

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

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

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia**

**“DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO ANTE  
OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA  
QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO  
SAMA LAS YARAS- TACNA”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

**TACNA – PERÚ**

**2021**


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

TESIS

“DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA  
DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO  
SAMA LAS YARAS- TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el 29 de Diciembre de 2020, con el siguiente jurado:

**Presidente**

  
MSC. Conrado Gabino Bedoya Jaén


**Miembro - Secretario**

  
Ing. Jonathan Zavaleta Curasi

**Miembro**

  
MSC. Pio Ángel Coila Valdez

**Asesor de Tesis**

  
MGR. Fredy Cleto Cabrera Olivera

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Miguel y Olga, por apoyarme en todo momento, a mis hermanos y a mi abuelita Justina.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por guiar mis pasos, darme paciencia y fortaleza para no rendirme antes los obstáculos.*

*A mis padres por su amor, su paciencia y su apoyo incondicional durante mi formación académica.*

*A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica -Geotecnia por sus enseñanzas que me guiaron durante mi formación académica. Un agradecimiento muy especial a mi asesor Ing. Fredy Cabrera Olivera, por transmitirme sus conocimientos y experiencia, por su apoyo y su paciencia.*

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE .....	v
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b> .....	<b>2</b>
1.1. Ubicación y accesibilidad al área de estudio.....	2
1.2. Clima.....	2
1.3. Relieve y drenaje.....	5
1.4. Flora .....	5
1.5. Fauna.....	5
1.6. Índice medio diario anual (IMDA).....	6
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	<b>7</b>
2.1. Planteamiento del problema .....	7
2.2. Formulación del problema .....	8
2.2.1. Problema principal .....	8
2.2.2. Problema específico .....	8
2.3. Objetivos .....	8
2.3.1. Objetivo general.....	8
2.3.2. Objetivos específicos .....	9
2.4. Hipótesis.....	9
2.4.1. Hipótesis general.....	9
2.4.2. Hipótesis específica.....	9
2.5. Variables e indicadores .....	9
2.5.1. Independiente .....	9
2.5.1.1. Indicadores .....	10
2.5.2. Dependientes .....	10
2.5.2.1. Indicadores .....	10
2.6. Justificación de la investigación.....	10
2.7. Alcances .....	10
<b>CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
3.1. Antecedentes de la investigación .....	11
3.2. Conceptos y definiciones .....	12
3.2.1. Antecedentes de flujos de lodo y escombros .....	12
3.2.1.1. Definición de quebrada .....	12
3.2.1.2. Clasificación de quebradas.....	14
3.2.1.3. Tipos de flujos que discurren por una quebrada .....	18

3.2.1.4. Clasificación para los flujos de lodo y escombros .....	20
3.2.1.5. Modelamientos de flujos de lodo y escombros .....	25
3.2.1.6. Fórmulas empíricas .....	29
3.2.2. Hidrología aplicada .....	35
3.2.2.1. Características geomorfológicas .....	36
3.2.2.2. Tiempo de retardo ( <i>TLAG</i> ) .....	43
3.2.2.3. Número de curva (CN).....	44
3.2.3. Descripción del modelo hidráulico FLO 2D .....	46
3.2.3.1. Ecuaciones básicas .....	47
3.2.3.2. Solución numérica.....	48
3.2.3.3. Lógica del FLO 2D .....	50
3.2.3.4. Modelo reológico .....	53
3.2.3.5. Medición de los parámetros reológico .....	60
3.2.3.6. Concentración volumétrica de sedimentos.....	64
3.2.4. Mecánica de suelos .....	66
3.2.4.1. Granulometría .....	66
3.2.4.2. Límites de Attemberg.....	69
3.2.4.3. Contenido de humedad.....	70
3.2.4.4. Densidad, densidad relativa y absorción.....	71
3.2.4.5. Densidad in situ.....	72
3.2.4.6. Sistema de clasificación de suelos .....	72
3.2.5. Evaluación de riesgos.....	77
<b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>79</b>
4.1. Trabajo previo .....	79
4.2. Trabajo de campo.....	79
4.3. Trabajo de laboratorio y gabinete .....	81
<b>CAPÍTULO V: MARCO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO .....</b>	<b>83</b>
5.1. Geomorfología regional .....	83
5.1.1. Faja Litoral.....	83
5.1.2. Cordillera de la Costa.....	83
5.2. Geomorfología local.....	83
5.2.1. Terrazas .....	83
5.2.2. Piedemonte o vertiente de detritos .....	84
5.2.3. Cárcavas .....	84
5.2.4. Lomadas .....	84
5.2.5. Abanicos aluviales .....	85
5.2.6. Mantos de arena .....	85
5.3. Geología local .....	85
5.3.1. Formación chocolate (TsJi-cho).....	86
5.3.2. Depósitos del cuaternario.....	86

5.3.2.1. Depósitos coluvio-deluvial (Qh-coldel).....	86
5.3.2.2. Depósitos marinos.....	87
5.3.2.3. Depósito deluvial (Qh-del).....	87
5.3.2.4. Depósitos eólicos (Qh-eo).....	88
<b>CAPÍTULO VI: GEODINÁMICA.....</b>	<b>89</b>
6.1. Geodinámica externa.....	89
6.1.1. Procesos de erosión.....	89
6.1.2. Procesos de deposición.....	91
6.2. Geodinámica interna.....	91
<b>CAPÍTULO VII: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA SIN NOMBRE.....</b>	<b>93</b>
7.1. Parámetros geomorfológicos.....	93
7.2. Precipitación máxima de 24 horas (P24).....	95
7.3. Calculo del tiempo de retardo (TLAG).....	96
7.4. Número de curva (CN).....	97
7.5. Hidrograma de avenida líquido (INFLOW).....	97
<b>CAPÍTULO VIII: APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO FLO 2D.....</b>	<b>104</b>
8.1. Simulación con el método numérico hidráulico.....	104
8.1.1. Información básica.....	104
8.1.2. Diagrama de flujo para la simulación con el FLO-2D.....	105
8.1.3. Definición de parámetros.....	108
8.1.4. Análisis de resultados para diferentes periodos de retorno.....	110
8.1.4.1. Periodo de retorno para 50 años.....	110
8.1.4.2. Periodo de retorno para 100 años.....	114
8.1.4.3. Periodo de retorno para 200 años.....	117
8.1.5. Calibrar el modelo.....	120
<b>CAPÍTULO IX: DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO.....</b>	<b>123</b>
9.1. Análisis de información.....	123
9.2. Identificación del área de influencia.....	123
9.3. Susceptibilidad del territorio.....	123
9.3.1. Análisis del factor desencadenante.....	124
9.3.2. Análisis de factores condicionantes.....	125
9.4. Parámetro de evaluación.....	129
9.5. Niveles de peligro.....	130
<b>CAPÍTULO X: ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....</b>	<b>131</b>
10.1. Análisis de vulnerabilidad.....	131
10.2. Factores de vulnerabilidad.....	131
10.2.1. Exposición.....	131
10.2.2. Fragilidad.....	131
10.2.3. Resiliencia.....	131

10.3.	Análisis de la dimensión social .....	132
10.3.1.	Análisis de la exposición de la dimensión social .....	133
10.3.2.	Análisis de la fragilidad de la dimensión social .....	135
10.3.3.	Análisis de la resiliencia de la dimensión social .....	138
10.4.	Análisis de la dimensión económica .....	143
10.4.1.	Análisis de la exposición de la dimensión económica .....	144
10.4.2.	Análisis de la fragilidad de la dimensión económica .....	146
10.4.3.	Análisis de la resiliencia de la dimensión económica .....	150
10.5.	Nivel de vulnerabilidad .....	154
	<b>CAPÍTULO XI: ANÁLISIS DE RIESGO</b> .....	156
11.1.	Nivel de riesgo .....	156
11.2.	Matriz de riesgo .....	156
	<b>CAPÍTULO XII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	158
12.1.	Conclusiones .....	158
12.2.	Recomendaciones.....	159
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	160
	ANEXOS .....	168

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitación promedio mensual del período 2002-2018 .....	3
Figura 2. Velocidad del viento mensual del período 2002-2018 .....	4
Figura 3. Vegetación escasa en el área de estudio .....	5
Figura 4. Ocurrencia de flujo de lodo ocurrido en el año 2017 .....	8
Figura 5. Esquema de una Quebrada Típica .....	13
Figura 6. Clasificación de flujos .....	23
Figura 7. Clasificación de flujos .....	25
Figura 8. Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujo .....	25
Figura 9. Movimiento idealizado de un flujo viscoso. (a) Planta, (b) y (c) sobreelevación durante y después .....	30
Figura 10. Longitud y perímetro de una cuenca .....	36
Figura 11. Hidrogramas para cuencas con la misma área y diferentes formas ante una lámina precipitada igual .....	38
Figura 12. Curvas hipsométricas en base al ciclo de erosión.....	40
Figura 13. Formas de hidrograma con relación a la pendiente .....	42
Figura 14. Esquema de pendiente media de una cuenca.....	43
Figura 15. Descarga del flujo a través de los elementos de grilla.....	51
Figura 16. Modelos de deformación del fluido.....	56
Figura 17. Viscosidad dinámica de muestras de flujos de lodo vs concentración de sedimentos.....	63
Figura 18. Esfuerzo de cedencia de muestras de flujos de lodo vs concentración de sedimentos.....	63
Figura 19. Curva Granulométrica .....	67
Figura 20 Límites de consistencia.....	69
Figura 21 Partícula de agregado húmedo.....	71
Figura 22. Levantamiento topográfico.....	79
Figura 23. Mapeo geomorfológico.....	80

Figura 24. Mapeo geológico. ....	80
Figura 25. Realización de ensayos en Laboratorio de Mecánica de suelos de la UNJBG.....	82
Figura 26. Terraza con una altura aproximada de 2m.....	84
Figura 27. Se observa lomadas en el área de estudio.....	85
Figura 28. Depósitos coluvio- deluvial en las laderas de la quebrada .....	86
Figura 29. Depósitos marinos, presencia de conchillas .....	87
Figura 30. Vista hacia el sureste, se aprecia depósitos deluviales en la Quebrada Sin Nombre .....	87
Figura 31. Depósitos eólicos presente en laderas de la quebrada. ....	88
Figura 32. Formación de surcos por escorrentía superficial (arroyada difusa)....	90
Figura 33. Se observa la formación de una cárcava.....	91
Figura 34. Curva Hipsométrica de la Quebrada Sin Nombre .....	93
Figura 35. Histograma de frecuencias altimétricas de la Quebrada Sin Nombre .	94
Figura 36. Eje longitudinal del cauce principal de la Quebrada Sin Nombre.....	94
Figura 37. Modelo de Cuenca .....	98
Figura 38. Método SCS de abstracciones .....	99
Figura 39. Método SCS- Tiempo de retardo.....	99
Figura 40. Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =50 años. ....	100
Figura 41. Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para Tr = 50 años.....	101
Figura 42. Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =100 años. ....	101
Figura 43. Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para Tr = 100 años.....	102
Figura 44. Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =200 años. ....	102
Figura 45. Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para Tr = 200 años.....	103
Figura 46. Diagrama de flujo del software FLO-2D.....	105
Figura 47. Elevación de la superficie del terreno.....	107
Figura 48. Profundidades máximas de flujo para un Tr = 50 años .....	111
Figura 49. Máxima velocidad de flujo para un Tr = 50 años.....	112

