia al corte disponible del terreno y la necesaria para mantener el equilibrio) y el posible plano de falla de los taludes.

El programa antes mencionado tiene por finalidad calcular el factor de seguridad o coeficiente de seguridad (relación entre la resistencia al corte disponible del terreno y la necesaria para mantener el equilibrio) y el posible plano de falla de los taludes. Para obtener el cálculo del factor de seguridad (F_s), en las laderas del "Cerro Cruz del Siglo" se introdujo los datos al programa, tanto el perfil del talud (Cross

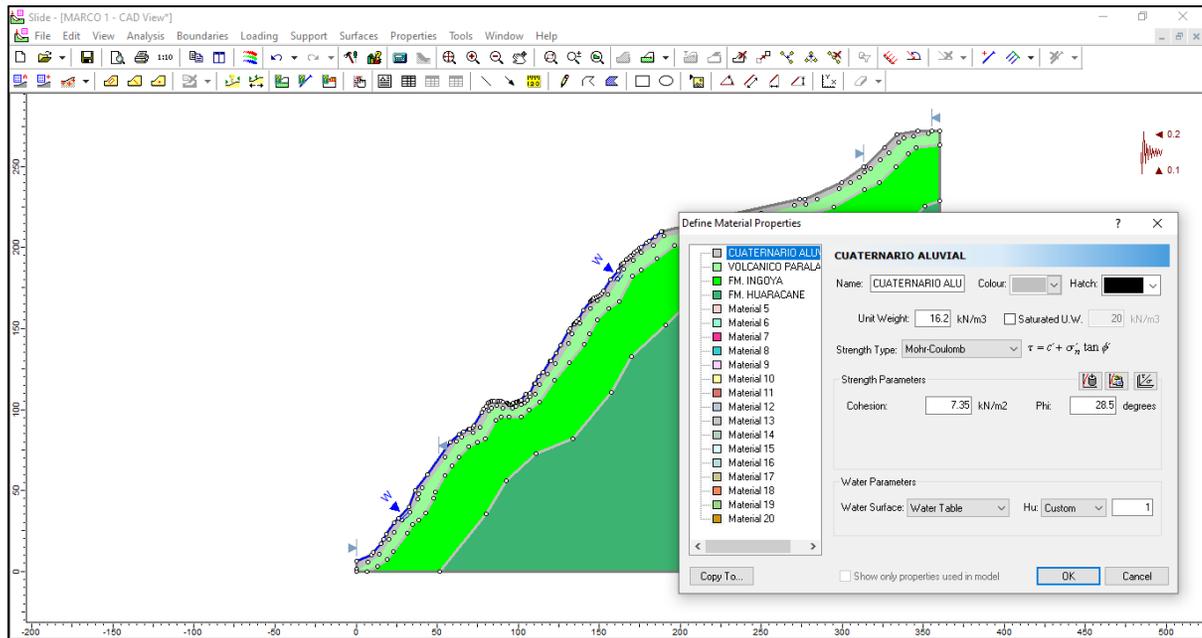
section) ,elaborado anteriormente y los parámetros geotécnicos de las unidades geológicas identificadas en el Cerro “Cruz del Siglo” de Torata. **Tabla 13**, entre ellos La densidad seca, ángulo de fricción interna y la cohesión aparente del suelos, obtenidos de tablas internacionales como, (NAVFAC, 1971). Así como también el nivel de agua superficial, (infiltraciones de agua) o (wáter table) o las infiltraciones de agua sobre la superficie de las unidades litológicas. Y *carga sísmica (seismic load)* **Figura 43.**

Tabla 13: Parámetros geotécnicos de unidades geológicas identificadas en las laderas del cerro Cruz del Siglo –Torata.

Unidad Geológica	Clasificación S.U.C.S	Ángulo de fricción Interna del Suelo (°)	Cohesión aparente del Suelo (kg/cm ²)	Densidad Seca Promedio(gr/cm ³)
materiales finos	SM	28.50°	0.075 (7.35 KN/m ²)	1.650 (16.2 KN/m ³)
materiales granulares	GP,GM,GP - GM	30.90°	0.030 (2.94 KN/m ²)	1.470 (14.4 KN/m ³)
materiales granulares	SP -SM /SP - SC	34°	50.31kN/m ²	23.00kN/m ³
Basamento rocoso	Roca	30°	203.94 (20000 KN/m ²)	2.60 (26.5 KN/m ³)

Nota. (*) Valores teóricos obtenidos de tablas internacionales. Fuente. Elaboración propia.

Figura 43: Ventana del Programa Slide 6.1

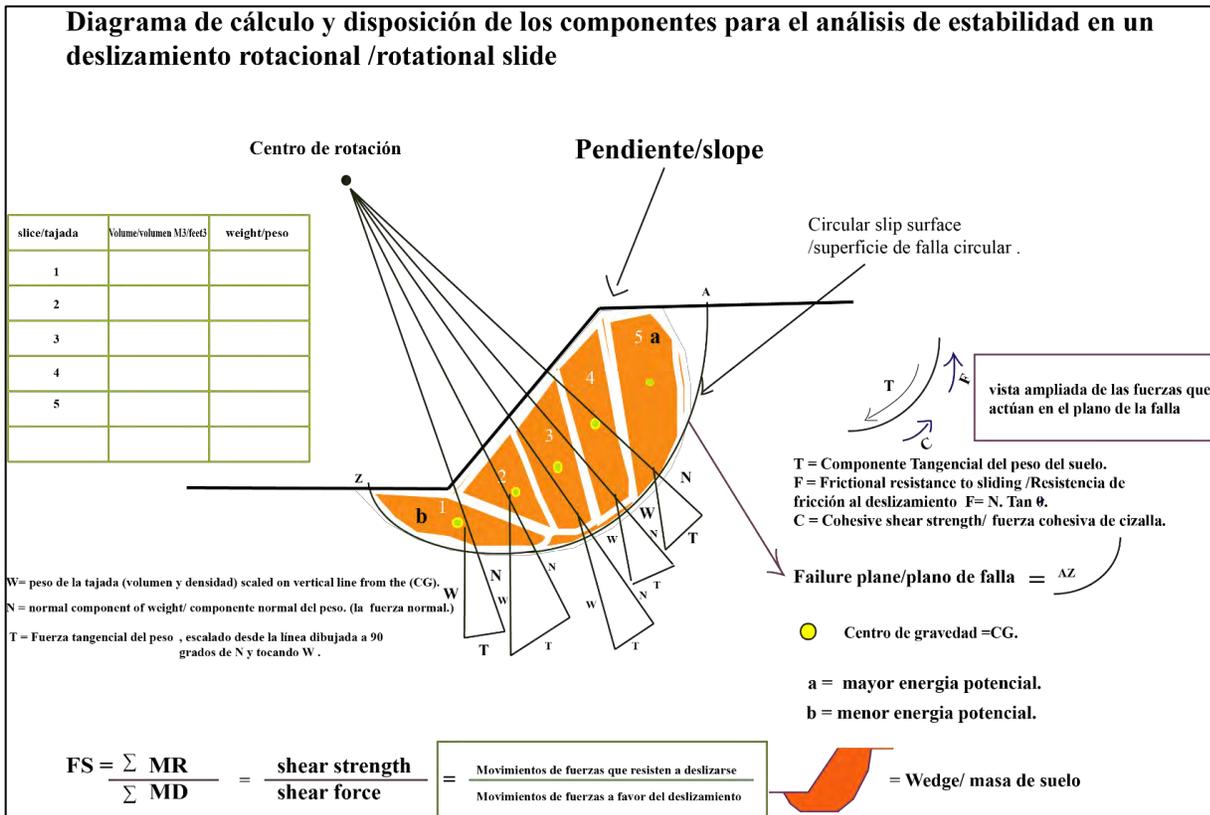


Nota. Donde se observan la introducción de la data (parámetros geotécnicos ya establecidos), así como también, el nivel de agua en superficie y la carga sísmica (seismic load).

8.3.3 Principio del Análisis

Para evaluar los taludes en el cerro Cruz del Siglo, se utilizó el método de rebanadas (Method of slices), o de equilibrio límite, donde se asume una superficie de deslizamiento circular, dentro de este método se utilizó el método de Bishop simplificado. Donde los taludes son evaluados a través de un análisis bidimensional, (Equilibrio Límite), donde las fuerzas actuantes son iguales, a lo largo de un plano de falla. **Figura 44.**

Figura 44: Diagrama de Cálculo Estabilidad de Talud. Deslizamiento Rotacional



Nota. Elaboración propia.

8.3.4 Condiciones del Análisis

El análisis se desarrolló en condiciones estáticas, y pseudoestáticas, para el primero se realizó el análisis en condiciones normales, y para el segundo caso se consideró la influencia de un evento sísmico donde en el plano horizontal, interviene una fuerza sísmica en la componente x, o plano horizontal.

8.3.5 Factor de Seguridad

Como resultado del análisis de estabilidad de Taludes, se obtendrá los valores del factor de seguridad (FS), para los taludes en el cerro Cruz del Siglo, donde se consideró los intervalos de la tabla 14.

Tabla 14: Intervalos Para la Clasificación de la Estabilidad

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

Nota. Dr: Alva Hurtado .U.N.I .

8.3.6 Resultados del Análisis

El cálculo del factor de seguridad se obtuvo de la sección geológica A A', ubicada en las laderas del cerro Cruz del Siglo, donde los resultados se muestran en las imágenes **A -1, B - 2, Anexos**, así mismo en la **tabla 15**, se muestran los resultados.

Tabla 15: Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes

Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes

<i>Sección Geológica Geotécnica/ Perfil</i>	<i>Factor de Seguridad</i>	
	<i>Estático</i>	<i>Pseudoestático</i>
<i>Sección A A'</i>	1.052	0.289

Nota. Elaboración propia.

Los resultados de factor de seguridad nos dicen que las laderas del Cerro “Cruz del siglo”, en condiciones estáticas se encuentran en grado de estabilidad inestable con valores de 1.052, (FS), mientras que en condiciones pseudoestáticas, el valor disminuye en las laderas del cerro Cruz del siglo, donde las infiltraciones de agua y las aceleraciones sísmicas, desencadenarían deslizamientos mayores a los actuales y activos que existen el día de hoy, con un valor de 0.289, en condiciones pseudoestáticas, lo que nos quiere decir que en caso de un sismo la carretera interoceánica y las zonas urbanas unos metros más abajo estarían en peligro inminente, por los movimientos en masa como, deslizamientos caída de rocas y flujos de detritos.

Capítulo IX.- Evaluación de las zonas susceptibles a deslizamientos en el cerro “Cruz del siglo con la metodología AHP

9.1 Materiales y métodos

La susceptibilidad a los deslizamientos es la probabilidad de que se produzca un desprendimiento en una zona en función de las condiciones locales del terreno (Brabb, 1984). Predice "dónde" es probable que se produzcan desprendimientos (Guzzetti et al., 2005).

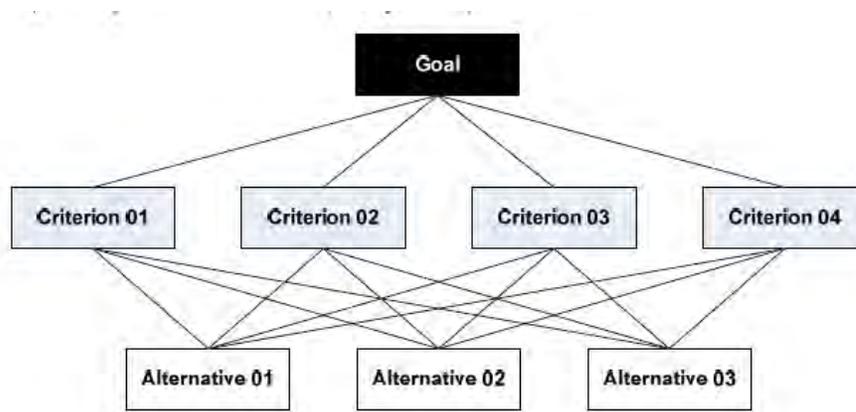
En el enfoque heurístico, los investigadores clasifican y ponderan los factores de inestabilidad conocidos en función de su supuesta o esperada importancia como causantes de desprendimientos (Hansen, 1984; Hansen et al., 1995).

La evaluación de la susceptibilidad en el “Cerro Cruz del Siglo” en Torata se halló mediante el método propuesto por Thomas L. Saaty (1970), Analytic Hierarchy Process (AHP), el cual es un método para organizar y analizar complejas decisiones.

Se construyó una jerarquía lógica, luego se procedió a realizar una comparación sistemática de las alternativas, donde se hace la comparación por pares en cada una de los criterios, para el caso de la evaluación de las zonas susceptibles a deslizamientos en el cerro “Cruz del Siglo Torata” se tomaron los siguientes criterios tanto para los factores condicionantes como desencadenantes.

La aplicación del AHP comienza con la descomposición de un problema en una jerarquía de criterios para que sea más fácil analizarlo y compararlo de forma independiente **Figura 45.**

Figura 45: Ejemplo de jerarquía de criterios/objetivos, Fuente: Vargas, R. V. (2010).



Nota. En la figura se aprecia la utilización del proceso de jerarquía analítica (AHP).

9.1.1 Data o Información

En la **figura 46**, se presentan los diferentes tipos de datos que se utilizaron en el presente estudio, los mapas geológicos se utilizaron para definir y representar las unidades lito estratigráficas, los registros de precipitaciones del SENAMHI, para estimar la precipitación media anual para los periodos 2015 -2020, los mapas topográficos para el análisis de la topografía y el drenaje. Las imágenes LandSat 8, se utilizaron para analizar la cobertura del suelo y el índice de vegetación. Con las imágenes ALOSPARSAL, FBS; obtenidas de la (NASA) con resolución de 12.5 m se hizo una interpolación espacial Kriging para generar un MDE.

Se crearon varios mapas espaciales derivados del MDE como el ángulo de inclinación, (Slope Map). El análisis de los datos geoespaciales se realizó utilizando el software ArcGIS (10.7.1).

Figura 46:Conjunto de Datos, utilizados para hallar la susceptibilidad de los deslizamientos

Conjunto de Datos, utilizados para hallar la susceptibilidad de los deslizamientos

Cuadro 1 : Conjunto de Datos			
Data	Datos Características	Fecha de adquisición/ Fecha de creación	Uso
Mapas geológicos	Mapa Geológico del cuadrángulo de Moquegua, Instituto Nacional Minero Metalurgico INGEMMET Escala 1:50000, Geología por William Martinez V y Andrés Zuloaga G.	Version Digital 2000	Formaciones Geológicas y Fallas
Mapas topográficos	Se obtuvo a partir de un levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Torata, que abarcó un área de 657 ha (sector urbano).	2017	Topografía (Curvas de nivel) MDE, Drenaje
Datos meteorológicos	SENAMHI - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú . estación meteorológica "YACANGO - 000852"	2015-2020	Clima y Precipitación , Distribución de las lluvias
Landsat 8	IMAGEN Landsat 5\LC08_L1TP_002072_20210126_20210127_01_RT.tar.gz	2017	Cobertura del suelo/ Normalizado Diferencia Vegetación Índice de vegetación
Alos palsar	DEM, AP_27030_FBS_F6840_RT1.dem.tif. Extraído de las imágenes satelitales ALOSPARSAL, FBS; obtenidas de la (NASA) con resolución de 12.5 m	2018	Mapa de Pendientes, Mapa de Elevaciones , MDE , Curvas de nivel a 12,5 m de Resolución
Orthophoto maps / o Imágenes Ortofotos	Levantamiento fotogramétrico realizado en la ciudad de Torata, que abarcó un área de 657 ha (sector urbano).	2017	Representación digital del relieve

Nota. Elaboración propia.

9.2 Determinación de la susceptibilidad a movimientos en masa y los niveles de Peligro en el sector de “Cerro Cruz del Siglo”

Para la determinar la susceptibilidad, en particular a deslizamientos en el cerro “Cruz del Siglo” se han determinado los factores condicionantes y desencadenantes, dado que la estimación de los niveles de peligro se da en función del elemento geodinámico y el análisis de las zonas susceptibles.

9.2.1 Movimientos en masa

Para evaluar la susceptibilidad, se necesita determinar los factores condicionantes y desencadenantes del evento en este caso, deslizamientos. Finalmente, para determinar los niveles de peligro se realiza la sumatoria del evento y la susceptibilidad.