Figura 50	Máxima velocidad de flujo expresada en vectores, Tr= 50 años.....	112
Figura 51.	Mapa de peligro expresada en grillas, Tr= 50 años .....	113
Figura 52.	Mapa de peligro expresada en polígonos, Tr= 50 años .....	113
Figura 53.	Profundidades máximas de flujo para un Tr = 100 años .....	114
Figura 54.	Máxima velocidad de flujo para un Tr= 100 años.....	115
Figura 55.	Máxima velocidad de flujo expresada en vectores, Tr= 100 años.....	115
Figura 56.	Mapa de peligro expresada en grillas, Tr= 100 años .....	116
Figura 57.	Mapa de peligro expresada en polígonos, Tr= 100 años .....	116
Figura 58	Profundidades máximas de flujo para un Tr = 200 años .....	117
Figura 59.	Máxima velocidad de flujo para un Tr= 200 años.....	118
Figura 60.	Máxima velocidad de flujo expresada en vectores, Tr= 200 años.....	118
Figura 61.	Mapa de peligro expresada en grillas, Tr= 200 años .....	119
Figura 62.	Mapa de peligro expresada en polígonos, Tr= 200 años .....	119
Figura 63.	Marca de agua, altura aproximada de 3 metros. ....	121
Figura 64.	Marca de agua, altura aproximada de 4.2 metros. ....	121
Figura 65.	Comparación de resultados con evidencias de campo.....	122

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de delimitación del área de estudio .....	2
Tabla 2	Temperatura mensual del período 2002-2018 .....	3
Tabla 3	Humedad relativa del período 2002-2018.....	4
Tabla 4	Flujo vehicular, Unidad de peaje Pozo Redondo.....	6
Tabla 5	Clasificación de quebradas por riesgo .....	14
Tabla 6	Clasificación por localización.....	15
Tabla 7	Clasificación por pendiente.....	15
Tabla 8	Clasificación por Área .....	16
Tabla 9	Clasificación por Naturaleza del suelo.....	16
Tabla 10	Valores de ponderación para diferentes parámetros. ....	17
Tabla 11	Clasificación de tipos de flujo.....	24
Tabla 12	Fórmulas empíricas de la velocidad frontal .....	31
Tabla 13	Fórmulas para el cálculo de los coeficientes de resistencia .....	32
Tabla 14	Clasificación de suelos hidrológicos.....	45
Tabla 15	Números de curva de escorrentía para usos de suelos .....	46
Tabla 16	Parámetros de resistencia para flujo laminar .....	59
Tabla 17	Propiedades de las matrices de flujos de lodo.....	61
Tabla 18	Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función de Cv .....	62
Tabla 19	Comportamiento del flujo de lodo como una función de Cv .....	65
Tabla 20	Valores del coeficiente de uniformidad .....	68
Tabla 21	Valores del coeficiente de Curvatura.....	68
Tabla 22	Valores del coeficiente de uniformidad y curvatura .....	69
Tabla 23	Clasificación de suelos según índice de Plasticidad .....	70
Tabla 24	Clasificación ASSTHO .....	73
Tabla 25	Clasificación SUCS. ....	75
Tabla 26	Clasificación del Nivel de Riesgo.....	77
Tabla 27	Intensidad de crecidas de aguas. ....	78

Tabla 28 Intensidad de flujos o crecidas de barro.....	78
Tabla 29 Ensayos y Normas.....	81
Tabla 30 Parámetros geomorfológicos para la Quebrada Sin Nombre.....	95
Tabla 31 Ubicación de la estación meteorológica.....	96
Tabla 32 Precipitación máxima en 24 horas (mm) .....	96
Tabla 33 Cálculo del Tiempo de retardo (Tr) .....	97
Tabla 34 Caudales máximos .....	104
Tabla 35 Salidas del programa FLO-2D para un TR=50 años .....	111
Tabla 36 Salidas del programa FLO-2D para un TR=100 años .....	114
Tabla 37 Salidas del programa FLO-2D para un TR=200 años .....	117
Tabla 38 Coordenadas de puntos de control .....	120
Tabla 39 Factores de Susceptibilidad.....	123
Tabla 40 Matriz de comparación parámetro precipitación. ....	124
Tabla 41 Matriz de normalización del parámetro precipitación .....	124
Tabla 42 Matriz de comparación de los factores condicionantes .....	125
Tabla 43 Matriz de normalización de los factores condicionantes .....	125
Tabla 44 Matriz de comparación del parámetro geomorfología.....	126
Tabla 45 Matriz de normalización del parámetro geomorfología.....	126
Tabla 46 Matriz de comparación del parámetro pendiente.....	127
Tabla 47 Matriz de normalización del parámetro pendiente.....	127
Tabla 48 Matriz de comparación del parámetro geología.....	128
Tabla 49 Matriz de normalización del parámetro geología .....	128
Tabla 50 Matriz de comparación del parámetro de evaluación. ....	129
Tabla 51 Matriz de normalización del parámetro de evaluación. ....	129
Tabla 52 Niveles de peligro. ....	130
Tabla 53 Matriz de peligro.....	130
Tabla 54 Parámetros de la dimensión social.....	132
Tabla 55 Matriz de comparación de los factores de la dimensión social.....	132

Tabla 56 Matriz de normalización de los factores de la dimensión social. ....	133
Tabla 57 Parámetros del factor exposición de la dimensión social. ....	133
Tabla 58 Matriz de comparación del parámetro personas que transitan.....	134
Tabla 59 Matriz de normalización del parámetro personas que transitan.....	134
Tabla 60 Parámetros del factor fragilidad de la dimensión social. ....	135
Tabla 61 Matriz de comparación del parámetro grupo étnico. ....	135
Tabla 62 Matriz de normalización del parámetro grupo étnico. ....	136
Tabla 63 Matriz de comparación del parámetro tipo de discapacidad.....	137
Tabla 64 Matriz de normalización del parámetro tipo de discapacidad.....	137
Tabla 65 Parámetros del factor resiliencia de la dimensión social. ....	138
Tabla 66 Matriz de normalización del factor resiliencia de la dimensión social.	139
Tabla 67 Matriz de comparación del parámetro conocimiento sobre ocurrencia de desastres. ....	140
Tabla 68 Matriz de normalización del parámetro conocimiento sobre ocurrencia de desastres.....	140
Tabla 69 Matriz de comparación del parámetro capacitación en temas de GR. .	141
Tabla 70 Matriz de normalización del parámetro capacitación en temas de GR.	141
Tabla 71 Matriz de comparación del parámetro participación en campañas. ....	142
Tabla 72 Matriz de normalización del parámetro participación en campañas....	142
Tabla 73 Parámetros de la dimensión económica. ....	143
Tabla 74 Matriz de comparación de los factores de la dimensión económica....	143
Tabla 75 Matriz de normalización de los factores de la dimensión económica.	144
Tabla 76 Parámetros del factor exposición de la dimensión económica. ....	144
Tabla 77 Matriz de comparación del parámetro localización de la carretera. ....	145
Tabla 78 Matriz de normalización del parámetro localización de la carretera. ..	145
Tabla 79 Parámetros del factor fragilidad de la dimensión económica. ....	146
Tabla 80 Matriz de normalización del factor fragilidad de la dimensión económica. ....	146

Tabla 81 Matriz de comparación del parámetro tipo de vehículo.....	147
Tabla 82 Matriz de normalización de pares del parámetro tipo de vehículo. ....	147
Tabla 83 Matriz de comparación del parámetro estado de conservación de la carretera.....	148
Tabla 84 Matriz de normalización del parámetro estado de conservación de la carretera.....	148
Tabla 85 Matriz de comparación del parámetro empresas de transporte expuesto. .....	149
Tabla 86 Matriz de normalización del parámetro empresas de transporte expuesto .....	149
Tabla 87 Parámetros del factor resiliencia de la dimensión económica. ....	150
Tabla 88 Matriz de normalización del factor resiliencia de la dimensión económica. ....	150
Tabla 89 Matriz de comparación del parámetro tipo de actividad económica. ..	151
Tabla 90 Matriz de normalización del parámetro tipo de actividad económica.	151
Tabla 91 Matriz de comparación del parámetro ocupación principal.....	152
Tabla 92 Matriz de normalización del parámetro ocupación principal.....	152
Tabla 93 Matriz de comparación del parámetro ingreso promedio mensual. ....	153
Tabla 94 Matriz de normalización del parámetro ingreso promedio mensual....	153
Tabla 95 Niveles de vulnerabilidad.....	154
Tabla 96 Matriz de vulnerabilidad. ....	155
Tabla 97 Niveles de riesgo.....	156
Tabla 98 Matriz de riesgo. ....	157
Tabla 99 Clasificación del nivel de riesgo. ....	157

## RESUMEN

El área de estudio se ubica en el Distrito de Sama Las Yaras, Distrito y Provincia de Tacna, a una distancia de 700 m aproximadamente de la Quebrada de Burros. La quebrada presenta intensa actividad geodinámica, en épocas de precipitaciones, llega a ocasionar pérdidas humanas y económicas. Se realizó el levantamiento topográfico, mapeo geológico, geomorfológico, estudio de mecánica de suelos, así como también, investigaciones hidrológicas, con el objetivo de caracterizar la cuenca.

Para determinar el comportamiento del flujo de lodo se optó por utilizar el software Flo- 2D, en estudios anteriores mostró gran eficiencia al momento de generar mapas de peligros por flujo de lodo y escombros. Para el uso de este software es necesario tener información de la zona de estudio, como: topografía a detalle, parámetros hidrológicos (Precipitación, Coeficiente de Manning, etc.) y características del tipo de suelo.

Con la información antes mencionada se han generado tres escenarios de simulación, con hidrogramas líquidos con caudales pico de 17 m<sup>3</sup>/s; 34,3 m<sup>3</sup>/s y 40,2 m<sup>3</sup>/s para tiempos de retorno de 50, 100 y 200 años respectivamente. Se realizó un mapa de peligro, mapa de vulnerabilidad y un mapa de riesgos, teniendo como fuente el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 2da versión del CENEPRED, para realizar los mapas mencionados anteriormente, se tomó en cuenta la Dimensión Social y Económica, considerando la data del flujo vehicular obtenido de la Unidad de Peaje Pozo Redondo.

El nivel de peligro, el nivel de vulnerabilidad y el nivel de riesgo que presenta la carretera ante la ocurrencia de un flujo de lodo es muy alta.

**Palabras clave:** Quebrada, FLO-2D, Flujo de lodo y escombros, riesgo.

## **ABSTRACT**

The study area is located in the district of Sama Las Yaras, District and Province of Tacna, distance of approximately 700 m from Quebrada de Burros. The ravine presents intense geodynamic activity, in times of rainfall, it causes human and economic losses. The topographic survey was carried out, geological and geomorphological mapping, soil mechanics study, also hydrological investigations were carried out, in order to characterize the basin.

To determine the behavior of the mud flow, it was decided to use the Flo-2D software, in previous studies it showed great efficiency at the time of generating maps of dangers due to mud and debris flow. To use this software, is necessary to have information about the study area, such as: detailed topography, hydrological parameters (Precipitation, Manning's coefficient, etc.) and characteristics of the soil type.

With this information, three simulation scenarios have been generated, with liquid hydrographs with peak flows of 17 m<sup>3</sup>/s; 34.3 m<sup>3</sup>/s and 40.2 m<sup>3</sup>/s for return times of 50, 100 and 200 years respectively. A Hazard Map, Vulnerability Map and a Risk Map were made, having as a source the Manual for the Evaluation of Risks caused by Natural Phenomena, 2nd version of CENEPRED, to make the aforementioned maps, the Social and Social Dimension was taken into account. Economic, considering the data of the Vehicle Flow obtained from the Pozo Redondo Toll Unit.

The Level of Danger, the Level of Vulnerability and the Level of Risk that the Highway presents in the event of a mud flow is Very High.

**Keywords:** Ravine, FLO-2D, Mud and debris flow, Risk.

## INTRODUCCIÓN

En nuestro país, cada año escuchamos de la ocurrencia de huaycos e inundaciones, ocasionando pérdidas de viviendas, obras civiles, zonas de cultivo y sobre todo pérdidas humanas. El fenómeno natural que desencadena todo ello es el Fenómeno del Niño (FEN), alterando las condiciones climatológicas, provocando temporadas de fuertes precipitaciones.

La ciudad de Tacna no es ajena a este tipo de problemas, la Quebrada Sin Nombre, presenta una intensa actividad geodinámica, que en muchas ocasiones ha producido pérdidas económicas y humanas.

La presente investigación, busca generar mapa de peligros, mapa de vulnerabilidad y mapa de riesgos por flujo de lodo y escombros, así como también, aportar información para la realización de estructuras que mitiguen la ocurrencia de flujos. Para ello se vio por conveniente utilizar el software Flo- 2D.

El uso de este modelo numérico, facilita el cálculo de las ecuaciones complejas que gobiernan los flujos de lodo y escombros, pero requiere información de la zona a investigar, como: topografía a detalle, parámetros hidrológicos (Precipitación, Coeficiente de Manning, etc).

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. Ubicación y accesibilidad al área de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la provincia y región de Tacna, a una altitud que varía desde los 00 m.s.n.m. hasta los 580 m.s.n.m. Como se puede apreciar en la lámina N° PU-01. Geográficamente la zona de estudio se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas UTM WGS 84 -19K (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Coordenadas de delimitación del área de estudio*

Coordenadas	Punto de delimitación					
	A	B	C	D	E	F
<b>Este</b>	306031	306105	307951	308548	307347	306275
<b>Norte</b>	8005229	8006542	8008777	8008538	8005959	8005144

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para acceder a la Quebrada Sin Nombre se parte desde la ciudad de Tacna, se toma la Av. Ejército, desde el cual se sigue por la vía de la Costanera Sur hasta llegar a la Quebrada Sin Nombre (74.9 km aproximadamente desde el centro de la Ciudad de Tacna).

### 1.2. Clima

Según la clasificación del clima de Köppen-Geiger, el área de estudio se clasifica como BWh, clima árido o desértico.

La información climática y meteorológica corresponde a la Estación Ite, con latitud 17°51'36.3'', longitud 70°57'5.3'' y altura de 166 m.s.n.m.

La influencia oceánica produce un régimen térmico con poca amplitud en la temperatura atmosférica tanto diario como anual, siendo que, en los meses de diciembre a marzo se tienen valores altos comprendidos entre 23.9°C y 27 °C. En los meses de junio a septiembre se tienen valores más bajos comprendidos entre 13°C y 14.9 °C (Tabla 2).

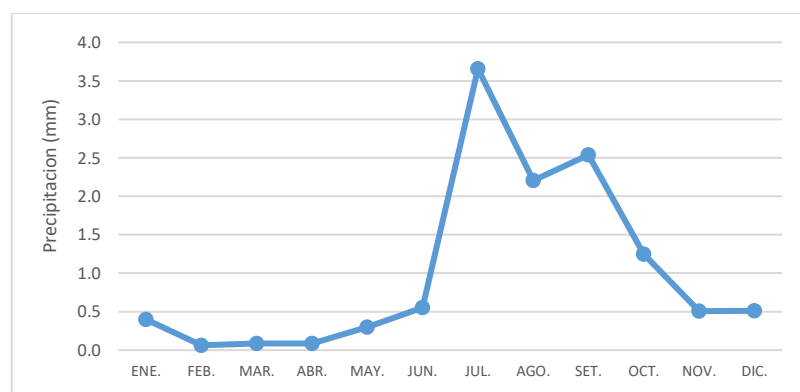
**Tabla 2**

*Temperatura mensual del período 2002-2018*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp. Máx. media(°C)	26.0	26.6	25.8	23.7	21.5	19.4	18.2	18.0	18.5	20.2	22.2	24.2
Temp. media (°C)	23.0	23.6	22.6	20.6	18.6	16.7	15.7	15.5	16.1	17.6	19.5	21.3
Temp. Mín. media (°C)	20.1	20.6	19.5	17.5	15.7	14.1	13.2	13.1	13.7	15.0	16.7	18.5

Fuente: SENAMHI, 2018.

Las precipitaciones más bajas se presentan entre los meses de enero hasta abril; sin embargo, entre los meses de julio a septiembre se tienen las mayores precipitaciones del año (Fig. 1).



**Figura 1.** Precipitación promedio mensual del período 2002-2018 (SENAMHI, 2018)

La humedad relativa es un indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. En nuestra zona de estudio durante los meses de

junio a septiembre y en el mes de diciembre se presentan altos valores, mientras que en los meses entre febrero y abril se tienen valores bajos (Tabla 3).

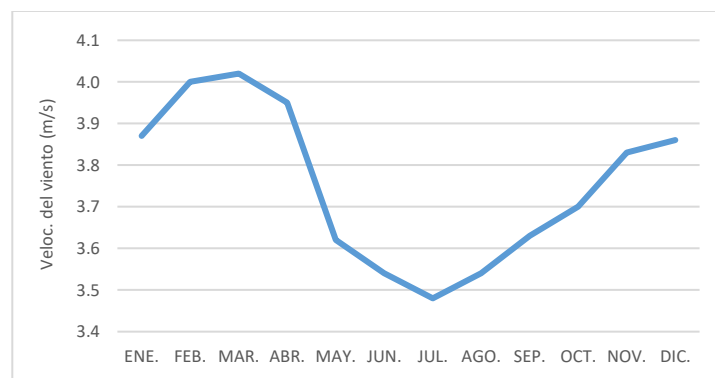
**Tabla 3**

*Humedad Relativa del período 2002-2018*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Hum. Relat. Máx. (%)	85.3	84.2	86.8	87.8	87.9	89.1	87.9	89.6	104.2	86.4	84.9	122.6
Hum. Relat. Mín. (%)	70.6	68.2	71.7	62.4	74.0	76.0	79.2	81.9	77.2	71.4	73.1	81.0
Hum. Relat. Media (%)	78.0	76.2	79.3	75.1	80.9	82.6	83.5	85.8	90.7	78.9	79.0	101.8

Fuente: SENAMHI, 2018.

La dirección del viento es principalmente del sur y suroeste con velocidades que varían entre 3 y 4,2 m/s. Entre los meses de febrero y abril se tiene una mayor velocidad del viento, con 4 m/s. Sin embargo, entre los meses de junio a septiembre se tiene menor velocidad del viento con 3,5m/s. (Fig. 2)



**Figura 2.** Velocidad del viento mensual del período 2002-2018 (SENAMHI, 2018)

### **1.3. Relieve y drenaje**

En la actualidad el modelado del relieve lo realiza el viento, que erosiona por deflación (barrido por el viento de los derrubios deleznable y finos) y la corrosión (ataque a las rocas por el viento armado por materiales que transporta) y las precipitaciones que producen el arrastre de los sedimentos sueltos (arenas), generando la erosión en cárcavas. El drenaje en nuestra zona de estudio es de tipo subparalelo.

### **1.4. Flora**

La zona de estudio al presentar un clima desértico, ocasiona que la vegetación sea escasa, dejando al suelo al desnudo (Fig. 3).



**Figura 3.** Vegetación escasa en el área de estudio

### **1.5. Fauna**

La población que habita cerca de la zona se dedica a la crianza de ganado vacuno, ovino. Existen animales en estado salvaje como: burros, zorros y liebres.

## 1.6. Índice medio diario anual (IMDA)

La Carretera de la Costanera Sur, presenta el siguiente IMDA:

**Tabla 4**

*Flujo Vehicular, Unidad de Peaje Pozo Redondo*

AÑOS	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
ENE	14,027	16,585	15,824	17,706	19,575	22,374	24,851	130,942
FEB	14,788	15,417	15,217	16,878	21,079	22,116	23,465	128,960
MAR	14,030	14,913	14,048	13,965	18,368	18,709	21,137	115,170
ABR	12,774	12,429	12,951	12,677	16,472	17,302	16,781	101,386
MAY	12,736	13,774	13,499	14,912	16,259	16,935	17,464	105,579
JUN	12,773	12,587	12,343	13,868	15,644	16,792	17,079	101,086
JUL	13,262	13,534	13,789	15,348	17,990	17,876	18,447	110,246
AGO	13,339	13,351	14,066	14,852	17,793	18,547	19,885	111,833
SET	12,295	12,052	12,408	13,636	16,240	16,906	17,837	101,374
OCT	13,363	13,094	14,194	14,911	17,471	17,789	-	90,822
NOV	13,470	13,435	14,303	15,773	17,212	17,730	-	91,923
DIC	16,396	15,887	17,225	19,163	21,194	22,334	-	112,199
TOTAL	163,253	167,058	169,867	183,689	215,297	225,410	176,946	1,301,520

Fuente: Provías, 2018.

## **CAPÍTULO II**

### **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

#### **2.1. Planteamiento del problema**

En nuestro país se observa que las obras civiles quedan dañadas por la presencia de flujos de escombros y lodos, debido a la activación de las quebradas.