9.2.2 Parámetros de evaluación del evento

Para la caracterización de los movimientos en masa (deslizamientos) en las inmediaciones del sector “Cerro Cruz del Siglo” de la localidad de Torata, se ha determinado conveniente usar como parámetro de evaluación las áreas de materiales como: suelos y rocas inestables, para lo cual dicho parámetro se dividió en descriptores que califican y cuantifican las características del evento. **Cuadro 07.**

A continuación, se describe el procedimiento para hallar el índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC).

Paso 1. Teniendo los parámetros de evaluación tanto para los factores desencadenantes y condicionantes, se procede realizar un cuadro para cada uno de estos. Luego se procede a hacer las comparaciones en la matriz de decisión con cada uno de los criterios, uno a uno dándole valores de importancia y también de acuerdo a la estricta percepción de la realidad y la escala fundamental del (AHP) **Tabla 19.** Con el propósito de obtener prioridades en cada criterio o jerarquía.

Tabla 16: Escala Fundamental del Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

VALOR	DEFINICION
1	Igual Influencia
2	Débil Influencia
3	Influencia Moderada
4	Entre Moderado o Fuerte Influencia
5	Fuerte Influencia
6	Entre Fuerte a muy Fuerte Influencia
7	Influencia muy Fuerte
8	Entre muy Fuerte y Extrema Influencia
9	Influencia Extrema o Absoluta

Nota. Los valores de influencia, van desde valores de 1 a 9. Fuente. Elaboración propia.

Cuadro 7: Comparaciones en La Matriz de Decisión con los Criterios, en este caso.

Volúmenes inestables de Suelo y Roca.

Área de Materiales Inestables	> 20000 m ³	15000 - 20000 m ³	10000 - 15000 m ³	5000 - 10000 m ³	< 5000m ³	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
> 20000 m ³	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.504	50.28
15000 - 20000 m ³	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	0.185	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02
10000 - 15000 m ³	0.2	0.33	1.00	3.00	5.00	0.112	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44
5000 - 10000 m ³	0.14	0.2	0.33	1.00	3.00	0.079	0.04	0.03	0.06	0.12	0.067	6.78
< 5000m ³	0.11	0.14	0.2	0.33	1.00	0.062	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48
Suma	1.78	4.67	9.53	16.33	25.00	1.000	1.00	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04							

Paso 2. Se halla el vector Ponderado

Hallar el Vector suma Ponderado					Vector Suma Ponderada
0.504	0.780	0.672	0.472	0.311	2.739
0.166	0.260	0.403	0.337	0.242	1.409
0.101	0.086	0.134	0.202	0.173	0.696
0.070	0.052	0.044	0.067	0.104	0.338
0.055	0.036	0.027	0.022	0.035	0.176

Paso 03. Se halla el λ máx. Se determina al dividir los valores del Vector Suma Ponderada y el vector de priorización.

	5.4401
	5.4162
	5.1830
	5.0111
	5.0738
suma	26.1242
Promedio	5.2248

Paso 4. Se Halla, el índice de Consistencia

IC =Índice De Consistencia	$\frac{5.2248 - 5}{4}$
----------------------------	------------------------

IC= 0.056

Paso 5. Finalmente se determina la relación de Consistencia =RC usando los valores del (IA). Tabla 20

Con la formula.

RC	$\frac{IC}{IA}$
----	-----------------

Tabla 17: Valores del Índice Aleatorio (IA) para los diferentes "n"

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Nota. obtenidos mediante la simulación de 100 mil matrices Fuente: (Aguaron y Moreno – Jimenes, (2001).

Obteniendo la RC= Relación de consistencia, con un valor de 0.050.

RC = 0.050

9.2.3 Determinación de la susceptibilidad

Para determinar la susceptibilidad se deben de evaluar tanto los factores condicionantes y desencadenantes, a fin de sumar sus valores resultantes. Se hace mención que, los pesos ponderados para ambos son de 0.5

$$\sum_{i=1}^n \text{Factor}_i \times \text{Descriptor}_i = \text{Valor}$$

- Factores desencadenantes:

Entre los factores desencadenantes (triggering factors) que originan movimientos en masa y podrían desencadenar eventos peores como lo son los movimientos en masa entre ellos: deslizamientos caída de rocas, flujo de detritos en el cerro "Cruz del Siglo" se encuentran a) precipitaciones, b) los sismos, al ubicarse en zona altamente sísmica, c) infiltraciones de agua tanto por riego como aguas subterráneas. Cabe señalar que, al momento de realizar los trabajos de campo, las ondas que producen las explosiones de la mina a cielo abierto Cuajone, ubicada a 5km al sur este aproximadamente, llegan a sentirse con leve intensidad en la localidad de Torata y por lo tanto en la zona de estudio, por el contrario, no se tomó este evento, como factor desencadenante por falta de información.

A) Precipitaciones

Para la evaluación de este parámetro se han tomado datos referenciales de la web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Información obtenida de la estación meteorológica más cercana: Estación meteorológica "YACANGO - 000852", que se encuentra ubicada a 3.29 Km al sur-oeste de la localidad de Torata. **Cuadro 08.**

Cuadro 8: Precipitaciones Mensuales acumuladas en el periodo 2015 -2020

Cuadro N° 05 Precipitaciones Mensuales acumuladas en el periodo 2015 -2017												
PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA	> A 200 mm	200 -150 mm	150 -100 mm	100 -50 mm	< 50 mm	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
> A 200 mm	1.00	3.00	4.00	7.00	9.00	0.55	0.63	0.4662	0.45662	0.375	0.49	49
200 -150 mm	0.33	1.00	3.00	4.00	7.00	0.180	0.21	0.3497	0.26093	0.2917	0.259	25.9
150 - 100 mm	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00	0.137	0.07	0.1166	0.19569	0.1667	0.137	13.7
100 - 50 mm	0.14	0.25	0.33	1.00	3.00	0.077	0.05	0.0385	0.06523	0.125	0.072	7.2
< 50 mm	0.11	0.14	0.25	0.33	1.00	0.060	0.03	0.0291	0.02153	0.0417	0.036	3.6
Suma	1.83	4.72	8.58	15.33	24.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.55	0.21	0.12	0.07	0.04							

Se hace mención que, el índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro precipitaciones es el siguiente:

IC= 0.046
RC=0.041

B) Sismos

Para la evaluación de este parámetro se utilizó el Artículo científico o Paper- Re Evaluación del Peligro Sísmico Probabilístico para el Perú, IGP (2014). Se utilizaron los datos de las aceleraciones máximas o a las máximas horizontales del suelo o PGA para periodos de retorno de 500 años por departamento para las capitales del Perú, obtenidos con el algoritmo “CRISIS-2007”. **Cuadro 09.**

Cuadro 9: Aceleraciones Máximas (PGA) en Gals para el Departamento de Moquegua.

Cuadro N° 07: Aceleraciones Máximas (PGA) en gals para Moquegua . Con un periodo de retorno de 500 años												
Aceleraciones Máximas (PGA) en gals para Moquegua . Con un periodo de retorno de 500 años	420	400	380	360	340	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
420	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	0.44	0.48	0.44	0.38	0.33	0.414	41.4
400	0.5	1.00	2.00	3.00	4.00	0.219	0.24	0.29	0.29	0.27	0.261	26.1
380	0.33	0.5	1.00	2.00	3.00	0.145	0.12	0.15	0.19	0.20	0.160	16
360	0.25	0.33	0.5	1.00	2.00	0.110	0.08	0.07	0.10	0.13	0.098	9.8
340	0.2	0.25	0.33	0.5	1.00	0.088	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6.2
Suma	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07							

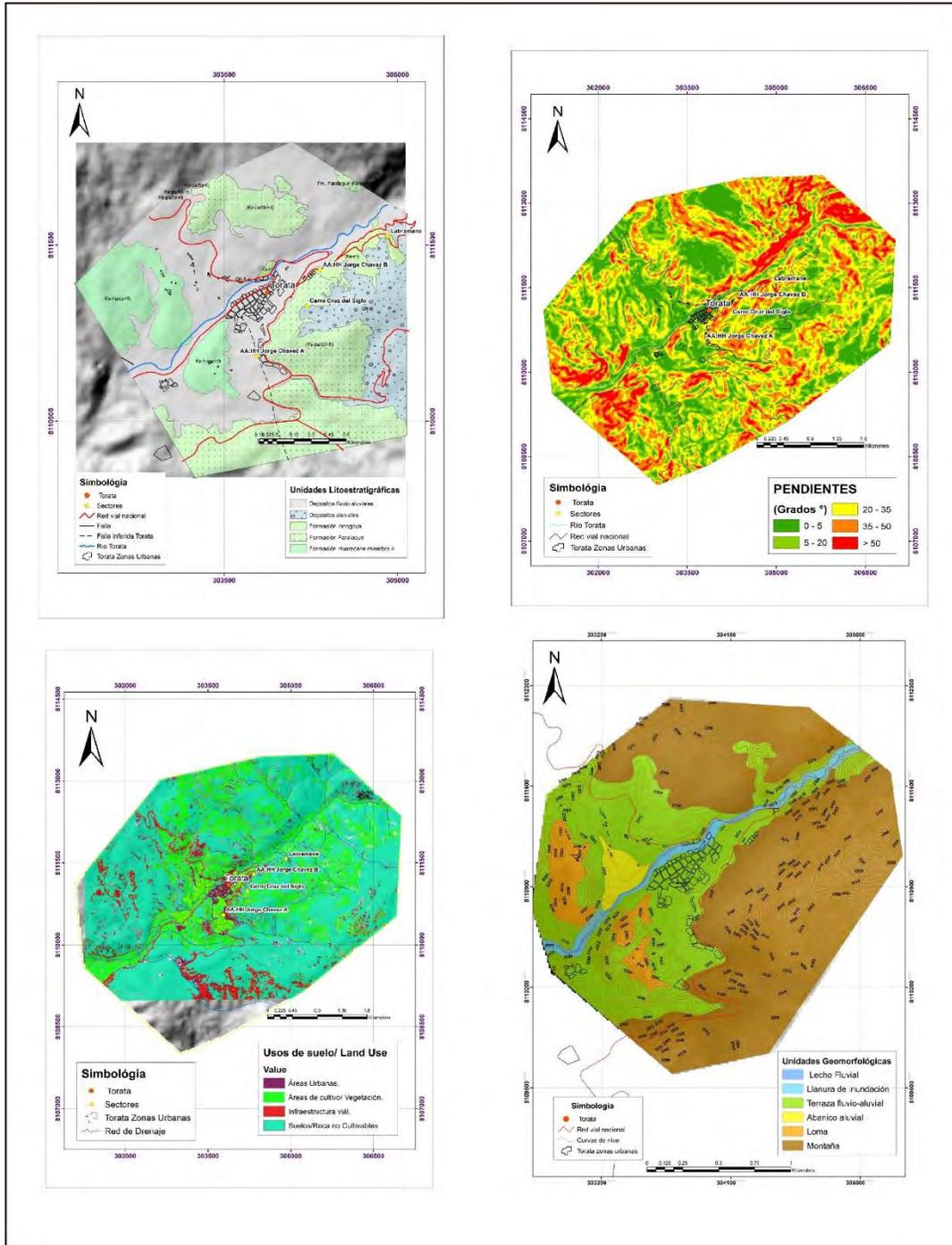
Se hace mención que, el índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para el parámetro, aceleraciones máximas (PGA) en gals, para Moquegua es el siguiente:

IC= 0.015
RC= 0.013

- Factores condicionantes:

Está relacionado a todas aquellas características físicas que se cartografían en un área geográfica determinada, entre las coberturas temáticas consideradas para la evaluación de los factores condicionantes se ha incluido la geología, pendientes del terreno, geomorfología y tipos de suelo. **Figura 47.**

Figura 47: Factores Condicionantes, Geología y Pendientes del Terreno.



A continuación, se detalla el mismo en el **cuadro 10**.

Cuadro 10: Ponderación de los Factores Condicionantes

Cuadro N° 06 Ponderación de los factores Condicionantes											
Factores Condicionantes	Geología	Pendientes	Geomorfología	Usos de Suelo/cobertura vegetal	Matriz de Normalización				Vector de Priorización	%	
Geología	1.00	3.00	7.00	9.00	0.633	0.671	0.618	0.4500	0.593	59.3	
Pendientes	0.33	1.00	3.00	7.00	0.209	0.224	0.265	0.3500	0.262	26.2	
Geomorfología	0.14	0.33	1.00	3.00	0.089	0.074	0.088	0.1500	0.100	10	
Usos de Suelo/cobertura vegetal	0.11	0.14	0.33	1.00	0.070	0.031	0.029	0.0500	0.045	4.5	
Suma	1.58	4.47	11.33	20.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100	
1/Suma	0.633	0.224	0.088	0.05							

Nota. El índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para los factores condicionantes es el siguiente:

$$IC = 0.027$$

$$RC = 0.030$$

A continuación, se detallarán cada uno de los factores condicionantes con sus respectivos parámetros y descriptores, **Tablas 11, 12, 13, 14**.

Cuadro 11: Ponderación del Parámetro Condicionante de Geología

Cuadro N° 07: Ponderación del parámetro condicionante de Geología												
Unidades Litológicas	Formación Paralaque	Formación Inogoya	Formación Huaracane miembro -4	Depósitos aluviales	Depósitos Fluvio - aluviales	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
Formación Paralaque	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00	0.53	0.63	0.47	0.42	0.33	0.476	47.6
Formación Inogoya	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00	0.176	0.21	0.35	0.28	0.29	0.260	26
Formación Huaracane miembro -4	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00	0.133	0.07	0.12	0.21	0.19	0.144	14.4
Depósitos aluviales	0.16	0.25	0.33	1.00	3.00	0.085	0.05	0.04	0.07	0.14	0.078	7.8
Depósitos Fluvio - aluviales	0.14	0.16	0.25	0.33	1.00	0.074	0.03	0.03	0.02	0.05	0.042	4.2
Suma	1.88	4.74	8.58	14.33	21.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.53	0.21	0.12	0.07	0.05							

El índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para los factores condicionantes es el siguiente:

$$IC = 0.058$$

$$RC = 0.052$$

Cuadro 12: Ponderación del Parámetro Condicionante de Pendiente del Terreno

Cuadro N° 07: Ponderación del parámetro condicionante Pendiente del Terreno

Unidades Litológicas	> 50°	35° - 50°	20° - 35°	5° - 20°	< 5°	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
> 50°	1.00	2.00	5.00	7.00	9.00	0.51	0.52	0.57	0.45	0.38	0.487	48.7
35° - 50°	0.5	1.00	2.00	5.00	7.00	0.256	0.26	0.23	0.32	0.29	0.272	27.2
20° - 35°	0.20	0.5	1.00	2.00	5.00	0.103	0.13	0.11	0.13	0.21	0.137	13.7
5° - 20°	0.14	0.2	0.5	1.00	2.00	0.072	0.05	0.06	0.06	0.08	0.066	6.6
< 5°	0.11	0.14	0.2	0.5	1.00	0.056	0.04	0.02	0.03	0.04	0.038	3.8
Suma	1.95	3.84	8.70	15.50	24.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.51	0.26	0.11	0.06	0.04							

El índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para los factores condicionantes es el siguiente:

IC= 0.019
RC= 0.016

Cuadro 13: Ponderación del Parámetro Condicionante de Geomorfología

Cuadro N° 07: Ponderación del parámetro condicionante Geomorfología

Unidades Geomorfológicas	Ladera de Montaña	Loma/hill	Abanico aluvial/Fluvial fan	Terraza aluvial/river terrace	Lecho fluvial /river bed	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
Ladera de Montaña	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00	0.46	0.52	0.44	0.43	0.39	0.449	44.9
Loma/hill	0.5	1.00	2.00	3.00	5.00	0.230	0.26	0.29	0.26	0.28	0.264	26.4
Abanico aluvial/Fluvial fan	0.33	0.5	1.00	2.00	3.00	0.152	0.13	0.15	0.17	0.17	0.154	15.4
Terraza aluvial/river terrace	0.2	0.33	0.5	1.00	2.00	0.092	0.09	0.07	0.09	0.11	0.090	9
Lecho fluvial /river bed	0.14	0.2	0.33	0.5	1.00	0.065	0.05	0.05	0.04	0.06	0.053	5.3
Suma	2.17	4.03	6.83	11.50	18.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.01	100
1/Suma	0.46	0.26	0.15	0.09	0.06							

El índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para los factores condicionantes es el siguiente:

IC= 0.01775
RC =0.015

Cuadro 14: Ponderación del Parámetro Condicionante Usos de Suelo y/o Cobertura Vegetal

Cuadro N° 07: Usos de Suelo/ Cobertura Vegetal												
Usos de Suelo/Cobertura Vegetal	Suelos y Roca Sin vegetación	Hidrografía / Rio y drenajes	Áreas Urbanas	Infraestructura Vial	Áreas de cultivo y/o Vegetación	Matriz de Normalización					Vector de Priorización	%
Suelos y Roca Sin vegetación	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00	0.56	0.63	0.52	0.43	0.36	0.501	
Hidrografía / Rio y drenajes	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00	0.185	0.21	0.31	0.31	0.28	0.259	
Áreas Urbanas	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	0.112	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	
Infraestructura Vial	0.14	0.2	0.33	1.00	3.00	0.079	0.04	0.03	0.06	0.12	0.067	
Áreas de cultivo y/o Vegetación	0.11	0.14	0.2	0.33	1.00	0.062	0.03	0.02	0.02	0.04	0.034	
Suma	1.78	4.67	9.53	16.33	25.00	1.000	1.0	1.000	1.000	1.000	1.00	100
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04							

El índice de consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) obtenido del Proceso de Análisis Jerárquico para los factores condicionantes es el siguiente:

$$IC = 0.056$$

$$RC = 0.050$$

9.2.4 Calculo del Valor Factor Condicionantes y Calculo del Valor Factor desencadenantes.

Para la determinación de los niveles de susceptibilidad por deslizamientos, primero se debe obtener los valores de: Valor Factor Condicionantes (VFC) y Valor factor Desencadenantes (VFD). El cual se obtiene, sumando el resultado de la multiplicación del valor ponderado, (VP) en el caso de los factores condicionantes, se utilizó los datos del **cuadro 10**, y los Vectores Ponderados de los Parámetros, de cada uno de ellos, (Geología, Pendiente, Geomorfología, Usos de Suelo y Cobertura Vegetal), **Cuadros, 11, 12, 13, 14**. Obteniendo el, Valor Factor Condicionantes. Tabla 18.