Es por tal motivo que en el presente trabajo se quiere estudiar la Quebrada Sin Nombre aledaña a la Quebrada de los Burros, ubicado en el Distrito de Sama Las Yaras, Tacna. Esta quebrada presenta antecedentes de ocurrencia de flujo lodo, como:

- 20 de enero de 2008, se produjo flujo de lodo, ocasionando la muerte de un ingeniero de sistemas.
- 21 de julio de 2009, se registró un flujo de lodo, no hubo pérdidas humanas, solo paralización de tránsito, el personal de la Policía de Carreteras y de Seguridad Ciudadana de Ite desvió el tránsito y realizaron trabajos de limpieza.
- 25 de marzo de 2015, se produjo un flujo de lodo, cubriendo aproximadamente 5 km de la vía costanera, quedando atrapados cinco vehículos, no hubo pérdidas humanas.
- 03 de julio del 2017, presencia de flujo de lodo, pero no hubo pérdidas humanas, solo paralización del tránsito, ya que la carretera se encontraba obstaculizada.
- 10 de septiembre de 2017, se produjo el ingreso de flujo de lodo, siendo afectada la carretera Costanera durante unas horas.

- 24 de julio de 2019, se produjo un flujo de lodo, no hubo pérdidas humanas, solo paralización de tránsito, el personal de la Policía de Carreteras y de Seguridad Ciudadana de Ite desvió el tránsito y realizaron trabajos de limpieza.



**Figura 4.** Ocurrencia de flujo de lodo ocurrido en el año 2017 (Provías 2017)

## **2.2. Formulación del problema**

### **2.2.1. Problema principal**

¿Es posible que ocurra un flujo de lodo de mayor magnitud a lo ocurrido en los años 2008, 2009, 2015, 2017 y 2019?

### **2.2.2. Problema específico**

¿Cómo se podría mitigar el impacto ocasionado por el flujo de lodo en la Quebrada Sin Nombre?

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1. Objetivo general**

Realizar un análisis de riesgo por desborde en la Quebrada Sin Nombre, por medio del modelo numérico FLO-2D.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

- Reconocer la geomorfología y geología del área de estudio.
- Utilizar el modelo numérico bidimensional FLO- 2D para simular los flujos hiperconcentrados denominados como flujos de lodo.
- Determinar el nivel de riesgo del área en estudio.
- Plantear la prevención y mitigación ante la ocurrencia de un flujo de lodo.
- Obtener el Título de Ingeniero Geólogo- Geotécnico.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si es posible que en la Quebrada Sin Nombre se den eventos de flujos de lodo similares o mayores a los que sucedieron en los años 2008, 2009, 2015, 2017 y 2019.

### **2.4.2. Hipótesis específica**

Generando mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo, con un plan de mitigación, es posible prevenir y disminuir las pérdidas de vida y bienes materiales en la Quebrada Sin Nombre.

## **2.5. Variables e indicadores**

### **2.5.1. Independiente**

- Geología.
- Frecuencia de Precipitaciones.
- Pendiente.

#### **2.5.1.1. Indicadores**

- Topografía de la zona.
- Ensayos estándar de mecánica de suelos.

#### **2.5.2. Dependientes**

- Riesgo geológico por flujo de lodo.

##### **2.5.2.1. Indicadores**

- Grado de afectación de la vía y pérdida de vías humanas.

### **2.6. Justificación de la investigación**

La propuesta de este trabajo de investigación es determinar las máximas avenidas a las que estaría sometida está quebrada, así como la cantidad de sedimentos que llevan en suspensión, sabiendo que en años anteriores ocasionó pérdidas no solo económicas, sino también casos de pérdidas de vidas humanas. Para ello se planteará propuestas de mitigación ante el flujo de lodo.

### **2.7. Alcances**

Con el estudio de riesgo, se hará conocer a las autoridades pertinentes, instituciones y población involucrada, la vulnerabilidad de la zona en estudio ante el flujo de lodos para que puedan tomar acciones de control y mitigación para que no se produzcan pérdidas humanas y materiales, tal como ocurrieron en los años 2008, 2009, 2015 y 2017.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Antecedentes de la investigación**

Oviedo (2009), realizó la simulación de flujos en el FLO 2D de la quebrada del río Saphy, ubicada en la ciudad del Cuzco. La quebrada presenta una actividad geodinámica fuerte, identificándose siete deslizamientos activos, los cuales pueden colapsar, ya sean por precipitaciones o movimientos sísmicos. La simulación la reali

Castillo (2006), simula los flujos de lodo y escombros en la Quebrada Paihua, a través del modelo numérico computacional FLO 2D. La Quebrada Paihua es un gran peligro para la ciudad de Matucana y ha sido clasificada por el INDECI como una quebrada de “Alto Peligro”.

Gamion (2014), define las zonas vulnerables al transporte de flujo de escombros y lodo ante un evento de máximas avenidas en la subcuenca del río Shullcas, ubicada en la provincia de Huancayo, Junín, Perú; utilizando un modelo hidráulico bidimensional en Flo 2D.

Valderrama (2006), utiliza el software FLO 2D para construir un mapa de peligros de las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo, simulando los diferentes tipos de flujos como huaycos y aluviones. Estas ciudades se ubican en el valle de Vilcanota, siendo conocido no solo por su hermosura paisajista, sino también por su inmensa riqueza arqueológica y agrícola.

Tisnado (2013), determina las zonas vulnerables en el cauce del Río Seco, utilizando como herramienta básica el software HecRas. En los resultados de su investigación demuestra las causas del colapso de los muros de contención mediante una simulación del cauce natural, como también

determina que el cauce del Río Seco es el principal peligro durante los periodos lluviosos.

Palza (2014), efectúa una caracterización del régimen espacial y temporal de las sequías en las cuencas hidrográficas de la región Tacna, en base a los registros disponibles en las estaciones pluviométricas operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Dirección Regional Sectorial de Agricultura Tacna (DRSAT) y Proyecto Especial Tacna (PET) para el período 1964-2012.

Banda (2014), presenta la modelación hidrodinámica para flujos hiperconcentrados de sedimentos mediante el uso del modelo FLO 2D, aplicado en el Río Seco, que se encuentra en el sector NE del Distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la Provincia y Departamento de Tacna.

## **3.2. Conceptos y definiciones**

### **3.2.1. Antecedentes de flujos de lodo y escombros**

#### **3.2.1.1. Definición de quebrada**

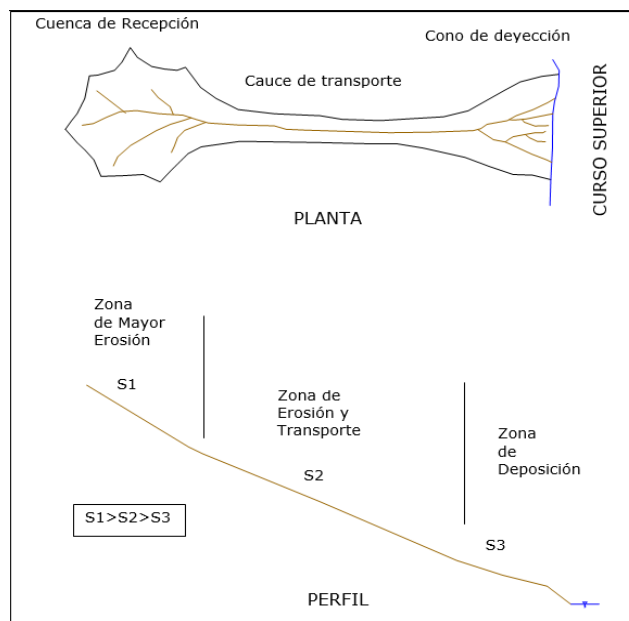
Palomino (2019), define “Una quebrada es una forma topográfica de pequeña extensión, producto de ciertos agentes geológicos como el viento o la fuerza de la precipitación y escorrentía en una región de terreno erosionable”. De acuerdo a Castillo (2006), los huaycos se pueden producir en quebradas medianas (de 2.5 a 50 Km<sup>2</sup>) y en quebradas grandes (de 50 a 150 Km<sup>2</sup>). Según la diferencia del tamaño de la quebrada y la pendiente se pueden desarrollar diferentes tipos de flujos de escombros.

Palomino (2019), indica que en una quebrada se reconocen tres zonas específicas:

*Cuenca de recepción:* es la zona ancha y más elevada donde se intercepta el agua de lluvias, los taludes son muy pronunciados, provocando que la erosión sea muy activa. En esta zona suelen identificarse una red de canales pequeños, inestables, que confluyen aguas abajo.

*Cuenca de transporte:* Zona de confluencia de red de canales pequeños donde se forma un canal más angosto de curso estable, y de mayor profundidad. Su función principal es transportar el material erosionado y aportar material del cauce debido a erosión lateral, derrumbes y deslizamientos, dependiendo de las características del suelo o roca.

*Cono de deyección:* Zona de deposición del material erosionado. Se caracteriza por tener menor pendiente y acumular todo el material transportado del resto de la cuenca.



**Figura 5.** Esquema de una Quebrada Típica (Arancibia, 1998)

### 3.2.1.2. Clasificación de quebradas

Arancibia (1998), en su tesis propone una “clasificación de quebradas con respecto al riesgo que presenta frente a una obra civil. La presente aplicación se basó en características de diferentes quebradas ubicadas en el país”.

Para la clasificación de quebradas se utilizó la siguiente tabla basada en valores de ponderación:

**Tabla 5**

*Clasificación de quebradas por riesgo*

Clase	Riesgo	Valores de Ponderación - Puntaje
TIPO I	Alto	45 – 65
TIPO II	Moderado	36 – 44
TIPO III	Bajo	21 - 35

Fuente: Castillo, 2006.

El procedimiento a seguir se basa en asignar un puntaje a cada parámetro que define una quebrada, siendo: localización, pendiente, área, naturaleza del suelo, tipo de vía; según los cuadros que son presentados a continuación:

#### Clasificación por localización

Consiste en clasificar la quebrada para una respectiva vertiente según sea su ubicación. Una vez ubicada la vertiente correspondiente se procede a realizar las combinaciones según la tabla siguiente:

**Tabla 6***Clasificación por Localización*

Vertiente del Pacífico			Vertiente del Atlántico	Vertiente del Lago Titicaca
Norte b	Centro c	Sur d	a	c
Chala o Costa b			Omagua o Selva Baja b	
Yunga a			Selva Alta a	
Quechua a			Yunga Fluvial b	
Suni b			Quechua a	
Puna c			Suni b	Suni b
Janca d			Puna c	Puna c
			Janca d	Janca d

Fuente: Castillo, 2006.

A: si se dan las combinaciones: aa o ab

B: si se dan las combinaciones: bb o ac

C: si se dan las combinaciones: cc, ad o bc

D: si se dan las combinaciones: bd, cd o dd

Clasificación por pendiente**Tabla 7***Clasificación por Pendiente*

A: Fuerte	$S < 10 \%$
B: Mediana	$10 \% < S < 40 \%$
C: Pequeña	$40 \% < S$

Fuente: Castillo, 2006.

### Clasificación por área

**Tabla 8**

*Clasificación por Área*

A: Grande	$50 \text{ Km}^2 < A < 150 \text{ Km}^2$
B: Mediana	$2.5 \text{ Km}^2 < A < 50 \text{ Km}^2$
C: Pequeña	$A < 2.5 \text{ Km}^2$

Fuente: Castillo, 2006.

### Clasificación por naturaleza del suelo

**Tabla 9**

*Clasificación por Naturaleza del suelo*

A: Alta contribución	Material de laderas; suelos no cohesivos, sueltos, áreas de avalancha, con alturas $>5\text{m}$ y con $S_{\text{laderas}} > 35^\circ$
B: Moderada contribución	Material de laderas en suelos cohesivos y densos con alturas $>5\text{m}$ . En suelos no cohesivos y sueltos $< 5\text{m}$ y con $S_{\text{laderas}}$ entre $15^\circ$ y $45^\circ$
C: Baja contribución	Lechos de roca sana, y o fracturada, material de las riberas denso con alturas $<5\text{m}$ y con $S_{\text{laderas}} < 15^\circ$

Fuente: Castillo, 2006.

Una vez denominado la letra A, B, C o D para los diferentes parámetros, obtenemos sus puntajes de la siguiente tabla:

**Tabla 10**

*Valores de ponderación para diferentes parámetros*

Localización	A 5	B 4	C 3	D 2
Pendiente	A 4	B 3	C 2	
Área	A 3	B 2	C 1	
Suelo	A 3	B 2	C 1	
Tipo de Vía	A 50 Duales y 1era Clase	B 30 2da y 3ra Clase	C 15 Trochas	

Fuente: Castillo, 2006.

Finalmente, obtenemos la suma de los valores de ponderación para los diferentes parámetros, clasificando a la quebrada según la Tabla 6 (Tipo I, II, III).

Aplicando la metodología expuesta para la Quebrada Sin Nombre, tenemos:

Nombre: Quebrada Sin Nombre

Ubicación: 700 m de distancia de la Quebrada de Burros, Carretera Costanera.

Área de drenaje: 3.35 km<sup>2</sup>

Pendiente promedio: 13.10 %

Tipo de vía: Su desembocadura atraviesa la Carretera Costanera

De la tabla 6 se obtiene el peso por localización

Vertiente del Pacífico- Sur: d

Región: Chala o Costa =b

Resultado:  $bd = D$

Desde la tabla 7 hasta la tabla 9 se obtienen valores para definir un tipo de letra (A, B, C), al que se le asigna el puntaje correspondiente en base a la tabla 10:

Localización:	D = 2
Pendiente:	B = 3
Área:	B = 2
Naturaleza del suelo:	B = 2
Tipo de infraestructura	B = 30
Total =	39

Del puntaje obtenido, según la tabla 5, la Quebrada Sin Nombre se considera una Quebrada de Riesgo Moderado, del Tipo II.

### **3.2.1.3. Tipos de flujos que discurren por una quebrada**

#### **Avenidas de agua**

Flujos con una carga normal de transporte de sedimentos, que discurre por el cauce de una quebrada en régimen predominantemente turbulento. La cantidad de sedimento en suspensión es insuficiente para afectar el comportamiento del agua. Las propiedades del fluido Newtoniano gobiernan a este tipo de flujo. (Fonseca, 2012)

#### **Flujos de lodo**

Según Fonseca (2012) “Los flujos de lodo generalmente consisten de altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas)”. De

acuerdo a experimentos de Wan y Chien (1989), un fluido se convierte en una mezcla lechosa a una concentración de partículas finas de solamente  $90 \text{ kg/m}^3$ . A medida que la concentración de finos aumenta, la estructura de los sedimentos se flocula formándose una especie de cohesión de mezcla suelo-agua. Según Varnes (1958) “los flujos de lodo son distinguidos por la presencia de al menos 50 % de arena, sedimento y partículas del tamaño de la arcilla”.

### **Flujos hiperconcentrados**

El flujo hiperconcentrado está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua. Predominan las partículas granulares (arenas, gravas, cantos rodados y bloques); por lo tanto, la mezcla no tiene cohesión. Se considera un flujo como hiperconcentrado si la concentración de sedimentos (igual al volumen de sedimentos entre el volumen de sedimentos más agua) varía entre 20 % y 60 % en volumen, valor que corresponde a un peso específico de  $2.0 \text{ ton/m}^3$  de la mezcla aproximadamente. Cuando las concentraciones de sólidos son bajas los materiales se concentran en la parte inferior del flujo, pero al aumentar la concentración, las partículas se dispersan a través de todo el flujo. Al aumentar la concentración de sedimentos se pueden convertir en flujos de detritos, es decir, la dispersión inducida por el cortante entre partículas va aumentando. Al disminuir la velocidad, las partículas se van sedimentando; primero las más gruesas y luego las más finas formando un depósito clasificado de partículas. (Fonseca, 2012)

### **Flujo de detritos**

En los flujos de detritos los sedimentos controlan totalmente el flujo. El movimiento de los flujos de detritos se puede relacionar

generalmente con “flujo turbulento de granos”. El mecanismo de movimiento se produce por transferencia de momentum al colisionar las partículas o bloques que se mueven. Los flujos son no-viscosos y son generalmente flujos turbulentos de dos fases, la fase líquida es un “slurry” consistente en agua y partículas finas y la base propiamente sólida es de las partículas gruesas. Aunque los flujos de detritos contienen partículas más gruesas, mayores concentraciones, mayores pesos específicos y menores cantidades de agua, la mecánica en algunos aspectos es similar al de los flujos hiperconcentrados. Cuando el cambio en el ancho del cauce es muy fuerte, o se presenta una disminución fuerte de la pendiente del cauce, la velocidad disminuye abruptamente y se deposita la mayoría del material sólido, formando abanicos o barras de grandes bloques. (Fonseca, 2012)

#### **3.2.1.4. Clasificación para los flujos de lodo y escombros**

Castillo (2006), indica que los huaycos no pueden ser tratados normalmente dentro del campo de la hidráulica fluvial. Sus características marcadas grandemente por su alta concentración la hacen digna de un estudio especial.

Las diferencias de la hidráulica torrencial respecto a la hidráulica fluvial comienzan por el comportamiento del fluido. La viscosidad dinámica o de los flujos torrenciales puede ser varias órdenes de magnitud mayor que la del agua. La viscosidad aparente del pico de una avenida máxima del flujo de escombros llega a alcanzar  $3 \times 10^6$  veces la viscosidad del agua. Si el material dominante es fino (arcillas) un mecanismo importante es la floculación de las partículas, lo que explica que exista un umbral de tensión que debe

superarse para que empiece a fluir. Si el material dominante es granular, el flujo puede ser turbulento.

Costa (1988), se basa en el tipo del mecanismo de material, el movimiento y la concentración del sedimento. Esta clasificación se analiza básicamente en la banda de flujos de gravedad (mezclas de sedimento y agua) que fluyen a diversas tasas de concentración. Los flujos de agua- sedimento pueden ser agrupados dentro de 3 bandas principales:

### **Flujo de corriente ordinario**

Los flujos de corriente son flujos de agua y sedimento con bajas concentraciones de sedimento; el flujo se comporta esencialmente como un fluido Newtoniano. Debido a que las concentraciones del sedimento aumentan, la interacción entre partículas aumenta. Si las partículas de arcilla están presentes en el flujo, ellos empiezan a formar aglomeraciones debido a la presencia de fuerzas electroquímicas. (Costa, 1988)

### **Flujos hiperconcentrados**

Beverage y Culbertson (1964) definieron “hiperconcentración como la concentración mayor al 40 % de sedimento por peso. Ellos sugirieron un límite superior de 80 %”. A menudo, especialmente en China, clasifican a los flujos de escombros (debris flows) como un tipo de flujo hiperconcentrado. O'Brien y Julien (1985) lo clasifican de la misma manera.

### **Flujos Granulares**

Costa (1988), describe al flujo con altas concentraciones de sólidos. Una clasificación general de acuerdo a Savage (1984), describe 3

clases de flujos granulares:

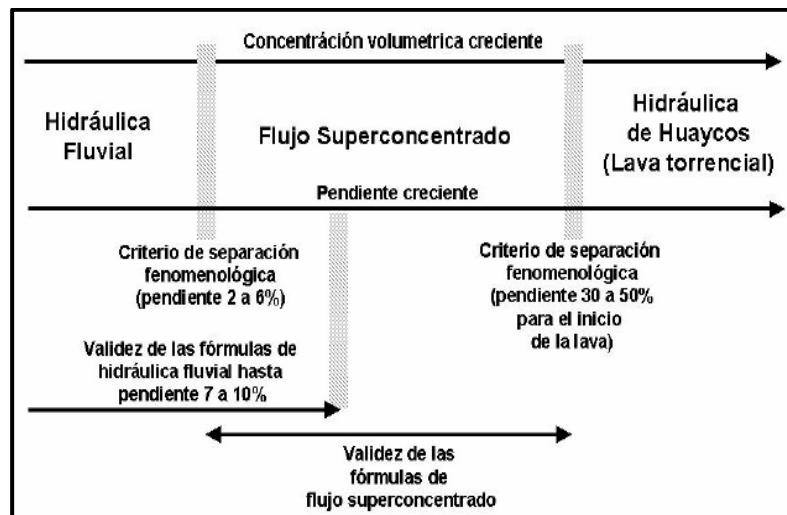
- a. Cuasi- estático
- b. Macroviscoso
- c. Inercia granular

Esta clasificación es una extensión de la clasificación antigua dada por Bagnold (1954), lo definió como un régimen llamado macroviscoso donde la concentración de partículas y las tasas de deformación son pequeñas y el fluido intersticial juega un rol importante para determinar la naturaleza viscosa del flujo.

Cuando suficientes esfuerzos son aplicados a la masa granular de manera que las cadenas friccionantes son separadas, entonces la masa empieza a fluir. Esta deformación lenta mantenida durante un período largo de tiempo define el régimen cuasi-estático.

El régimen de inercia granular es donde los esfuerzos de deformación son altos, tal que la transferencia de momentum es predominante, por la interacción grano a grano.

Meunier (1991), realiza otra clasificación para el caso de flujos con una alta concentración y con pendientes que van desde los 30 % a los 50 % marcando el inicio de la formación de huaycos. La hidráulica fluvial como disciplina caería dentro del rango de pendientes naturales menores que el 2 %. Importante y práctico es saber que las fórmulas clásicas de hidráulica fluvial podrían ser usadas con buena aproximación hasta una pendiente natural que van desde el 7 % al 10% (Fig. 6).



**Figura 6.** Clasificación de flujos (Meunier, 1991)

Costa (1988) igual que Meunier (1991), diferencian 3 tipos de flujo: avenidas de agua (water flood), flujos hiperconcentrados y flujos de detritos (debris flow).

La tabla de Costa (1988), es sumamente práctica para identificar estos tipos de flujo tomando en cuenta la concentración. Clasifica también los flujos desde el punto de vista reológico. Las fuerzas internas del flujo, la granulometría y el comportamiento laminar o turbulento llega a ser tomado en cuenta también para caracterizar los diferentes tipos de flujo (Tabla 11). Según Costa (1988), “Los huaycos tienen un comportamiento laminar”.