Tabla 18: Cálculo del Valores Factores Condicionantes

Factores Condicionantes								Valor Factor Condicionantes (VPFactoresCondicionantes*VPGeol)+(VPFactoresCondicionantes*VPPendientes)+(VPFactoresCondicionantes*VPGeomorfología)+(VPFactoresCondicionantes*VPUsosdeSuelo)
Geología (PPG)		Pendientes (PPP)		Geomorfología (PPG)		Usos de suelo/Cobertura Vegetal (PPUS)		
FC1		FC2		FC3		FC4		VFC
VP (Factores Condicionantes)	VP Geología	VP (Factores Condicionantes)	VP Pendientes	VP (Factores Condicionantes)	VP Geomorfología	VP (Factores Condicionantes)	VP Usos de Suelo	
0.593	0.48	0.262	0.49	0.1	0.45	0.045	0.5	0.479
0.593	0.26	0.262	0.27	0.1	0.26	0.045	0.26	0.261
0.593	0.144	0.262	0.14	0.1	0.15	0.045	0.13	0.141
0.593	0.078	0.262	0.07	0.1	0.09	0.045	0.07	0.076
0.593	0.042	0.262	0.04	0.1	0.05	0.045	0.03	0.040

Nota. Donde PP: Peso Parámetro FC1, FC2, FC3, FC4.condicionantes VP. Valor Ponderado.

Del mismo modo, para hallar los valores, Factores desencadenantes, se utilizaron los datos de n los valores ponderados de los cuadros, 08 y 09, (Precipitaciones y Aceleraciones). Tabla 19.

Tabla 19: Cálculo de los valores, Factores desencadenantes

Factores desencadenantes				Valor Factor, desencadenantes = (VPFactores desencadenantes*VPP)+(VPPFD*VPA)
Precipitaciones (PPPr)		Aceleraciones máximas PGA /Gals (PPA)		
FD1		FD2		VFD
VP (Factores desencadenantes)	VP Precipitaciones	VP (Factores desencadenantes)	VP Aceleraciones	
0.5	0.49	0.5	0.414	0,452
0.5	0.259	0.5	0.261	0,259
0.5	0.137	0.5	0.160	0,148
0.5	0.072	0.5	0.098	0,085
0.5	0.036	0.5	0.062	0,049

Nota. Donde PP: Peso Parámetro FD1, FD2. Desencadenantes VP. Valor Ponderado.

9.2.5 Cálculo del nivel de Susceptibilidad por deslizamiento en el cerro “Cruz del Siglo”

Torata

Finalmente, la determinación de los niveles de Susceptibilidad, por deslizamientos, se realiza sumando el resultado de la multiplicación del valor del parámetro y valor descriptor tanto de los valores condicionantes y desencadenantes, para luego obtener los rangos de susceptibilidad,

Tabla 20.

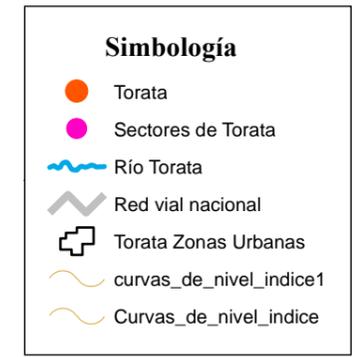
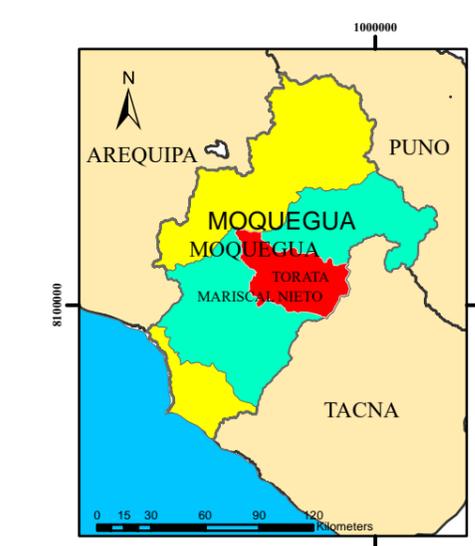
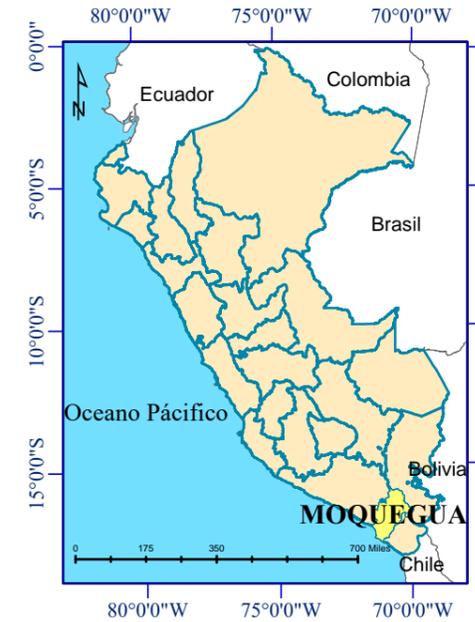
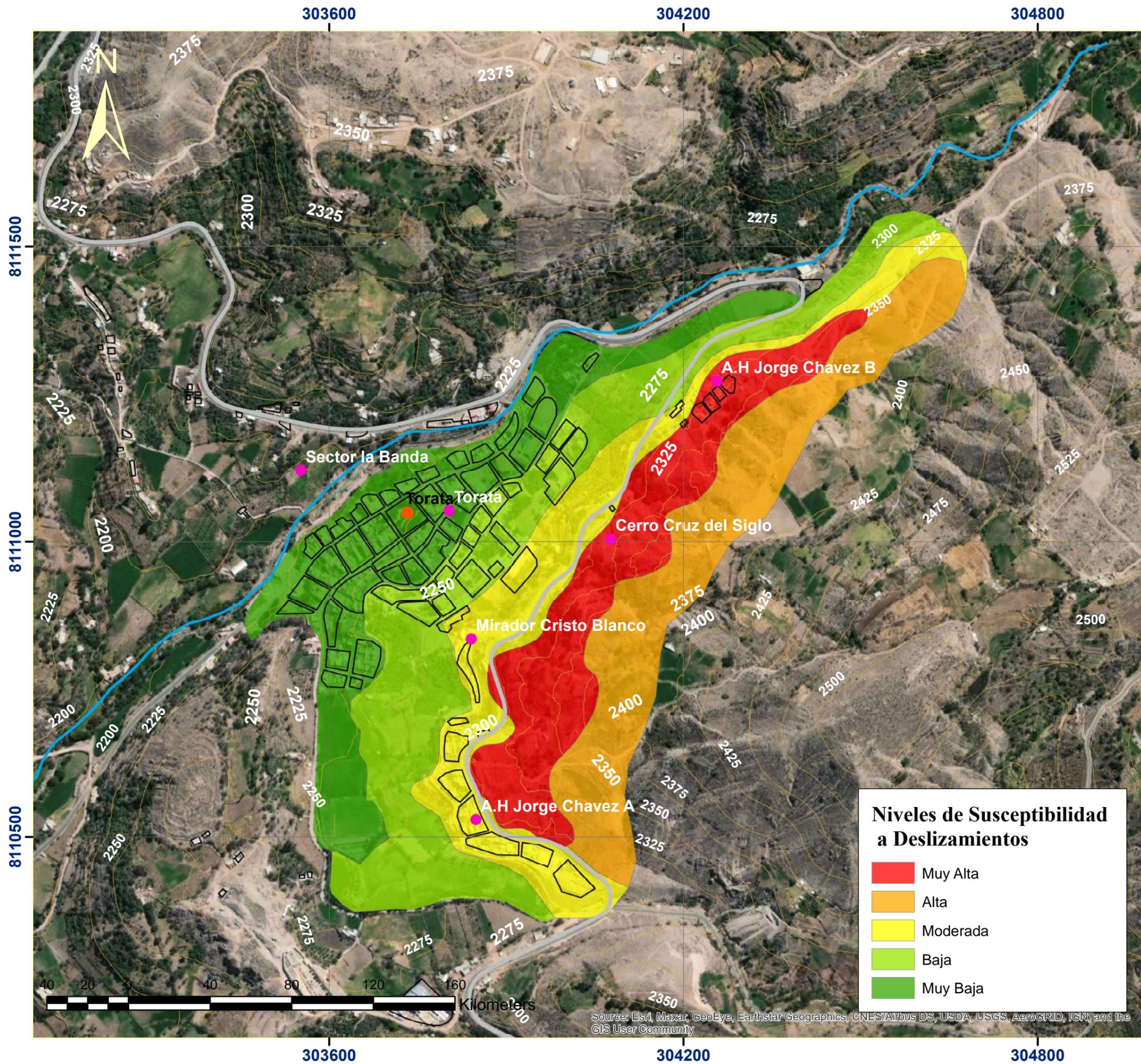
Tabla 20: Cálculo de Niveles de Susceptibilidad

Tabla de Cálculo para la Susceptibilidad						
Valor Condicionantes		Valor desencadenantes		Susceptibilidad	Rangos de susceptibilidad	
Valor del Parametro	Valor Descriptor	Valor del Parametro	Valor del descriptor	Rangos de Susceptibilidad		
0.5	0.479	0.5	0,452	0,465	Muy Alta	0.259 0.465
0.5	0.261	0.5	0,259	0,259	Alta	0.144 0.259
0.5	0.141	0.5	0,148	0,144	Media	0.08 0.144
0.5	0.076	0.5	0,085	0.08		
0.5	0.04	0.5	0,049	0,04	Baja	0.04 0.08

En la Tabla 20, se observa que los rangos de susceptibilidad, en el cerro “Cruz del Siglo”, los rangos de susceptibilidad tienen los siguientes valores, susceptibilidad muy alta, color rojo, de 0.259 a 0.465, susceptibilidad alta, color naranja de 0.144 a 0.259, susceptibilidad media, color amarillo, valores de entre 0.08 a 0.144, y susceptibilidad baja, color verde, en los rangos de 0.04 y 0.08.

Los colores representan la simbología de un semáforo, donde el color rojo nos muestra una alerta, y el color verde nos muestra calma. Estos colores, también, nos muestran los rangos más altos, o zonas más susceptibles a producirse un evento de deslizamiento, en color rojo, mientras que los rangos de las zonas menos susceptibles en color verde, nos indican zonas seguras y donde la ocurrencia de deslizamientos sería nula. Esta tabla ha sido representada y utilizado en la elaboración del, **Mapa- 10 – (Mapa de Susceptibilidad)**, obtenido de la superposición ponderada e interacción de los mapas de, Geología, usos de suelo o cobertura vegetal, y geomorfología.

Tomando en cuenta los factores tanto condicionantes como desencadenantes.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA			
EVALUACION DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLASTICOS EN EL SECTOR DE "CERRO CRUZ DEL SIGLO" EN LA LOCALIDAD DE TORATA - MOQUEGUA			
DIBUJO: MARCOS MATTOS YALLICO		MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS	
MAPA - 10		REGION: MOQUEGUA PROVINCIA: MARISCAL NIETO DISTRITO: TORATA LOCALIDAD: TORATA	DATUM: WGS 84 PROYECCION UTM : ZONA 19S
FECHA : AÑO 2023		ESCALA 1:7500	

Resultados

- ✓ En el presente trabajo se hizo una evaluación del riesgo de deslizamiento, en las laderas ubicadas al sur -este y nor-este , de la Plaza principal de Torata, que vienen siendo afectados por deslizamientos de tierra, caída de rocas, flujos de detritos, todos ellos debido a las pendientes pronunciadas y a las condiciones litológicas, que son suelos volcánico -sedimentarios o suelos volcanoclásticos , suelos conformados por ceniza volcánica, gravas, arenas y arcillas, estas laderas consideradas como zonas críticas a deslizamientos, cuyos factores desencadenantes son, aguas subterráneas, sismos, y precipitaciones.
- ✓ Las zonas ubicadas por encima de la Red vial nacional, donde se ubican las zonas susceptibles a deslizamientos se encuentran con pendientes pronunciadas de hasta 45°. Siendo estas zonas susceptibles a movimientos en masa como caída de rocas, flujo de detritos y deslizamientos.
- ✓ Las infiltraciones de agua debido la actividad antrópica, (riego no contralado) o aguas subterráneas podrían ser las causantes de la saturación de estos suelos, incrementando la presión de poros (estadio de contracción y expansión de suelos).
- ✓ Los suelos en las laderas del cerro Cruz del siglo, son suelos deleznable, al presentar estas condiciones hacen que se disminuya la cohesión y se supere su capacidad de carga, o resistencia, dando lugar a la generación de un plano de falla, o corte por donde la masa inestable (suelos superficiales no consolidados) tiendan a deslizarse pendiente abajo.
- ✓ Las infiltraciones de agua debido la actividad antrópica, (riego no contralado) o aguas subterráneas podrían ser las causantes de la saturación de estos suelos, incrementando la presión de poros (estadio de contracción y expansión de suelos).

Conclusiones y Recomendaciones

a) Conclusiones

- ✓ Las laderas que se encuentran, en el cerro Cruz del siglo son, zonas inestables debido a la composición litológica de sus suelos de cimentación, como lo son suelos volcánico-sedimentarios conformados por una mezcla de arenas, gravas, limos, ceniza volcánica, y tobas piroclásticas de las Formaciones Paralaque e Inogoya.
- ✓ La geomorfología de la ciudad de Torata está conformada por una terraza fluvio-aluvial, donde se asienta la mayor parte de las zonas urbanas. Un lecho fluvial por donde discurren las aguas del río Torata con dirección de este a oeste. A ambos márgenes del río en mención, se encuentra la llanura de inundación que vendría ser una zona donde se ha acumulado sedimentos clásticos- de arena, arcilla y grava provenientes de aluviones pasados, Al sur y en el norte de la ciudad se encuentran las montañas que rodean la terraza fluvio-aluvial del área de Torata, finalmente como última unidad geomorfológica se encuentra las lomas que tienen formas redondeadas y alargadas ubicadas al sur oeste de la ciudad, en las zonas agrícolas del área de estudio.
- ✓ Los tipos de suelos encontrados en el área urbana de Torata, están conformados por mezclas mal graduadas de arcilla y arena con contenido de gravas y gravillas angulosas a subangulosas, (GC) sobre estos suelos se asienta la mayor parte de la zona urbana de Torata, casi el 80 % de la población. Por otra parte, en el sector la Banda que son zonas agrícolas y áreas de expansión urbana en el lado norte de Torata se han reconocido arenas arcillosas mal graduadas de compactación media (SC) finalmente en el sector Calle Torata en el lado oeste de la ciudad se encontraron suelos conformados por arena, limo de grano fino y grava, (SM).

- ✓ Las zonas susceptibles a deslizamientos en, la localidad de Torata puede ser desencadenadas o detonadas por factores como, sismos, precipitaciones anómalas, infiltraciones de agua subterránea. Las escarpas de deslizamiento nos indican una dinámica activa en las laderas del cerro “Cruz del siglo”. Los movimientos en masa, entre ellos caída de rocas, flujos de detrito y deslizamientos activos afectan actualmente las laderas sur – este del cerro “Cruz del siglo en Torata”. Las infiltraciones de agua subterránea en diferentes puntos del cerro Cruz del Siglo, y el riego en zonas aledañas están desestabilizando el talud y podrían generar algún tipo de movimiento en masa, se recomienda controlar el riego agrícola.
- ✓ De acuerdo a los datos geofísicos analizados podemos decir que los medios saturados son los que predominan en el distrito de Torata, observándose en la mayoría de las líneas un medio saturado desde la superficie. Excepto en la zona Noreste de Torata y en el A. H. La Pascana y el C. P.
- ✓ los resultados geofísicos obtenidos indican que el nivel freático en el área urbana de Torata se presenta a partir de 5 metros de profundidad, esto se puede correlacionar con los estudios geofísicos realizados por INRENA (2004)
- ✓ Para la valuación de la susceptibilidad, se realizó con la ayuda del Manual Para la Evaluación de riesgos originados por Fenómenos Naturales o protocolo de CENEPRED, cuyo análisis es cualitativo - cuantitativo y sigue la metodología multicriterio, es decir analiza la problemática en orden jerárquico. Dando como resultado que la zona de estudio, cerro “Cruz del Siglo” presenta susceptibilidad muy alta a deslizamientos.

b) Recomendaciones

- ✓ Evitar el riego con aspersores en las partes más altas aledañas al cerro “Cruz del Siglo”, así como también, evitar el riego en las laderas del “Cerro Cruz del Siglo”. Para evitar la saturación innecesaria de las laderas.
- ✓ Sacar las sobrecargas del talud, incluyendo bloques de rocas inestables que podrían caer en la carretera Bi -Nacional y/o zonas urbanas.
- ✓ Construir obras geotécnicas (construcción de muros de contención en el “Cerro Cruz del Siglo”), con el fin de estabilizar las laderas.
- ✓ Realizar una campaña de investigaciones geofísicas complementarias más detalladas, (tomografías eléctricas) en el área de estudio, con un menor espaciamiento a fin de caracterizar la estratigrafía del subsuelo y determinar los espesores a mayor detalle, definiendo los acuíferos o zonas saturadas en 3D.
- ✓ Evitar la construcción de viviendas en las laderas del cerro “Cruz del Siglo” en las zonas delimitadas con susceptibilidad muy alta, y alta.
- ✓ Disminuir al ángulo del Talud.
- ✓ Realización de Perforaciones para obtener mayor información de las Laderas en el “Cerro Cruz del Siglo”

Referencias Bibliográficas

Ayala-Carcedo, F.J, Olcina J, y Vilaplana J.M. (2004). Impacto social de los riesgos naturales en España en el período 1990-2000 (II). Fundación Mapfre y Fundación Mapfre Estudios.

Bard, P-Y. (1995) Effects of surface geology on ground motion: Recent results and remaining issues, In Proc. 10 European Conf. Earth. Eng., ed. Duma, Balkema, Rotterdam, 305-323

Beresnev, I.A., K.L. Wen, and Y.T. Yeh 1995a, —Nonlinear Soil Amplification: It’s Corroboration in Taiwan. Bull, Seism. Soc. Am., Vol. 85, pp. 496-515

Bellido E. (1979) Cuadrángulo de Moquegua (35u), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

Bernal, I. (2006) Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala, Mexico. Tesis de Maestría en Ciencias, UNAM, pag. 130.

Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (2016). Caracterización de Moquegua. Lima-Perú. BCRP. Recuperado de <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Arequipa/moquegua-caracterizacion.pdf>.

Barazangi M, & Isacks, B. (1976) Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South American. Geology 4 p.686-692

Beláustegui, S., (1999) - Pendientes del Terreno y Fundamentos del Caudal Máximo No Erosivo. Hoja técnica N° 07. Buenos Aires – Argentina., 4 p.

Crespo Villalaz Carlos (2004); Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 5ta edición.

Decker, R. (1998) volcanoes, Publisher: New York : W.H. Freeman, urn:lcp:volcanoes0000deck:epub:d1e0c825-3355-4e47-b7b1-72565eb80892

D. M., (1991) – A simple definition of a landslide. IAEG Bull., 43, 27-29.

Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S., Valenzuela, G. (2006) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 4. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 29. 383 p.

Greenberg, J. (1990) Volcanoes, Publisher: Milwaukee:Raintree Publisher., <http://archive.org/details/volcanoes0000gree>.

Gonzales, D. (2013) Volcanoes, Publisher: New York:Power Kids, <http://archive.org/details/volcanoes0000gonz>

Gutiérrez, M., (2008) - Geomorfología, Edit. Pearson/Prentice Hall, Madrid, 898 p. ISBN 97884832-23895.

Hutchinson, J. N., (1968) - Mass Movement. In the Enciclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W., ed., Reinhold Book Corp., New York), 668-696p.

Hutchinson, J., N., (1988) - General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides, (Ed: Bonnard, C.). 1, 3-35 p. Rotterdam: Balkema.

INDECI (2006) Sismos ocurridos en el Perú a través del tiempo.

Krafft, & Katia., (1980) -Volcanoes, earth's awakening., Publisher Maplewood, New Jersey: Hammond Incorporated.

Mc Donald, A. (1972) Volcanoes., Publisher: Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, inlibrary; printdisabled; internetarchivebooks; china,urn:lcp:volcanoes00gord:epub:460caa30-5a25-4113-a367-8500de31e647

Morisawa M., 1968: Streams, Their Dynamics and Morphology.

T. & Isacks, B. L. (1992) - Seismicity and shape of the subducted Nazca Plate, Journal of Geophysical Research, 97, 17503p.

Tyrrell, G.W. (1931) Volcanoes., Publisher, New York, Hold and Company; T. Butterworthy, ltd. Bibliography: P-245 -248.

Tilling, R., (1987) Volcanoes, publisher, Alexandria, VA: U:S, dept, of the interior Geological Survey: (Washington: Supt of Docs, U:S GPO., <http://archive.org/details/volcanoes00till>

Ritmann,A.(1976)Volcanoes,Publisher.NewYork:Putnan,inlibrary; printdisabled; internetarchivebooks; americana.,urn:lcp:volcanoes00ritt:epub:5bb7869d-a976-4874-87f3-96395cb5139c

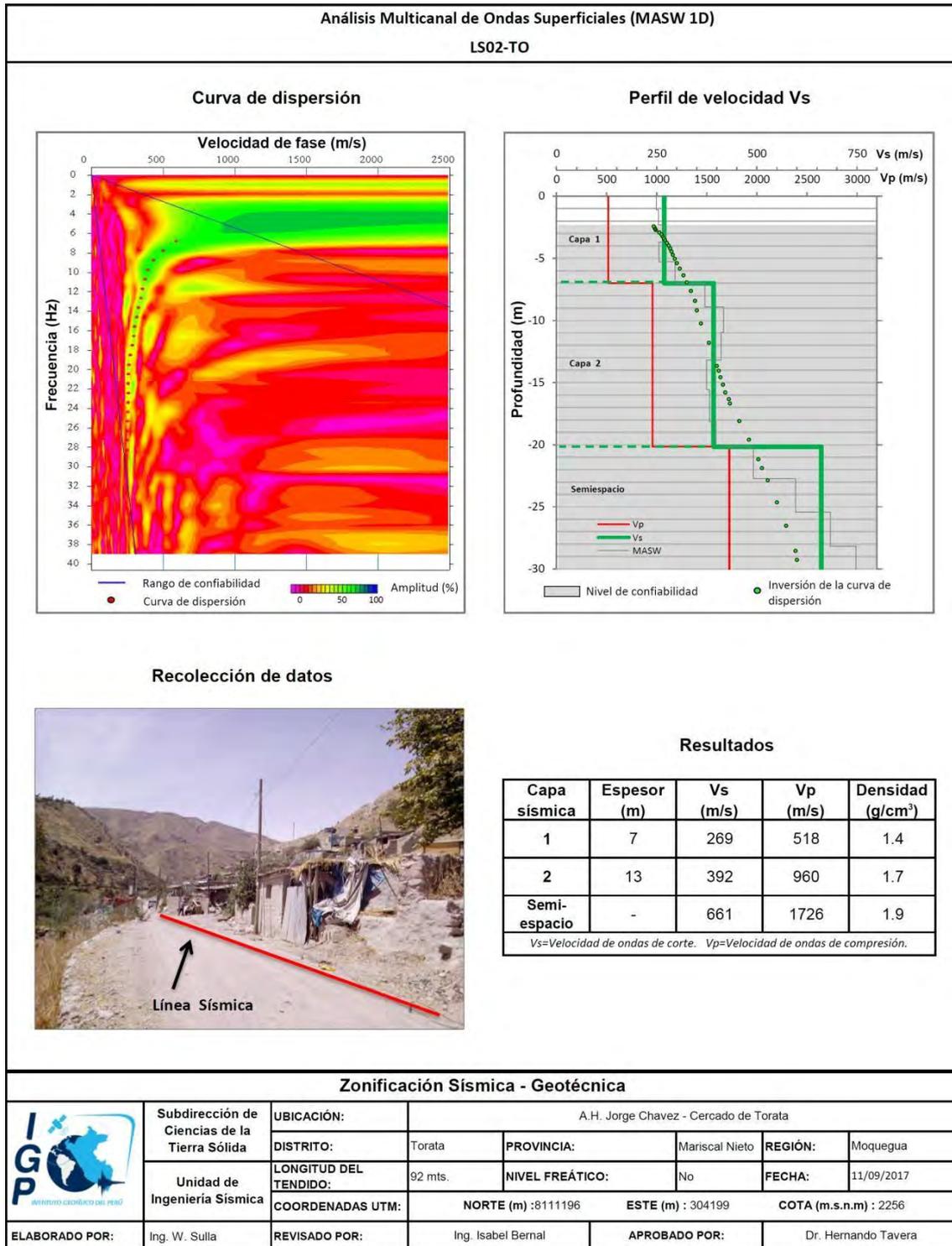
Varnes, D.J., (1958) - Landslide types and processes in Eckel E.B., ed., Landslides and Engineering Practice, Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington, D.C., 20 – 47p.

www.senamhi.gob.pe/. Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología del Perú /Estación meteorológica de Yacango.

ANEXOS

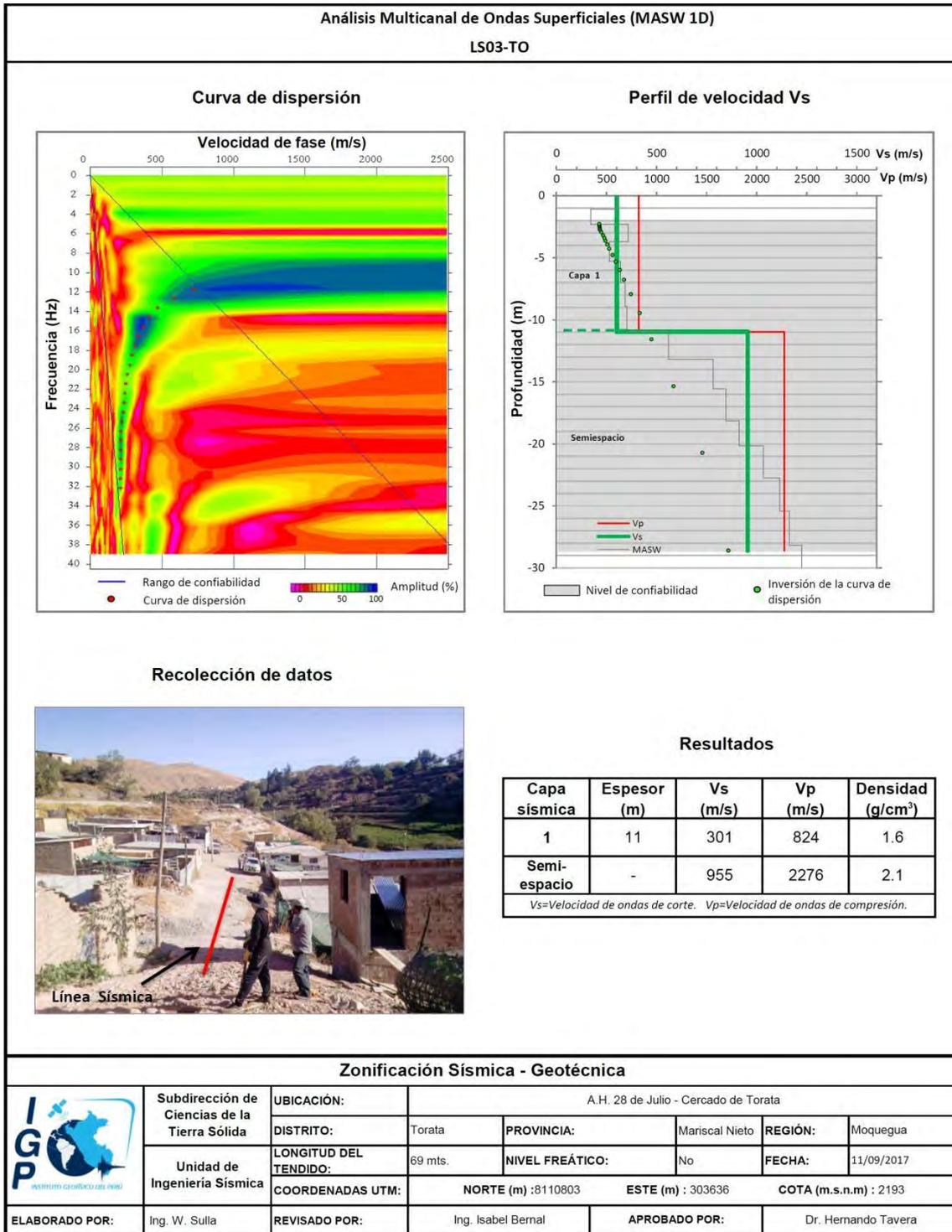
ANEXO 1
Perfiles Sísmicos
MASW

DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS



Continuación.../Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS02-TO.

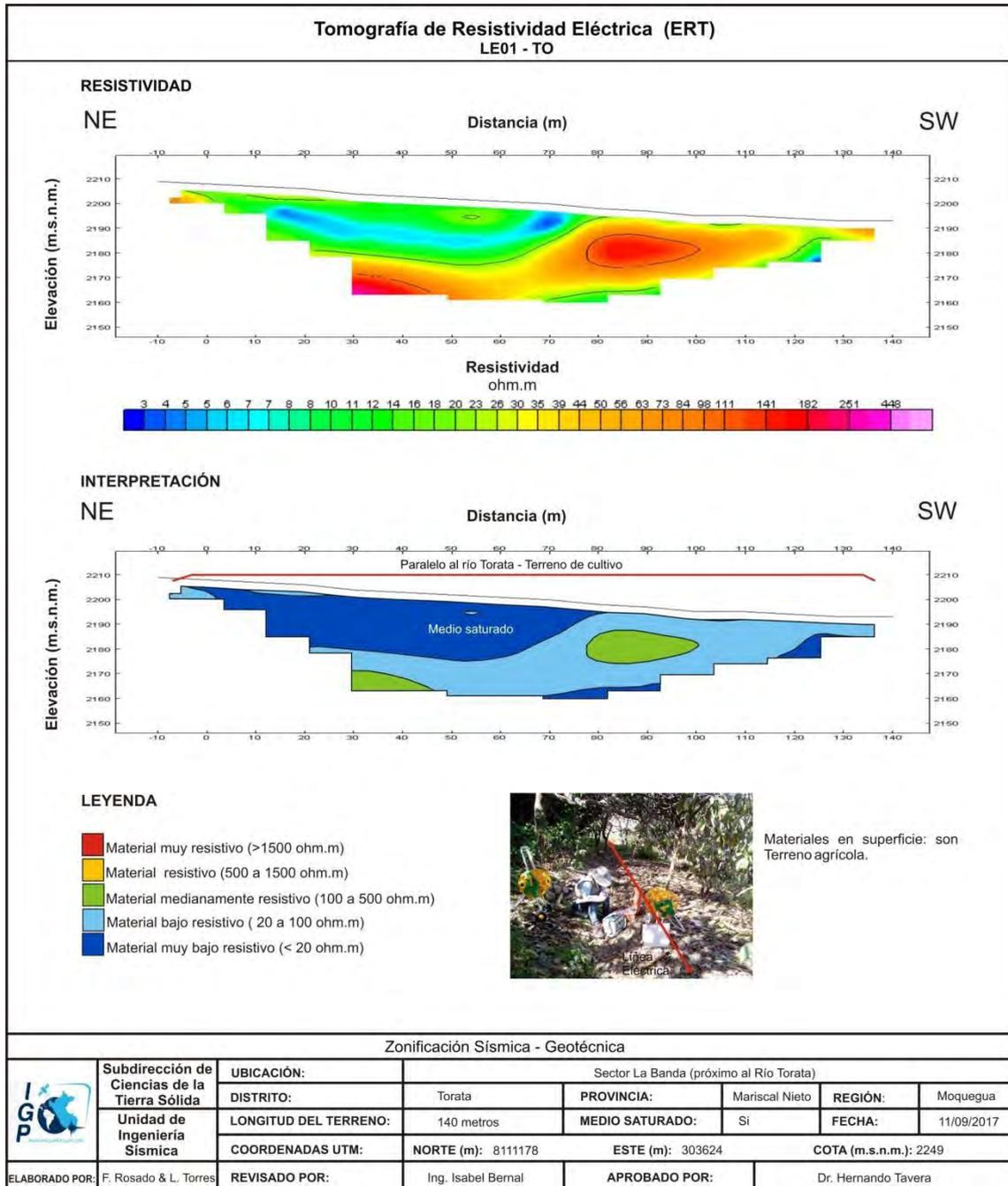
DESIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS



...Continuación.../Resultados obtenidos con el método MASW para el arreglo LS03-TO.