**Tabla 11***Clasificación de tipos de flujo*

Flujo	Avenida de Agua	Flujo hiperconcentrado	Flujo de escombros
Concentración de sedimentos	1 -40 % en peso 0.4-20 % en volumen	40-70 % en peso 20-47 % en volumen	70-90 % en peso 47-77 % en volumen
Densidad de los sólidos (g/cm <sup>3</sup> )	1.01-1.33	1.33-1.80	1.80-2.30
$\tau_y^2$ (dn/cm)	0-100	100-400	>400
Tipo de Fluido	Newtoniano	No Newtoniano	Viscoplástico
Mayor mecanismo de soporte de los sedimentos	Fuerzas electrostáticas, turbulencia	Empuje, esfuerzo dispersivo, turbulencia	Cohesión, empuje, esfuerzo dispersivo, soporte estructural
Viscosidad (poise)	0.01-20	20-200	>200
Perfil de concentración de sedimentos	No uniforme	No uniforme a uniforme	Uniforme
Tipo de flujo predominante	Turbulento	Turbulento a laminar	Laminar

Fuente: Costa, 1988.

Coussot (1997), clasifica los huaycos utilizando como parámetros la concentración y la granulometría del material sólido (Fig. 7). El flujo torrencial, flujo hiperconcentrado, así como también los deslizamientos de suelos llegan a ser contemplados dentro de esta clasificación de flujos.

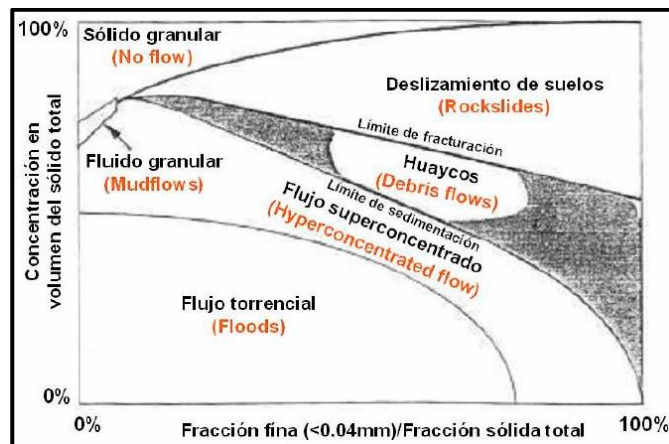


Figura 7. Clasificación de flujos (Coussot, 1997)

La Fig. 8, los flujos de detritos se producen en canales de gran pendiente y su longitud de recorrido es menor a los demás flujos.

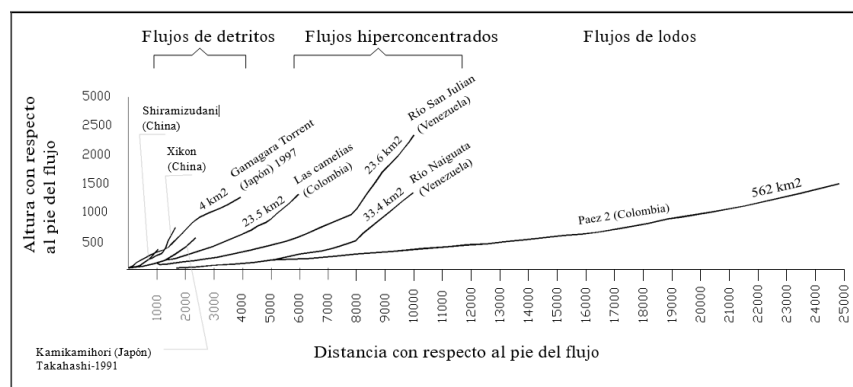


Figura 8. Perfiles longitudinales del canal para diferentes tipos de flujo (Suárez, 2001)

### 3.2.1.5. Modelamientos de flujos de lodo y escombros

Los primeros modelos matemáticos para la caracterización de los flujos de escombros partieron de la base de la resistencia de los materiales, de acuerdo a la ecuación de Coulomb (Johnson y Rodine, 1984). Posteriormente se involucraron modelos hidráulicos como los de Bingham y Bagnold, los cuales fueron adaptados al comportamiento de fluidos producto de la mezcla de suelo y agua.

De acuerdo a las características de la mezcla, la pendiente y la forma del canal se genera un fluido con diferentes características. El modelo de fluido involucra la dinámica interna de la mezcla, el tipo de flujo y los mecanismos generales del movimiento. Hay esencialmente dos caminos para la investigación del comportamiento de los flujos de escombros:

1. Considerar la masa entera (fluido y sólido) como un “fluido” con propiedades particulares. El modelamiento con este tipo de análisis se aproxima muy bien a los flujos con considerables finos, por ejemplo, para el caso de flujos de lodo.
2. La otra posibilidad considera el agua (en algunos casos con finos) y material grueso por separado. A menudo se refiere a modelos de flujo granular, estos modelos se basan íntimamente en el conocimiento de las partículas y de su distribución de tamaño.

### **Modelo viscoso de Coulomb**

Johnson (1970), propuso que la resistencia dinámica total es una combinación de resistencia de cedencia, friccionales y resistencias viscosas llamado este el modelo viscoso de Coulomb.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi + \mu \frac{\delta u}{\delta y} \quad (1)$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad

$\delta u / \delta y$  = tasa de deformación

### **Modelos de fluido Bingham y Pseudoplásticos**

Este modelo es muy bien relacionado con el flujo de lodo debido a la presencia de granulometría fina. El modelo de fluido plástico es caracterizado por una relación lineal entre los esfuerzos cortantes y tasa de deformación. El esfuerzo de cedencia  $\tau_y$  y la viscosidad  $\mu$  son los dos parámetros. (Castillo, 2006)

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{\delta u}{\delta y} \quad (2)$$

Johnson (1970), usó este modelo para describir el flujo de escombros permanentes en un canal circular. Otros modelos de flujos de escombros no permanentes también han sido usados por la ecuación característica plástica de Bingham. (Schamber y MacArthur, 1985)

Los dos parámetros en el modelo de Bingham son determinados de experimento. Estos dependen de la concentración de sedimentos y del tamaño de la partícula (Chen, 1986). El modelo que no generó mucho entusiasmo fue el modelo pseudoplástico o el modelo de la ley de potencia.

$$\tau = \mu \left(\frac{\delta u}{\delta y}\right)^n \quad (3)$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad aparente

$n$  = índice del comportamiento del flujo ( $n < 1$ )

### **Esfuerzo cortante turbulento vs. Esfuerzo de Bagnold**

El modelo de Bagnold (1954) y los modelos de esfuerzos cortantes turbulentos son basados sobre ideas similares a la teoría de gases. Ambos usan esta analogía para describir el cortante entre dos capas de fluido en movimiento. El modelo de fluido dilatante es escrito como:

$$\tau_s = a_i \rho_s \lambda^2 D^2 \left(\frac{\delta u}{\delta y}\right)^2 \text{sen}\phi_d \quad (4)$$

Es un modelo de fluido no-Newtoniano. El modelo de esfuerzo cortante turbulento es dado por:

$$\tau_t = \rho k_v^2 y^2 \left(\frac{\delta u}{\delta y}\right)^2 \quad (5)$$

Donde:

$\tau_t$  = esfuerzo cortante

$\rho$  = densidad del fluido

$k_v$  = Constante de Von Karman

$y$  = distancia desde el fondo

Esto nos da una clara indicación de la naturaleza no-Newtoniana de los flujos turbulentos. En el caso de mezclas de sedimentos diluidas  $k_v$  es una función de la concentración de sedimentos  $C_v$ . En flujos de altas concentraciones  $\lambda$  es también una función de  $C_v$ . En transporte de sedimentos la turbulencia es responsable de la suspensión de las partículas de sedimento. Similarmente, en flujos de escombros la presión dispersiva es principalmente responsable de la dispersión de las partículas del sedimento.

### **Modelo cuadrático de O'Brien y Julien**

Un modelo cuadrático reológico fue presentado por O'Brien y Julien (1985).

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{\delta u}{\delta y} + c_1 \left( \frac{\delta u}{\delta y} \right)^2 \quad (6)$$

Donde:

$\tau_y$  = Esfuerzo de cedencia

$\mu$  = Viscosidad dinámica

$c_1$  = Parámetro turbulento- dispersivo

#### **3.2.1.6. Fórmulas empíricas**

Las fórmulas más utilizadas en el análisis de flujos de escombros para ciertas condiciones del tipo de flujo.

#### **Velocidad del flujo viscoso en curvas**

Suarez (2001), En el extrados de las curvas la superficie del flujo se levanta en forma importante debido a la fuerza centrífuga, la cual se convierte en fuerza hacia arriba, en un proceso de colisión de partículas (Fig. 9). Esta sobre elevación en las curvas es utilizada como parámetro para calcular la velocidad del flujo (Johnson y Rodine, 1984). Esta fórmula es aplicada para el caso de flujos de lodo con gran cantidad de material fino. La velocidad promedio del flujo se puede obtener de la siguiente manera:

$$\bar{w} = (g\psi \cos \delta \tan \beta)^2 \quad (7)$$



**Tabla 12***Fórmulas empíricas de la velocidad frontal*

Tipo de Flujo	Fórmulas	Notas	Referencias
Flujo laminar newtoniano	$V = (1/3)\rho g H^2 S / \mu$	Canal rectangular	
Dilatante	$V = (2/3)\xi H^{1.5} S^{0.5}$	Canal rectangular ancho	Bagnold, 1954
Flujo turbulento newtoniano	$V = (1/n) H^{2/3} S^{1/2}$	Ecuación de Manning	PWRI, 1988
	$V = C H^{1/2} S^{1/2}$	Ecuación de Chezy	Rickenmann, 1990

Donde:

V = velocidad media de la sección transversal (m/s)

h = tirante del flujo máximo (m)

S = pendiente del lecho del canal

 $\rho$  = densidad de la mezcla agua- sedimento ( $\text{kg/m}^3$ ) $\xi$  ( $1/(\sigma\text{m}^{1/2})$ ) = coeficiente, depende del tamaño del grano y su concentración $n$  ( $\sigma/\text{m}^{1/3}$ ) = coeficiente de ManningC ( $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ) = coeficiente de Chezy.

Los coeficientes de resistencia al flujo o parámetros del material pueden ser cálculos como una función de la descarga pico:

**Tabla 13***Fórmulas para el cálculo de los coeficientes de resistencia*

Tipo de flujo	Fórmulas
Flujo laminar newtoniano	$\mu = 20 Q^{3/5}$
Dilatante	$\xi = 150 Q^{-2/5}$
Flujo turbulento newtoniano: Manning Strickler	$n = 0.077 Q^{1/15}$
Flujo turbulento	$C = 22$

Fuente: Costa, 1984.