Secciones Geoeléctricas ERT

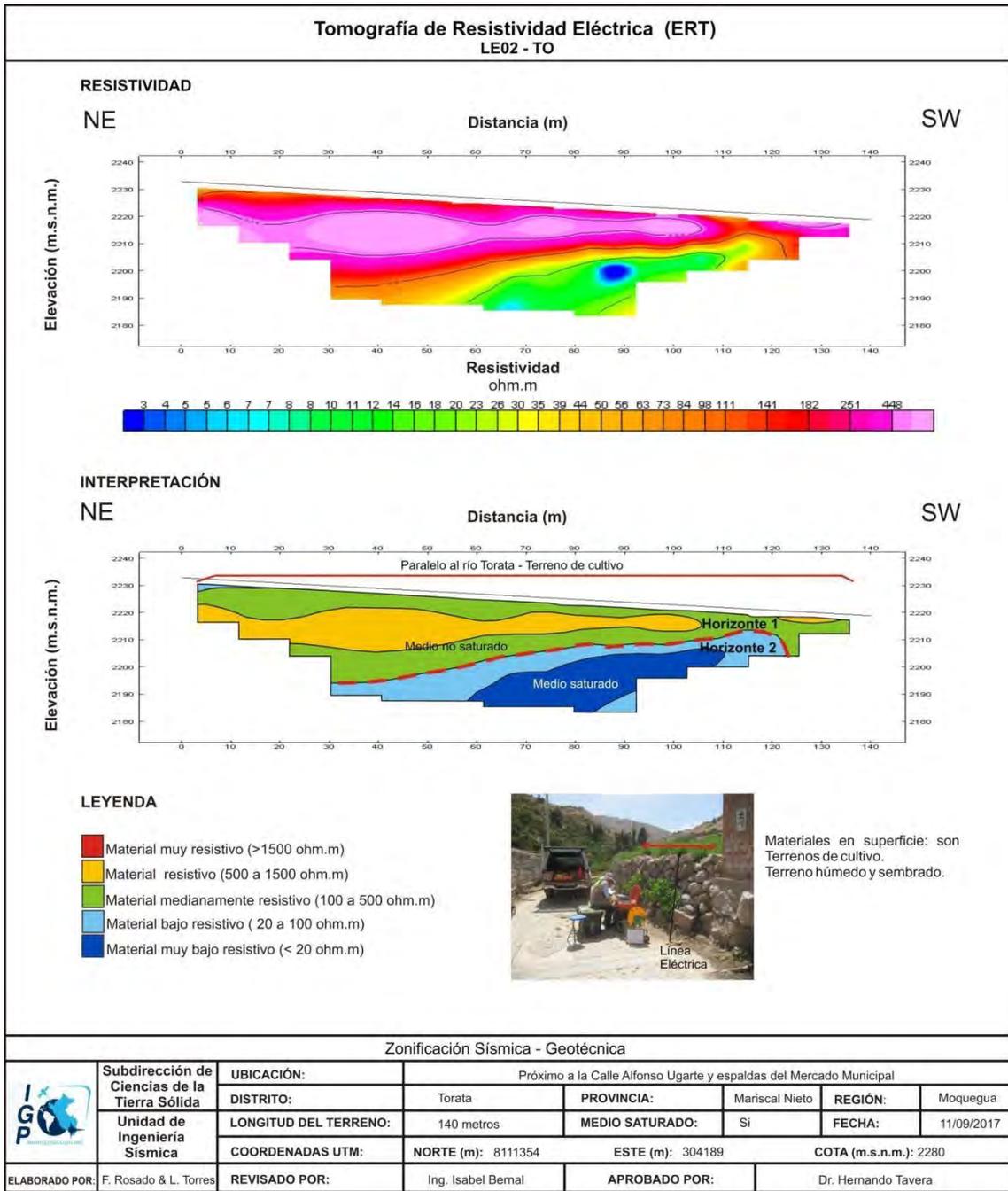
DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS



Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea

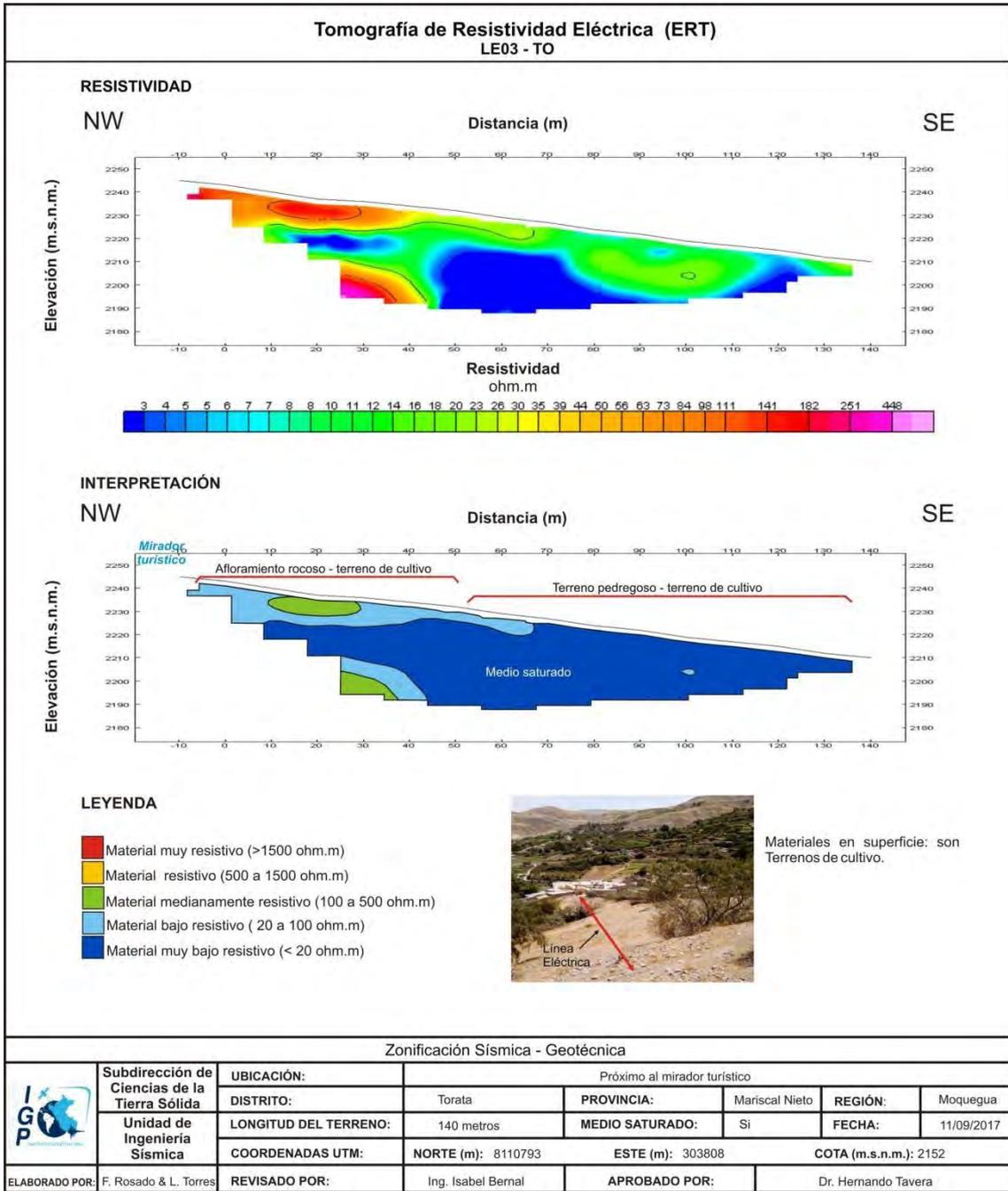
LE01-TO

DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS



Continuación.../ Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE02-TO.

DESLIZAMIENTOS EN SUELOS VOLCANICLÁSTICOS



Continuación.../ Análisis e interpretación geofísica obtenida con el método de tomografía eléctrica para la línea LE03-TO.

ANEXO 2
Fichas de
Ensayos Geotécnicos



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	CALICATA:	CAL-1				
	UBICACIÓN:	La Banda				
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):	1.40	NIVEL FREÁTICO (m):	No Presenta	FECHA:	22/06/2017
	COORDENADAS UTM					
	NORTE (m):	8111153	ESTE (m):	303602	COTA (m.s.n.m):	2198
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30		M-1	14.1	2.78	2.4				
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									
3.10									
3.20									
3.30									
3.40									

OBSERVACIONES: El material corresponde a arenas arcillosas y gravas arcillosas, no se puede continuar con la excavación debido a la compactación de material

REGISTRO FOTOGRÁFICO Cal - 01



Calicata ubicada en el sector denominado "La banda" a 200 m. al noroeste de la iglesia de Torata

En material hasta 0.60 m. corresponde a arenas arcillosas y luego hasta los 1.40 m. continúan gravas arcillosas .



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

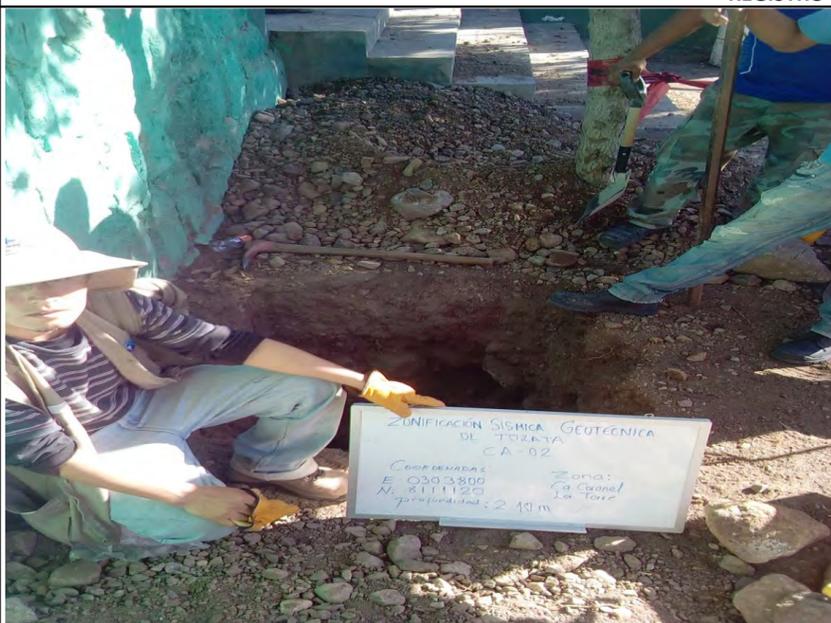
REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	CALICATA:	CAL- 02				
	UBICACIÓN:	Parque de niños de Torata, Calle coronel la Torre				
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):	2.10	NIVEL FREÁTICO (m):	No Presenta	FECHA:	22/06/2017
	COORDENADAS UTM					
	NORTE (m):	8111120	ESTE (m):	303800	COTA (m.s.n.m):	2205
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00		M-1	8	1.9	1.7				
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO Cal - 02



La calicata se realizó en el parque de niños de Torata, situada en la calle Coronel la Torre.

El material esta conformado por gravas en matriz arenosa.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

CALICATA:	CAL - 03				
UBICACIÓN:	La Rayan				
DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
PROFUNDIDAD (m):	1.60	NIVEL FREÁTICO (m):	NP	FECHA:	22/06/2017
COORDENADAS UTM					
NORTE (m):	8111291	ESTE (m):	304169	COTA (m.s.n.m):	2193
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									Material orgánico
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50		M-1	11.3	2.74	2.7				Grava arcillosa mal graduada, de origen aluvial, sin humedad y de color marrón. Presenta grado de compactación alta. Contiene gravas angulosas a subangulosas.
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									
3.10									
3.20									

OBSERVACIONES: No se puede profundizar debido a que los suelos encontrados hasta los 1.60 m de profundidad son gravas mayores a 4" de diámetro.

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL- 03



La calicata se realizó en el sector La Rayan.



El material encontrado corresponde a gravas arcillosas.



Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	CALICATA:		CAI - 04				
	UBICACIÓN:		Asociación 28 de Julio Torata.				
	DISTRITO:		Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):		2.00	NIVEL FREÁTICO (m):	NP	FECHA:	22/06/2017
	COORDENADAS UTM						
NORTE (m):		8110859	ESTE (m):	303740	COTA (m.s.n.m):	2241	
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera		

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90		M-1	6.0	2.64	2.6				Arena limosa mal graduada de origen aluvial de grano fino a medio, sin humedad y de color beige. Presenta grado de compactación alta. Contiene grava redondeadas de 1" de diámetro.
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									
3.10									
3.20									
3.30									

OBSERVACIONES:

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL- 04



Ensayo de densidad in-situ, en la calicata 04 .

El material corresponde a arena limosa.



PERÚ

Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

REGISTRO DE CALICATAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	CALICATA:	CAL - 05				
	UBICACIÓN:	Calle Alfonso Ugarte				
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):	1.50	NIVEL FREÁTICO (m):	No Presenta	FECHA:	22/06/2017
	COORDENADAS UTM					
	NORTE (m):	8110923	ESTE (m):	303770	COTA (m.s.n.m):	

ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera
-----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------------------	-----------------

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40		M-1	14.6	2.9	2.4				Grava arcillosa, de origen aluvial, sin humedad y de color marrón. Presenta grado de compactación alto.
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									
3.10									
3.20									
3.30									

OBSERVACIONES: En el ensayo no se encontro nivel freatico, sin embargo unos 5 metros al sur del ensayo se evidencio agua subterranea, en los cimientos de una construcción.

REGISTRO FOTOGRÁFICO CAL - 05



La calicata se realizó en la calle Alfonso Ugarte, a 1.50 m. al suroeste de la plaza de Torata.

El material corresponde a gravas arcillosas.

GW		Grava bien graduada
GP		Grava mal graduada
GM		Grava limosa
GC		Grava arcillosa
SW		Arena bien graduada
SP		Arena mal graduada
SM		Arena limosa
SC		Arena arcillosa
ML		Limo inorganico de baja plasticidad
CL		Arcilla inorganica de baja plasticidad
OL		Limo o arcilla organica de baja plasticidad
MH		Limo inorganico de alta plasticidad
CH		Arcilla inorganica de alta plasticidad
OH		Limo o arcilla organica de alta plasticidad
PT		Turba u otros suelos altamente organicos



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: Parque Municipal de niños de Torata

PROFUNDIDAD (m): 1.20

COORDENADAS (m): 303792 E
8111128 N

ENSAYO: **DPL-01**
HOJA: 1/7

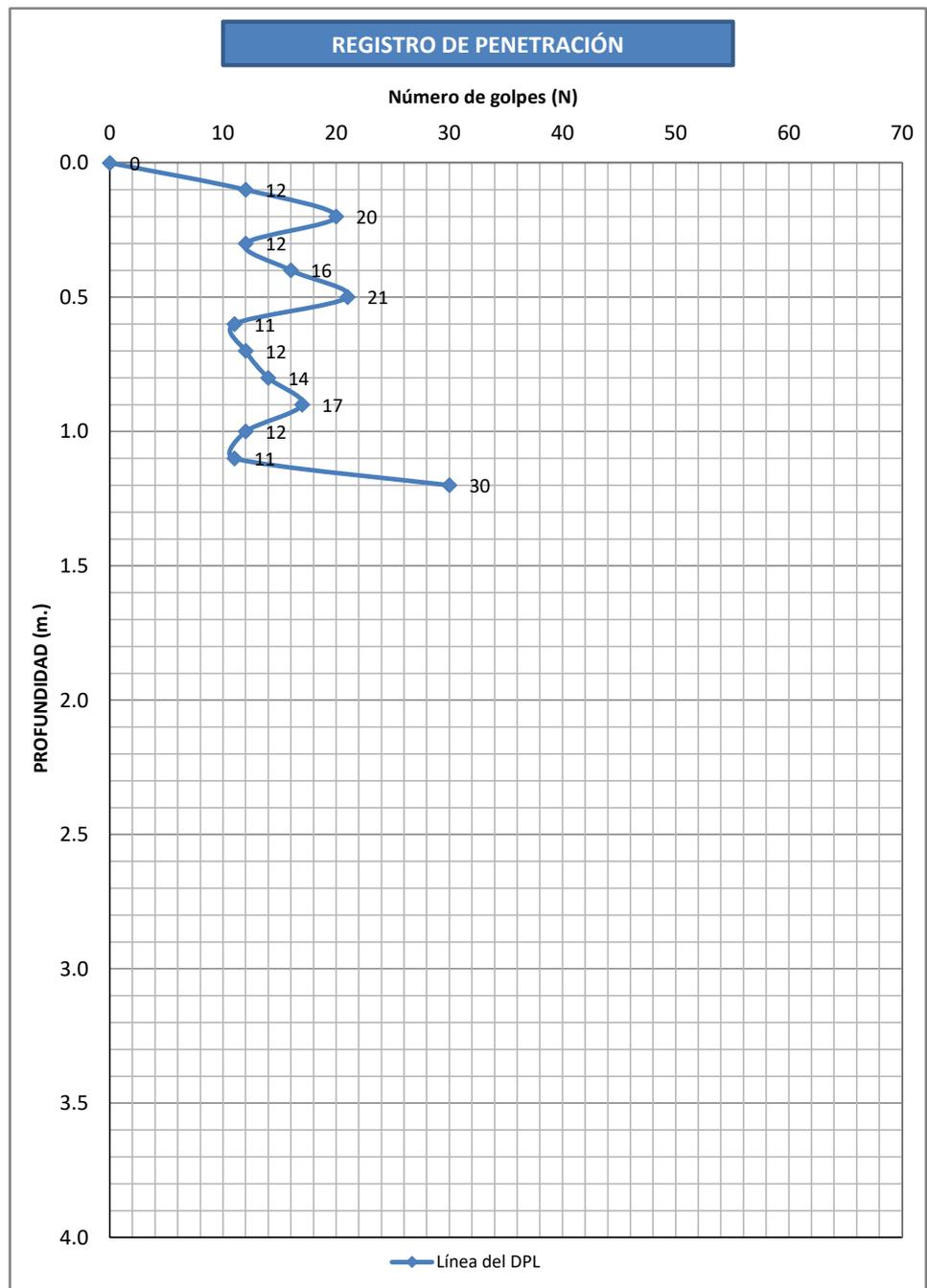
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	φ' (°)
0.00	0		
0.10	12	0.0	30.7
0.20	20	0.0	33.3
0.30	12	0.0	30.7
0.40	16	0.0	32.0
0.50	21	0.0	33.6
0.60	11	0.0	30.4
0.70	12	0.0	30.7
0.80	14	0.0	31.4
0.90	17	0.0	32.4
1.00	12	0.0	30.7
1.10	11	0.0	30.4
1.20	30	0.0	36.0
1.30			
1.40			
1.50			
1.60			
1.70			
1.80			
1.90			
2.00			
2.10			
2.16			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 1.20 m. de profundidad, puesto que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



**ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA
(NORMA DIN - 4094)**

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: La Banda Torata

PROFUNDIDAD (m): 0.60

COORDENADAS (m): 255173 E
8048051 N

ENSAYO: **DPL-02**
HOJA: 2/7

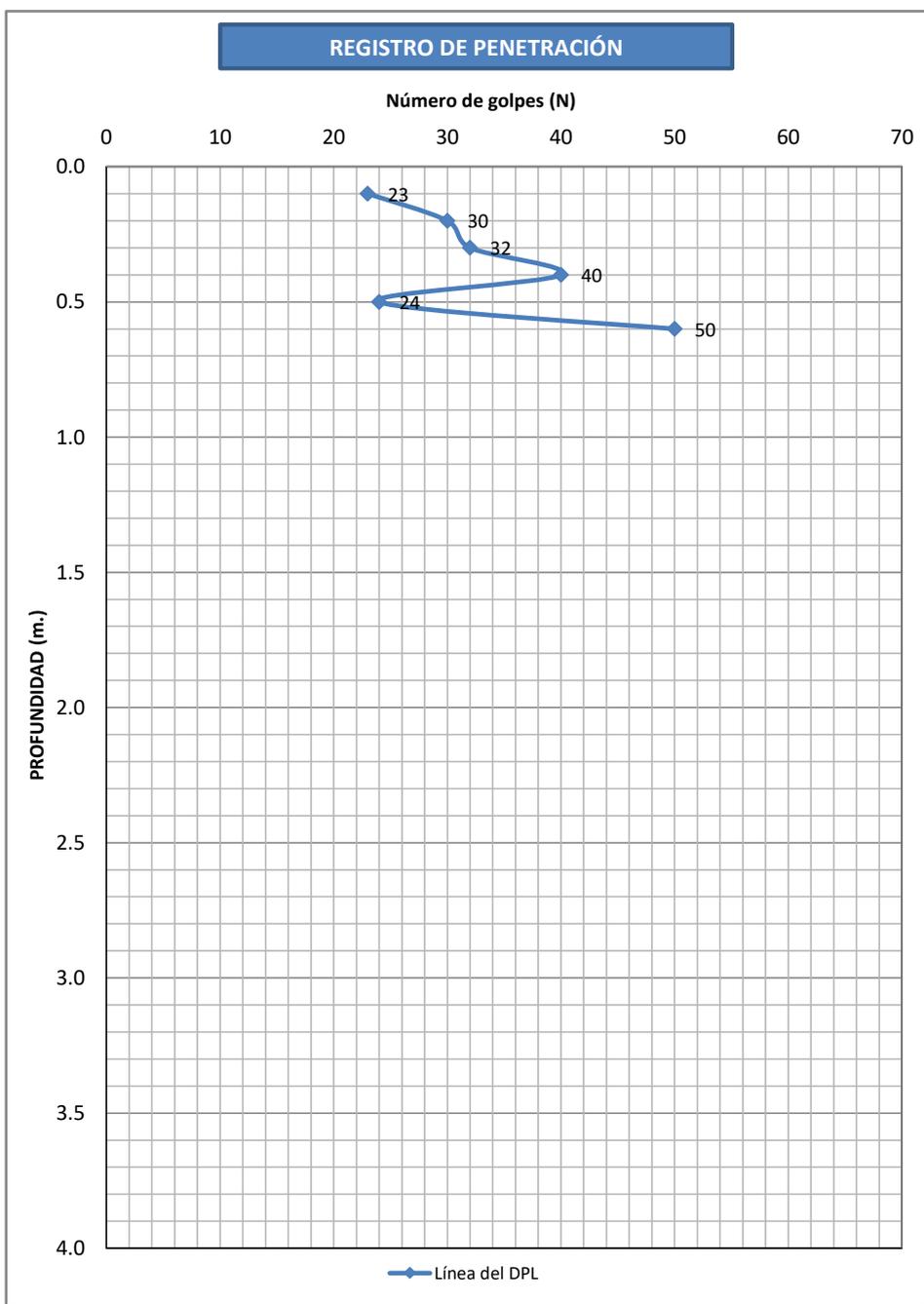
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00			
0.10	23	0.0	34.1
0.20	30	0.0	36.0
0.30	32	0.0	36.5
0.40	40	0.0	38.5
0.50	24	0.0	34.4
0.60	50	0.0	41.0
0.70			
0.80			
0.90			
1.00			
1.10			
1.20			
1.30			
1.40			
1.50			
1.60			
1.70			
1.80			
1.90			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 0.60 m de profundidad, debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: Calle Loreto

PROFUNDIDAD (m): 2.00

COORDENADAS (m): 303728 E

8110870 N

ENSAYO: DPL-03

HOJA: 3/7

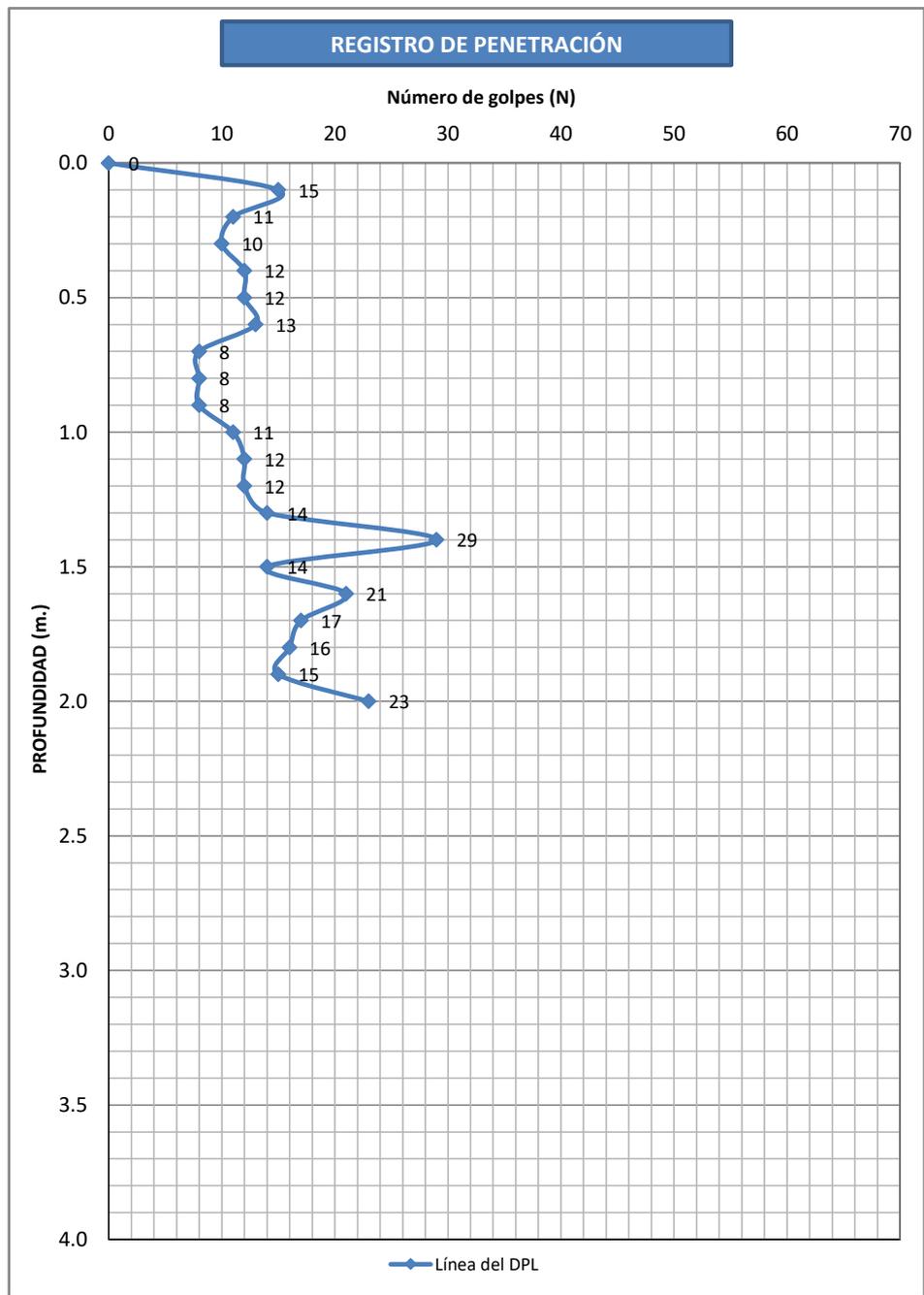
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00	0		
0.10	15	0.0	31.7
0.20	11	0.0	30.4
0.30	10	0.0	30.0
0.40	12	0.0	30.7
0.50	12	0.0	30.7
0.60	13	0.0	31.1
0.70	8	0.0	29.3
0.80	8	0.0	29.3
0.90	8	0.0	29.3
1.00	11	0.0	30.4
1.10	12	0.0	30.7
1.20	12	0.0	30.7
1.30	14	0.0	31.4
1.40	29	0.0	35.7
1.50	14	0.0	31.4
1.60	21	0.0	33.6
1.70	17	0.0	32.4
1.80	16	0.0	32.0
1.90	15	0.0	31.7
2.00	23	0.0	34.1
2.10			
2.20			
2.28			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 2.00 m. de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Tierra
Sólida

Unidad de
Geodinámica

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: Ca. Asociación 28 de Julio

PROFUNDIDAD (m): 3.50

COORDENADAS (m): 303687 E
8110835 N

ENSAYO:
HOJA:

DPL-04
4/7

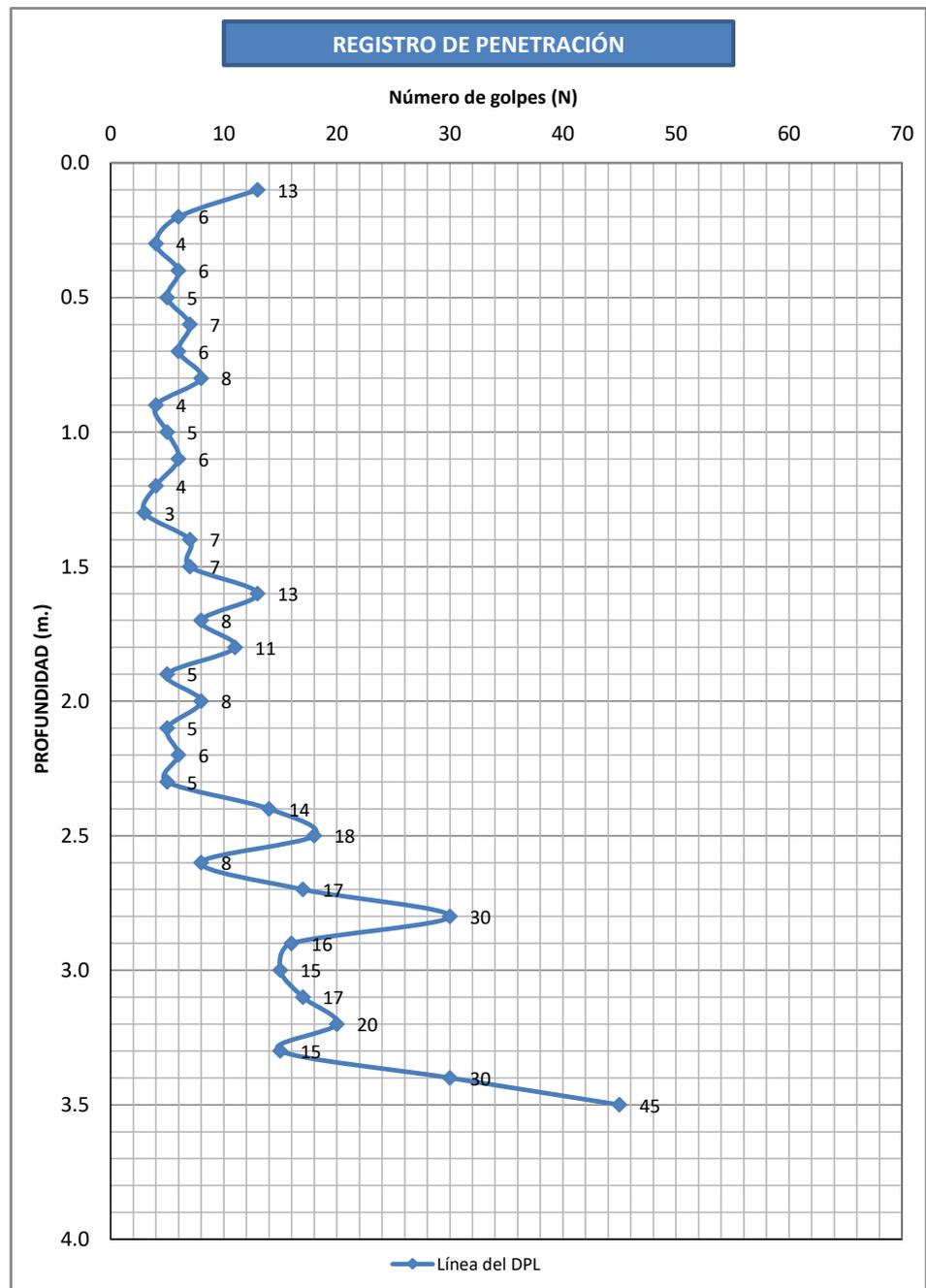
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00			
0.10	13	0.0	31.1
0.20	6	0.0	28.5
0.30	4	0.0	27.6
0.40	6	0.0	28.5
0.50	5	0.0	28.1
0.60	7	0.0	28.9
0.70	6	0.0	28.5
0.80	8	0.0	29.3
0.90	4	0.0	27.6
1.00	5	0.0	28.1
1.10	6	0.0	28.5
1.20	4	0.0	27.6
1.30	3	0.0	27.2
1.40	7	0.0	28.9
1.50	7	0.0	28.9
1.60	13	0.0	31.1
1.70	8	0.0	29.3
1.80	11	0.0	30.4
1.90	5	0.0	28.1
2.00	8	0.0	29.3
2.10	5	0.0	28.1
2.20	6	0.0	28.5
2.30	5	0.0	28.1
2.40	14	0.0	31.4
2.50	18	0.0	32.7
2.60	8	0.0	29.3
2.70	17	0.0	32.4
2.80	30	0.0	36.0
2.90	16	0.0	32.0
3.00	15	0.0	31.7
3.10	17	0.0	32.4
3.20	20	0.0	33.3
3.30	15	0.0	31.7
3.40	30	0.0	36.0
3.50	45	0.0	39.7
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 3.50 m. de profundidad, puesto que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



Ministerio
del Ambiente

Instituto
Geofísico del Perú - IGP

Dirección
Científica

Subdirección de
Ciencias de la Tierra
Sólida

Unidad de
Geodinámica

ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: La Peña.