Según reportes de Costa (1984), otra relación para el cálculo de la velocidad del flujo de escombros en función del caudal (Q) la pendiente (S) es:

$$V = 2.1 Q^{0.33} S^{0.33} \quad (8)$$

**Estimación de los caudales máximos**

Para la estimación de los caudales máximos de los flujos de detritos existen 2 metodologías más usadas, la de JICA (Japan Internacional Cooperation Agency) y la metodología de O'Brien (2000).

La metodología usada por JICA se basa en los desarrollos de Takahashi. Según Takahashi (1989), el volumen de lodo y piedras es igual a:

$$V_s = 1000 R_t A F_r \left( \frac{c_d}{c^* - c_d} \right) \quad (9)$$

Donde:

 $V_s$  = Volumen de detritos en m<sup>3</sup> $V_a$  = Volumen de agua en m<sup>3</sup> $R_t$  = Precipitación total durante la descarga de flujo de lodo y piedra en mm

$A$  = Área de la cuenca en  $\text{km}^2$

$F_r$  = Coeficiente de escorrentía

$C_d$  = Densidad volumétrica del flujo de lodo y piedras

$C^*$  = Densidad volumétrica de sedimentos del lecho

La cual se puede expresar como:

$$V_s = V_a \left( \frac{C_d}{C^* - C_d} \right) \quad (10)$$

Donde:

$V_s$  = Volumen de detritos en  $\text{m}^3$

$V_a$  = Volumen de agua en  $\text{m}^3$

$C_d$  = Densidad volumétrica del flujo de lodo y piedras

$C^*$  = Densidad volumétrica de sedimentos del lecho

Se estima según la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad (11)$$

Donde:

$\rho$  = Densidad de fluidos de detritos ( $\text{t}/\text{m}^3$ )

$\sigma$  = Densidad de lodos y piedras ( $\text{t}/\text{m}^3$ )

$\theta$  = Ángulo de talud

$\phi$  = Ángulo de fricción interna

De acuerdo a la ecuación (10), la relación  $V_s / V_a$  se puede expresar como:

$$\frac{V_s}{V_a} = \frac{C_d}{C^* - C_d} \quad (12)$$

Las otras ecuaciones aplicadas siguiendo el método de Takahashi,

son las que permiten estimar el caudal de lodos y piedras, y caudal máximo de material fino; como una función del caudal líquido.

$$Q_s = \left( \frac{c^*}{c^* - c_d} \right) Q_p \quad (13)$$

$$Q_f = \left( \frac{\rho - 1}{\rho - \sigma} \right) Q_p \quad (14)$$

$$Q_t = Q_s + Q_f \quad (15)$$

$Q_t$  = Caudal total (máximo) del flujo de detritos en m<sup>3</sup>/s

$Q_s$  = Caudal de lodos y piedras (máximo) en m<sup>3</sup>/s

$Q_f$  = Caudal del material fino (máximo) en m<sup>3</sup>/s

$Q_p$  = Caudal líquido (máximo) en m<sup>3</sup>/s

Es importante observar que el coeficiente que multiplica  $Q_p$  en la ecuación (13) es igual a:

$$\frac{c^*}{c^* - c_d} = 1 + \frac{c_d}{c^* - c_d} \quad (16)$$

Por lo tanto, según la ecuación (12), la expresión (16) puede escribirse como:

$$\frac{c^*}{c^* - c_d} = 1 + \frac{V_s}{V_a} \quad (17)$$

Y sustituyendo (17) y (14) en (15), se obtiene:

$$Q_t = \left( \left( 1 + \frac{V_s}{V_a} \right) + \frac{(\rho - 1)}{(\sigma - \rho)} \right) * Q_p \quad (18)$$

$V_s$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de detritos

$V_a$  (m<sup>3</sup>) = Volumen de gas

$\rho$  (t/m<sup>3</sup>) = Densidad del fluido de detritos

$\sigma$  (t/m<sup>3</sup>) = Densidad del sedimento

$Q_p$  (m<sup>3</sup>/s) = Caudal líquido

Otra metodología empleada es la propuesta por O'Brien (2000) donde el hidrograma de flujo de detritos se estima a partir del hidrograma de flujo de agua multiplicado por un factor que es una función de la concentración volumétrica de detritos. La ecuación utilizada por O'Brien es la siguiente:

$$Q_t = B F_x Q_l \quad (19)$$

$$BF = \frac{1}{1 - C_v} \quad (20)$$

Donde:

$Q_t$  = Caudal total de flujo de detritos ( $m^3/s$ )

$Q_l$  = Caudal líquido ( $m^3/s$ )

BF = Factor (Bulking Factor)

$C_v$  = Concentración volumétrica de detritos

Según la referencia de O'Brien (2000), para flujos de detritos el valor de  $C_v$  varía entre 0.20 (para flujos bajos) y 0.45 (para flujos altos).

### 3.2.2. Hidrología aplicada

Un hidrograma de caudal es una gráfica que muestra la tasa del flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto, el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y la escorrentía de una cuenca de drenaje particular. (GWP, 2011)

Para estimar el hidrograma, se necesita definir las características geomorfológicas de la cuenca, el tiempo de retardo, el número de curva (CN) y la precipitación máxima de 24 horas.

### 3.2.2.1. Características geomorfológicas

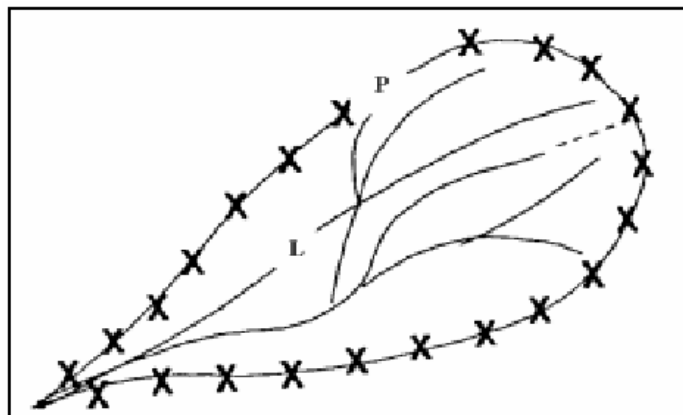
#### a. Área de la cuenca

Según GWP (2011), se define como “la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural”. El área de una cuenca es importante por:

- Utilizado en los cálculos de los modelos hidrológicos.
- Para una región hidrológica, a mayor área mayor caudal medio.
- Se relaciona en forma inversa con la relación entre caudales extremos.

#### b. Longitud, perímetro y ancho

La longitud “L”, es la distancia horizontal desde un punto aguas abajo (punto más bajo del eje de la quebrada) y otro punto aguas arriba, donde el eje de la quebrada principal corta la línea de contorno de la cuenca (Fig. 10).



**Figura 10.** Longitud y perímetro de una cuenca (Guerrero, s.f.).

El perímetro de la cuenca, es un parámetro importante, que en conexión con el área permite definir la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula P. (Guerrero, s.f.)

$$w = \frac{A}{L} \quad (21)$$

Donde:

W = Ancho

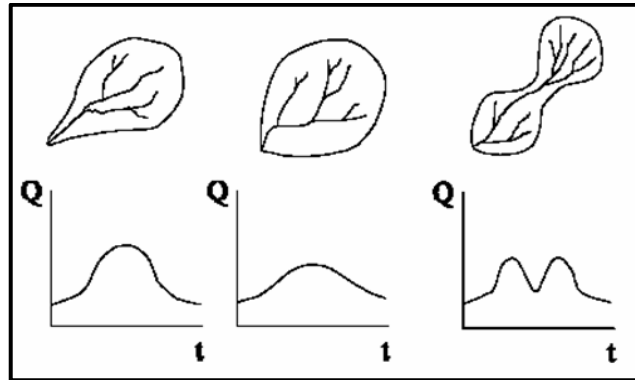
A = Área de la cuenca

L = longitud de la cuenca

### c. **Parámetros de forma de la cuenca**

Para Llamas (1993), “la forma de una cuenca es la configuración geométrica tal y como está proyectada sobre el plano horizontal”. De acuerdo con Guilarte (1978), “la forma de una cuenca gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura”.

La Fig. 11, hidrogramas de cuencas con igual área y diferentes formas ante una misma lámina precipitada, “t” es tiempo y “Q” el caudal.



**Figura 11.** Hidrogramas para cuencas con la misma área y diferentes formas ante una lámina precipitada igual (Guerrero, s.f.).

Para la clasificación de cuencas, es necesario considerar los siguientes parámetros:

- Factor de Forma de Horton

La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos. Horton (1945), sugirió un factor adimensional de forma  $R_f$ , como índice de forma de una cuenca.

$$R_f = \frac{A}{L^2} \quad (22)$$

Donde:

A = área de la cuenca

L = longitud de la cuenca

- Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius ( $I_c$ )

Reyes et al. (2010), lo define como la relación del perímetro de la cuenca con el área de un círculo igual a la cuenca hidrográfica.

$$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (23)$$

Donde:

$I_c$  = índice de compacidad (adimensional)

P = perímetro de la cuenca (km)

A es el área de la cuenca (m<sup>2</sup>)

- Razón por Circularidad ( $R_{ci}$ )

Este parámetro relaciona el área de la cuenca con un área de un círculo, cuyo perímetro es igual al perímetro de la cuenca.

$$R_{ci} = \frac{4 I L A}{P^2} \quad (24)$$

La importancia de estos parámetros relacionados a la cuenca, nos dan una idea como primera aproximación de la tendencia del hidrograma y del caudal máximo.

**d. Parámetros relativos al relieve**

- Curva Hipsométrica

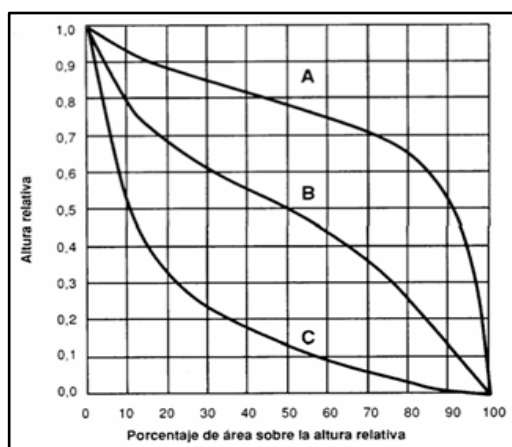
La curva hipsométrica proporciona una información sobre la altitud de la cuenca, que presenta gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura. Dicha curva presenta, en ordenadas, las distintas cotas de altura de la cuenca, y en abscisas la superficie de la cuenca que se halla por encima de dichas cotas, en Km<sup>2</sup> o en porcentaje de la superficie total de la cuenca. (Langbein, 1947)

De esta curva se puede extraer una importante relación, y es la “Relación Hipsométrica”:

$$R_k = \frac{S_s}{S_i} \quad (25)$$

Donde  $S_s$  y  $S_i$  son, respectivamente, las áreas sobre y bajo la curva hipsométrica.