PROFUNDIDAD (m): 1.50

COORDENADAS (m): 303719 E
8110442 N

ENSAYO: **DPL-05**
HOJA: 5/7

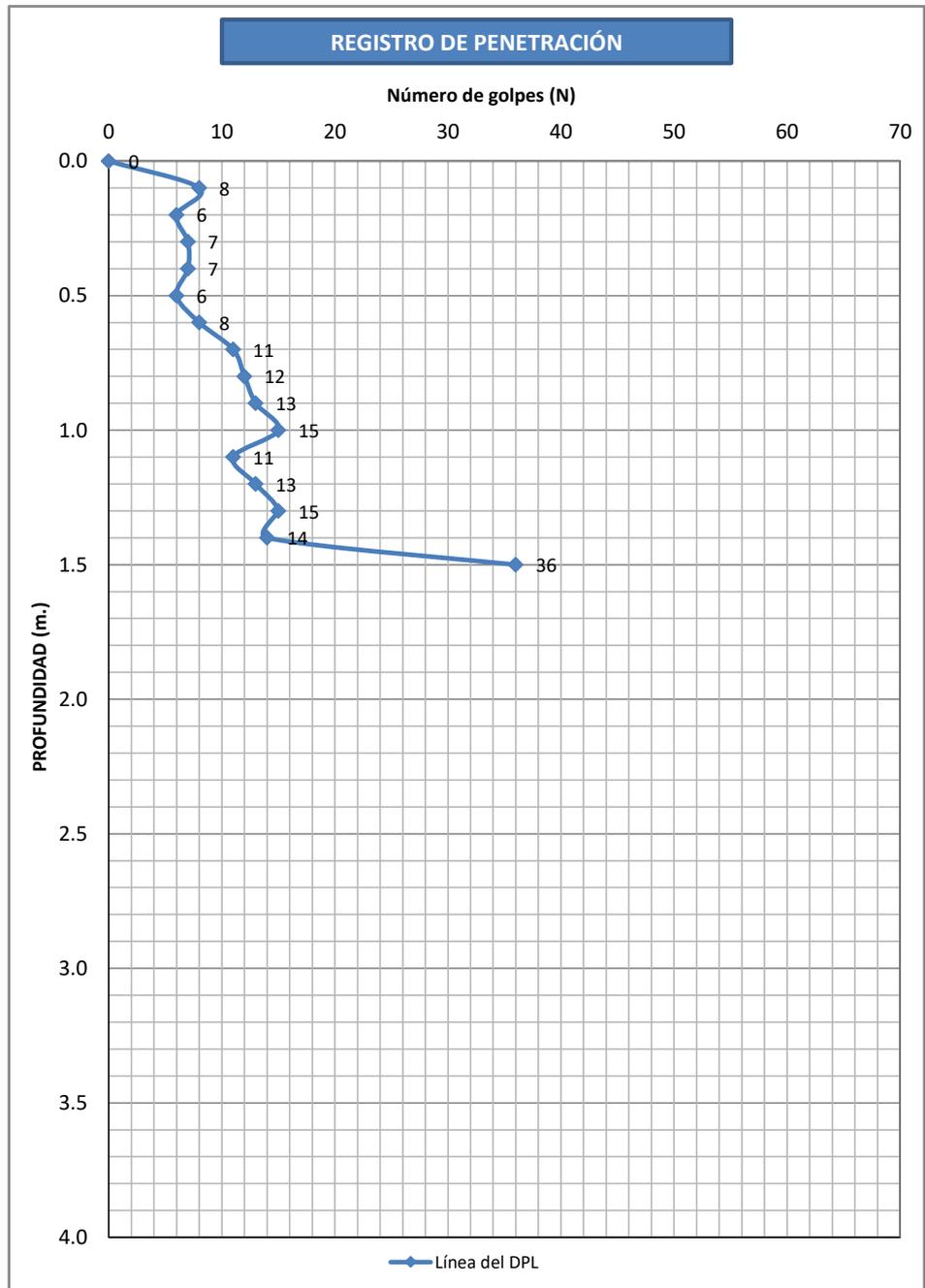
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico.

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00	0		
0.10	8	0.0	29.3
0.20	6	0.0	28.5
0.30	7	0.0	28.9
0.40	7	0.0	28.9
0.50	6	0.0	28.5
0.60	8	0.0	29.3
0.70	11	0.0	30.4
0.80	12	0.0	30.7
0.90	13	0.0	31.1
1.00	15	0.0	31.7
1.10	11	0.0	30.4
1.20	13	0.0	31.1
1.30	15	0.0	31.7
1.40	14	0.0	31.4
1.50	36	0.0	37.5
1.60			
1.70			
1.80			
1.90			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 1.50 m. de profundidad, puesto que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: Cruzpata

PROFUNDIDAD (m): 0.50m

COORDENADAS (m): 0303163 E

8109511 N

ENSAYO: **DPL-06**

HOJA: 6/7

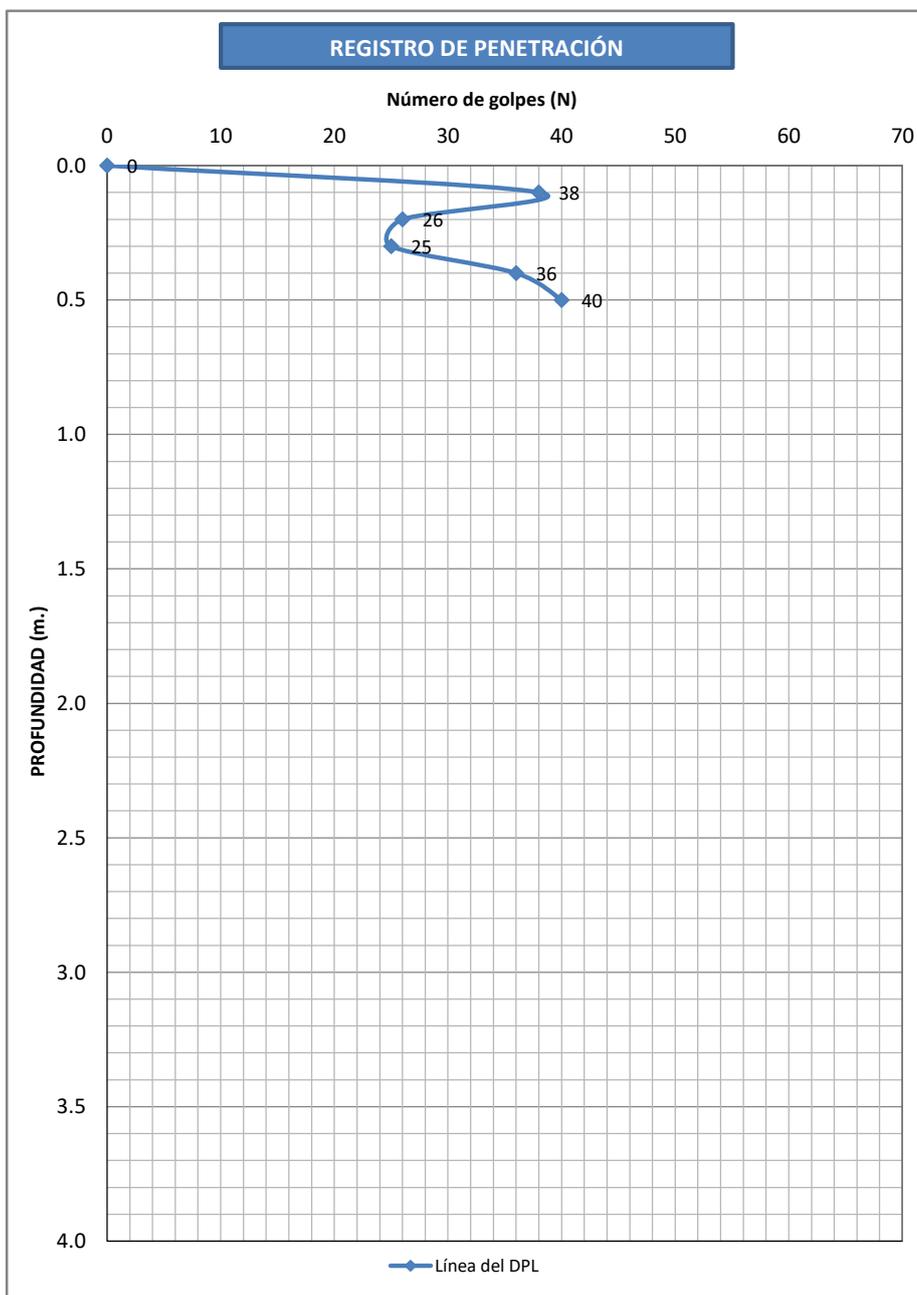
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00	0		
0.10	38	0.0	38.0
0.20	26	0.0	35.0
0.30	25	0.0	34.7
0.40	36	0.0	37.5
0.50	40	0.0	38.5
0.60			
0.70			
0.80			
0.90			
1.00			
1.10			
1.20			
1.30			
1.40			
1.50			
1.60			
1.70			
1.77			
1.90			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 0.50 m. de profundidad, puesto que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (NORMA DIN - 4094)

PROYECTO: ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA

UBICACIÓN: Complejo Turístico de Torata.

PROFUNDIDAD (m): 0.70

COORDENADAS (m): 303032 E 8111122 N

ENSAYO: DPL-07 HOJA: 7/7

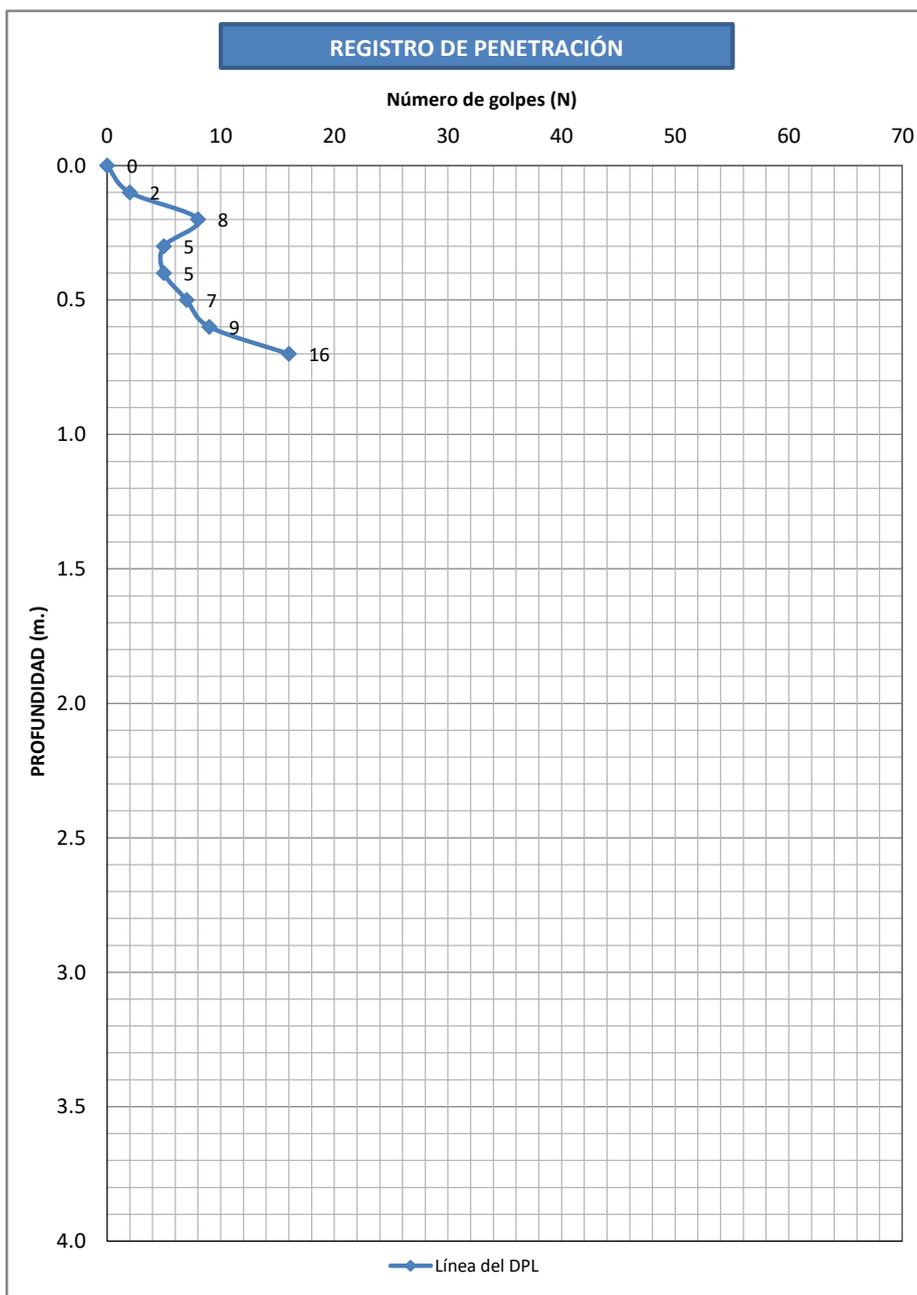
FECHA: 16 de Junio del 2017

ELABORADO POR: Marco Mattos Yallico.

REVISADO POR: Juan Carlos Gómez A.

RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera

PROF. (m.)	N (golpes)	C' (Tn/m ²)	Ø' (°)
0.00	0		
0.10	2	0.0	26.8
0.20	8	0.0	29.3
0.30	5	0.0	28.1
0.40	5	0.0	28.1
0.50	7	0.0	28.9
0.60	9	0.0	29.6
0.70	16	0.0	32.0
0.80			
0.90			
1.00			
1.10			
1.20			
1.30			
1.40			
1.50			
1.60			
1.70			
1.80			
1.87			
2.00			
2.10			
2.20			
2.30			
2.40			
2.50			
2.60			
2.70			
2.80			
2.90			
3.00			
3.10			
3.20			
3.30			
3.40			
3.50			
3.60			
3.70			
3.80			
3.90			
4.00			



OBSERVACIONES: Se concluye el ensayo a 0.70 m, de profundidad debido a que el suelo ofrece resistencia a la penetración.



Ministerio del Ambiente

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Dirección Científica

Subdirección de Ciencias de la Tierra Sólida

Unidad de Geodinámica

REGISTRO DE POSTEADORAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	POSTEADORA:		POST - 01				
	UBICACIÓN:		Plaza de armas de Torata				
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua	
	PROFUNDIDAD (m):	0.50	NIVEL FREÁTICO (m):	No presenta	FECHA:	18/06/2017	
	COORDENADAS UTM:						
NORTE (m):		8111028	ESTE (m):		303730	COTA (m.s.n.m):	2183
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico	REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:	Hernando Tavera		

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10							CH		Arcilla inorgánica de alta plasticidad, de origen aluvial, de grano fino, humedad media y de color marrón oscuro. Presenta grado de compactación media y alta plasticidad, contiene gravillas quartzosas.
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
:									
3.90									

OBSERVACIONES: Los suelos identificados en este ensayo, hasta los 0.50 m, de profundidad presentan alta plasticidad.

REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 01



Este ensayo se realizó en la Plaza de armas de la ciudad de Torata.

El tipo de suelo identificado mediante el ensayo de posteo hasta los 0.50 m de profundidad se encuentra representado por suelos arcillosos principalmente.

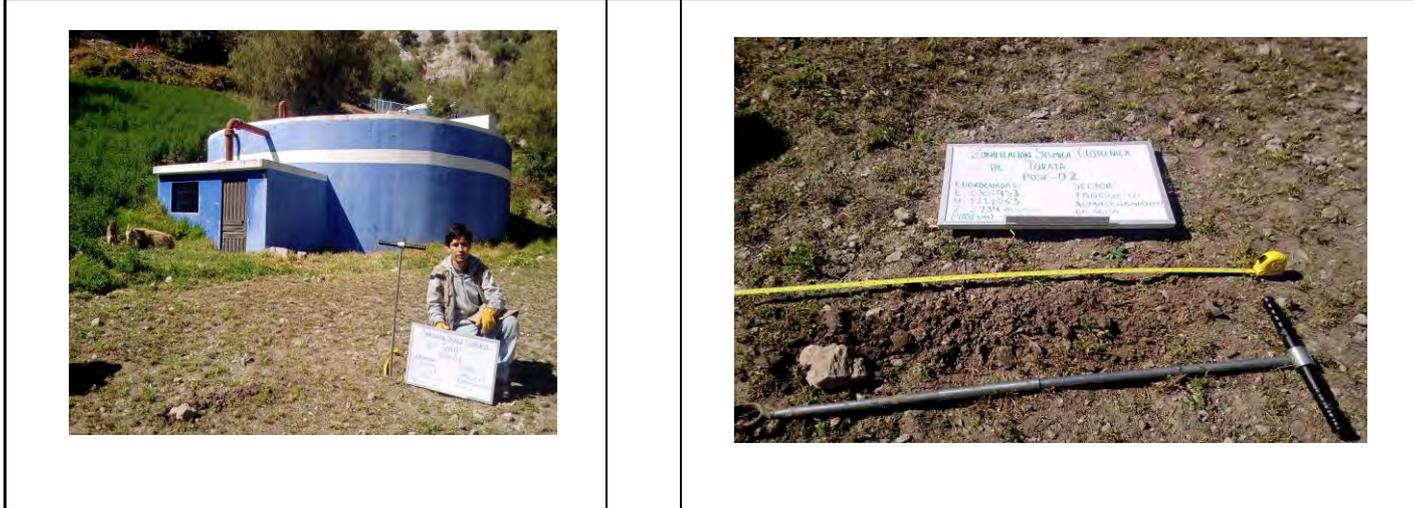
REGISTRO DE POSTEADORAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	POSTEADORA:		POST - 02				
	UBICACIÓN:		Tanque de almacenamiento de agua de Torata				
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua	
	PROFUNDIDAD (m):	0.60	NIVEL FREÁTICO (m):	No presenta	FECHA:	18/06/2017	
	COORDENADAS UTM:		NORTE (m):	8111063	ESTE (m):	303953	COTA (m.s.n.m):
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico		REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:		Hernando Tavera

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10						[Hatched Pattern]	CL		Arcillas inorgánicas de Baja plasticidad, de origen aluvial de grano medio, con humedad baja y de color marrón claro. Presenta grado de compactación medio y contiene gravillas quartzosas .
0.15									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									

OBSERVACIONES: El ensayo se desarrolló hasta la profundidad de 0.60 m, debido a que a partir de la profundidad indicada hay presencia de gravas.

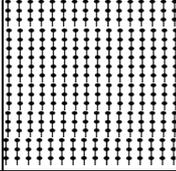
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 02



<p>Este ensayo se realizó al costado del primer reservorio de agua, que se ubica a 221 metros al noreste de la Plaza de Armas de Torata.</p>	<p>El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de Posteado hasta los 0.40 m de profundidad, se encuentra representado por arcillas con gravillas quartzosas.</p>
--	---

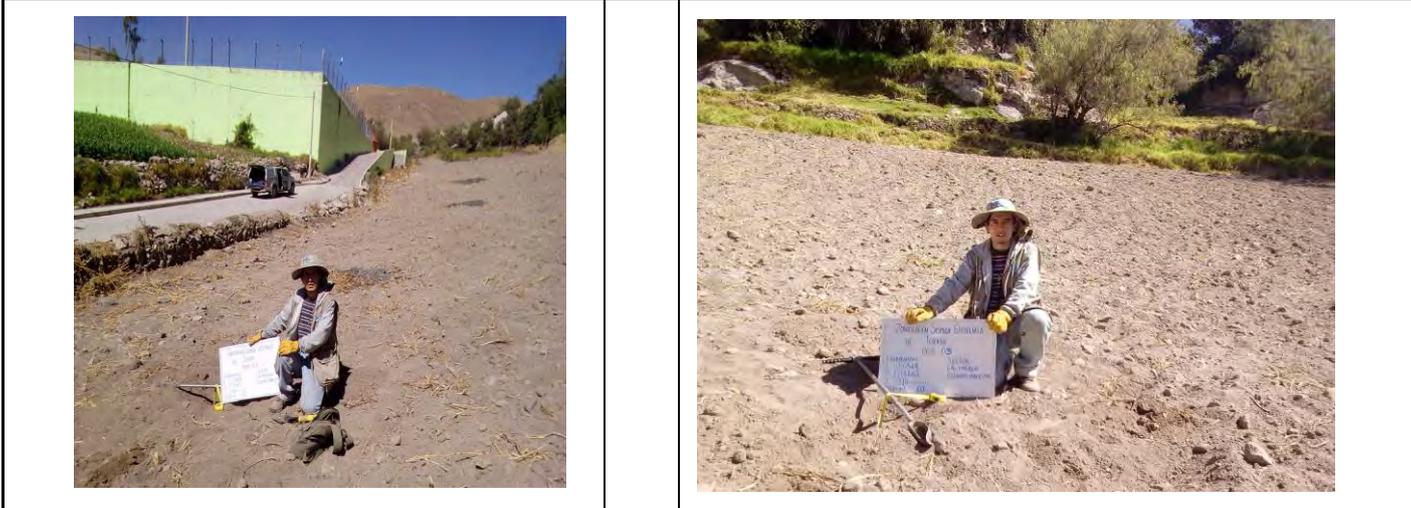
REGISTRO DE POSTEADORAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	POSTEADORA:		POST - 03			
	UBICACIÓN:		Calle Torata, costado del Estadio Municipal de Torata.			
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):	0.60	NIVEL FREÁTICO (m):	No presenta	FECHA:	18/06/2017
	COORDENADAS UTM:					
NORTE (m):		8110603	ESTE (m):		303569	
REVISADO POR:		Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:		Hernando Tavera	
ELABORADO POR:		Marco Mattos Yallico.	COTA (m.s.n.m.):		2210	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN			
				Dh	Ds							
0.00												
0.10									Arena limosa, de granulometría fina, sin presencia de humedad, de color beige, de compactación media, llegando a los 0.40 cambia a una Arena limosa de color marrón mas oscuro de compactación media y sin presencia de humedad de granulometría mas gruesa.			
0.20												
0.30												
0.40												
0.50												
0.60												
0.70												
0.80												
0.90												
1.00												
1.10												
1.20												
1.30												
1.40												
1.50												
1.60												
1.70												
1.80												
1.90												
2.00												
2.10												
2.20												
2.30												
2.40												
2.50												
2.60												
2.70												
2.80												
2.90												
3.00												

OBSERVACIONES: Se evidencio en el ensayo de Posteo la presencia de gravas apartir de los 0.60 metros de profundidad .

REGISTRO FOTOGRÁFICO POST- 03



Este ensayo se realizo detrás del Estadio Municipal de Torata, a unos 500 metros de la Plaza de Armas.

El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo hasta los 0.60 m de profundidad se encuentra representado por una arena limosa de granulometría fina.

REGISTRO DE POSTEADORAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	POSTEADORA:		POST - 04				
	UBICACIÓN:		Mogote				
	DISTRITO:		Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):		0.40	NIVEL FREÁTICO (m):	No presenta	FECHA:	18/06/2017
	COORDENADAS UTM:						
NORTE (m):		8110331	ESTE (m):	303002	COTA (m.s.n.m):	2161	
ELABORADO POR:	Marco Mattos Yallico.		REVISADO POR:	Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO: Hernando Tavera		

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm ³)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN
				Dh	Ds				
0.00									
0.10									Arcilla inorganica de alta plasticidad ,de origen aluvial y de grano fino, presenta humedad relativa, de color marròn oscuro, Presenta grado de compactación medio y contiene gravillas.
0.20									
0.30									
0.40									
0.50									
0.60									
0.70									
0.80									
0.90									
1.00									
1.10									
1.20									
1.30									
1.40									
1.50									
1.60									
1.70									
1.80									
1.90									
2.00									
2.10									
2.20									
2.30									
2.40									
2.50									
2.60									
2.70									
2.80									
2.90									
3.00									

OBSERVACIONES: Se encontro gravillas quartzosas menores a 5mm, dispersas en la matriz arcillosa.

REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 04



El ensayo se realizó en el parque de Mogote, donde se ubica el centro de salud de Torata, a 1km al sur-oeste de la Plaza de Torata.

El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo hasta los 0.40 m de profundidad se encuentra representado por arcillas marrones con gravillas .

REGISTRO DE POSTEADORAS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA - GEOTÉCNICA DE LA CIUDAD DE TORATA	POSTEADORA:		POST-05			
	UBICACIÓN:		Asentamiento la Pascana			
	DISTRITO:	Torata	PROVINCIA:	Mariscal Nieto	REGIÓN:	Moquegua
	PROFUNDIDAD (m):	1.00	NIVEL FREÁTICO (m):	No presenta	FECHA:	18/06/2017
	COORDENADAS UTM:					
NORTE (m):		8110017	ESTE (m):		303313	
REVISADO POR:		Juan Carlos Gómez A.	RESPONSABLE DEL PROYECTO:		Hernando Tavera	
ELABORADO POR:		Marco Mattos Yallico	COTA (m.s.n.m):		2164	

(m)	PROF.	MUESTRAS	HUMEDAD (%)	DENSIDAD (gr/cm3)		GRÁFICO	SUCS	REGISTRO FOTOGRÁFICO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN											
				Dh	Ds															
0.00																				
0.10						[Hatched Pattern]			Arcilla inorganica de alta plasticidad, de color marrón oscuro, presenta gravillas mayores a 1cm y menores a 1cm de espesor, Tambien presenta grado de compactación media y humedad media, no se encontro nivel freatico.											
0.20																				
0.30																				
0.40																				
0.50																				
0.60																				
0.70																				
0.80																				
0.90																				
1.00																				
1.10																				
1.20																				
1.30																				
1.40																				
1.50																				
1.60																				
1.70																				
1.80																				
1.90																				
2.00																				
2.10																				
2.20																				
2.30																				
2.40																				
2.50																				
2.60																				
2.70																				
2.80																				
2.90																				
3.00																				

OBSERVACIONES: Las gravillas encontradas en la matriz arcillosa son rocas granodioritas.

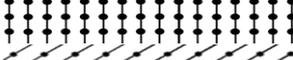
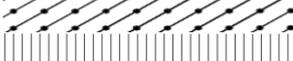
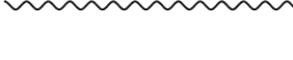
REGISTRO FOTOGRÁFICO POST - 05



Este ensayo se realizó en las zonas agrícolas de Torata ubicada al sur-oeste de la Plaza de Torata a 1km de distancia.



El tipo de suelo reconocido mediante el ensayo de posteo hasta los 1.00m. de profundidad se encuentra representado por arcillas inorganicas con gravillas .

GW		Grava bien graduada
GP		Grava mal graduada
GM		Grava limosa
GC		Grava arcillosa
SW		Arena bien graduada
SP		Arena mal graduada
SM		Arena limosa
SC		Arena arcillosa
ML		Limo inorganico de baja plasticidad
CL		Arcilla inorganica de baja plasticidad
OL		Limo o arcilla organica de baja plasticidad
MH		Limo inorganico de alta plasticidad
CH		Arcilla inorganica de alta plasticidad
OH		Limo o arcilla organica de alta plasticidad
PT		Turba u otros suelos altamente organicos

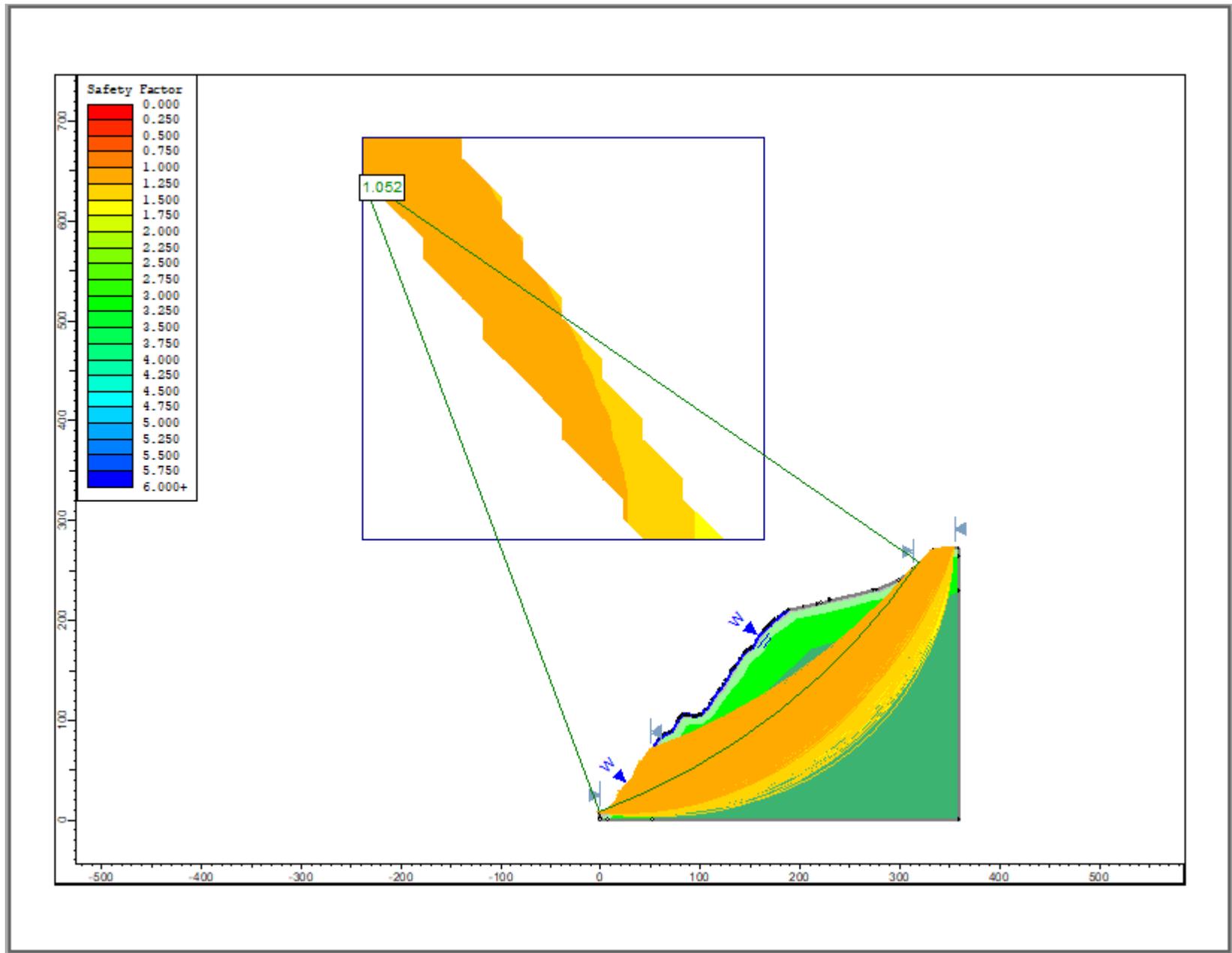
ANEXO 3

Imágenes

Cálculo del Factor de Seguridad

Slide 6.1

RESULTADO DEL SLIDE - FACTOR DE SEGURIDAD ESTATICO



RESULTADOS DEL SLIDE - FACTOR DE SEGURIDAD PSEUDOESTATICO