La Fig. 12 muestra tres curvas hipsométricas correspondientes a otras tantas cuencas que tienen potenciales evolutivos distintos. (Llamas, 1993)



**Figura 12.** Curvas hipsométricas en base al ciclo de erosión (Gaspari et al., 2013)

La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo, la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Las fases de la vida de los ríos quedarían representadas por: curva A que representa la fase de la juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez. (Gaspari et al., 2013)

- Histograma de frecuencias altimétrica

Es la representación de la superficie, en  $\text{km}^2$  o en porcentaje, comprendida entre dos niveles, siendo la marca de clase el promedio de las alturas. De esta forma, con diferentes niveles se puede formar el histograma. Este diagrama de barras puede ser obtenido de los mismos datos de la curva hipsométrica. Realmente contiene la misma información de esta, pero con una representación diferente, dándonos una idea probabilística de la variación de la altura en la cuenca. (Guerrero, s.f.)

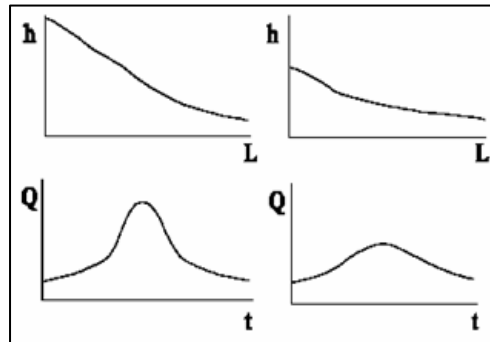
- Altura y Elevación promedio de la cuenca

La altura define el clima de la cuenca y la elevación está en función al nivel del mar.

- Perfil altimétrico del cauce principal y su pendiente promedio.

Es el gráfico de la altura en función de la longitud a lo largo del río principal. De acuerdo a la forma del perfil altimétrico del cauce, se puede determinar la variación del caudal con el tiempo. También los perfiles se usan para estudios de: prefactibilidad de proyectos hidroeléctricos, producción de sedimentos, ubicación de posibles sitios susceptibles de avalanchas, etc. Generalmente cuencas con pendientes altas en el cauce principal tienden a tener hidrogramas más picudas y

más cortas que cuencas con pendientes menores (Fig. 13). (Guerrero, s.f.)



**Figura 13.** Formas de hidrograma con relación a la pendiente (Guerrero, s.f.).

Según Heras (1972), la pendiente media de una cuenca, es la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se pueda considerar constante la máxima pendiente. Se tiene la siguiente expresión:

$$S = \frac{\Delta h L_{cn}}{A} \quad (26)$$

Donde:

$S$  = es la pendiente media de la cuenca

$\Delta h$  = equidistancia entre curvas de nivel

$L_{cn}$  = longitud de todas las curvas de nivel

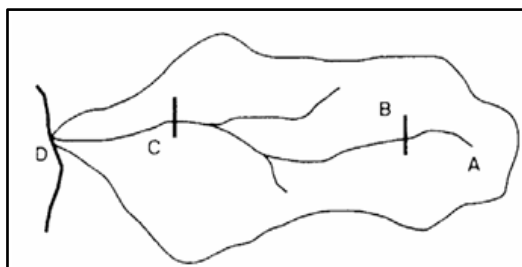
$A$  = área total de la cuenca

Según Llamas (1993), la pendiente media de una cuenca es el cociente entre la diferencia de elevación máxima medida entre el punto más alto de límite de la cuenca y la desembocadura del río principal, y la mitad del perímetro de la cuenca.

$$S = \frac{2H}{P} \quad (27)$$

Donde: H es la diferencia de cota y P es el perímetro de la cuenca.

Según Benson (1959), la pendiente media de una cuenca puede asimilarse a la pendiente de la recta trazada entre los puntos que se encuentran al 85% y al 10% de distancia a partir del punto más alejado del punto de desagüe siguiendo el curso principal.



**Figura 14.** Esquema de pendiente media de una cuenca. (Llamas, 1993)

La pendiente media de la cuenca es la pendiente entre los puntos B y C:

$$S = \frac{H_b H_c}{BC} \quad (28)$$

Siendo:

$$AB = 0.10 AD; AC = 0.85 AD$$

### 3.2.2.2. Tiempo de retardo ( $T_{LAG}$ )

Según Horner y Flynt (1934) se define como "... la diferencia de tiempo entre el centro de masa de la precipitación y el centro de masa de la escorrentía...".

Para determinar el cálculo del tiempo de concentración se ha desarrollado las siguientes ecuaciones:

$$Tc (kirpich) = 0.06626 * \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0.385} \quad (29)$$

$$Tc (Temez) = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.35}}\right)^{0.75} \quad (30)$$

$$Tc (USBR) = 0.066 * \left(\frac{L}{S^{1/2}}\right)^{0.77} \quad (31)$$

Donde:

L= Recorrido de las aguas para cada tramo de cuenca =km.

S= Pendiente media de los ríos=m/m.

A= Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Es importante definir el área de la cuenca, para cuencas pequeñas (menores a 10 km<sup>2</sup>), considerar las ecuaciones de Kirpich (1940), USBR (1973) y Téméz (2003).

Un parámetro importante es el tiempo de retardo, varía en función de ciertos parámetros de cuencas que se pueden medir, como:

$$Tr = 0.6 x Tc \quad (32)$$

Tr = Tiempo de retardo

Tc =Tiempo de concentración.

### 3.2.2.3. Número de curva (CN)

Havrylenko et al. (2012), el número de curva (CN) se representa mediante un número adimensional, en curvas estandarizadas, las que varían entre 0 y 100; donde un área con CN=0 no tiene escurrimiento y otra con CN=100 es impermeable y toda la precipitación genera

escorrentía.

El Soil Conservation Service (1972), ha tabulado los números de curva en base al tipo de suelo y uso de la tierra, clasificándolo en 4 grupos (Tabla 14). Para el cálculo de CN debemos conocer la descripción del uso del suelo (Tabla 15).

**Tabla 14**

*Clasificación de suelos hidrológicos*

GRUPO A	Tienen un bajo potencial de escorrentía y altas tasas de infiltración incluso cuando están completamente mojados. Ellos consisten principalmente de arena profunda, bien a excesivamente drenada o grava y tienen una alta tasa de transmisión de agua (mayor de 0,30 pulgada/hora).
GRUPO B	Tienen tasas de infiltración moderadas cuando están completamente humedecidos y consisten principalmente de moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien a bien drenados con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua (0,15-0,30 pulgadas/hora).
GRUPO C	Tienen bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y consisten principalmente en suelos con una capa que impide el movimiento descendente de agua y suelos con textura moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión de agua (0,05-0,15 pulgada/hora).
GRUPO D	Tienen un alto potencial de escorrentía. Tienen tasas de infiltración muy bajas cuando se humedecen completamente y consisten principalmente en suelos arcillosos con un alto potencial de hinchamiento, suelos con un nivel freático alto permanente, suelos con una capa de arcilla en o cerca de la superficie, y poco profunda, suelos sobre un material casi impermeable. Estos suelos tienen una muy baja tasa de transmisión de agua (0-0,05 pulgada/hora).

Fuente: NRCS, 1986

**Tabla 15***Números de curva de escorrentía para usos de suelos*

Descripción del uso de la tierra	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	90
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial:				
Tamaño prom. del lote				
Porcentaje prom. impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow, 1994.

**3.2.3. Descripción del modelo hidráulico FLO 2D**

Fonseca (2012), el movimiento de un fluido tan complejo como el que forma los aludes torrenciales no puede representarse por medio de los métodos que se aplican comúnmente para fluidos como el agua. Esto se debe a la alta concentración de materia sólida en los aludes torrenciales, ocasionando que estos fluidos se

comporten como fluidos no-newtonianos, en lo que es necesario que actúe un esfuerzo superior a un esfuerzo crítico dado, para que el fluido se ponga en movimiento. Viceversa, si el esfuerzo actuante es inferior al esfuerzo crítico el fluido se detiene.

El modelo bidimensional de diferencia finitas FLO 2D (O'Brien), simula flujo de fluidos no-newtonianos, como aludes torrenciales, en conos de deyección. El modelo permite simular flujo en topografías complejas, tales como áreas urbanizadas y planicies de inundación, así como el intercambio de fluido entre los canales y la planicie de inundación. Puede modelarse flujo de agua, flujo hiperconcentrado de sedimentos, flujo de barro y alud torrencial (flujo de barro). Como datos de entrada se requiere la topografía digital del terreno, la geometría del canal, valores estimados de la rugosidad del canal y de la planicie de inundación, hidrogramas de entrada (líquidos y sólidos), precipitación y propiedades reológicas de la mezcla agua-sedimento. (Fonseca, 2012)

### 3.2.3.1. Ecuaciones básicas

Fonseca (2012), el modelo FLO 2D utiliza ecuaciones que son las de continuidad y cantidad de movimiento, integradas en la vertical:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i \quad (33)$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (34)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t} \quad (35)$$

Donde:

h= profundidad del flujo

$V_x$  y  $V_y$  = componentes de la velocidad media

t= tiempo

g= aceleración de la gravedad

$S_f$ = pendiente de fricción

$S_o$ = pendiente del lecho

i= intensidad de la precipitación

Fonseca (2012), se debe considerar que la condición de borde aguas arriba es el hidrograma de entrada (INFLOW) y la condición de borde aguas abajo es el flujo de salida (OUTFLOW)

### 3.2.3.2. Solución numérica

En el modelo las ecuaciones de continuidad y de momento, se resuelven mediante diferencias finitas y para el cálculo de la velocidad empleara la ecuación de onda difusiva u onda dinámica.

Castillo (2006), en métodos numéricos para resolver ecuaciones diferenciales parciales, los cálculos se llevan a cabo en una malla localizada en el plano x-t. La malla x-t es una red de puntos definida al tomar incrementos de distancia de longitud  $\Delta x$  e incrementos de tiempo de duración  $\Delta t$ . Los esquemas numéricos transforman las ecuaciones diferenciales parciales en un conjunto de ecuaciones algebraicas de diferencias finitas. Para la estabilidad numérica de los cálculos, una condición necesaria pero no suficiente es de un esquema explícito la condición de Courant- Friedrich- Lewy (CFL). El paso de tiempo es limitado por:

$$\Delta t = C \frac{\Delta x}{(v+c)} \quad (36)$$

Donde:

$C$  = número de Courant ( $0.3 < C < 1.0$ )

$\Delta t$  = ancho del elemento de la malla cuadrada

$v$  = velocidad promedio de la sección transversal calculada

$c$  = celeridad de la onda calculada

Para el tránsito de onda dinámica, otro criterio de estabilidad numérica aplicado en el modelo es el de Ponce y Theurer (1982). Este criterio está en función de la pendiente del lecho, la descarga y el tamaño del elemento de grilla. El paso de tiempo es limitado por:

$$\Delta t < \zeta S_o \Delta x^2 / q_o \quad (37)$$

Donde:

$q_o$  = descarga unitaria

$S_o$  = pendiente del lecho

$\zeta$  = coeficiente empírico

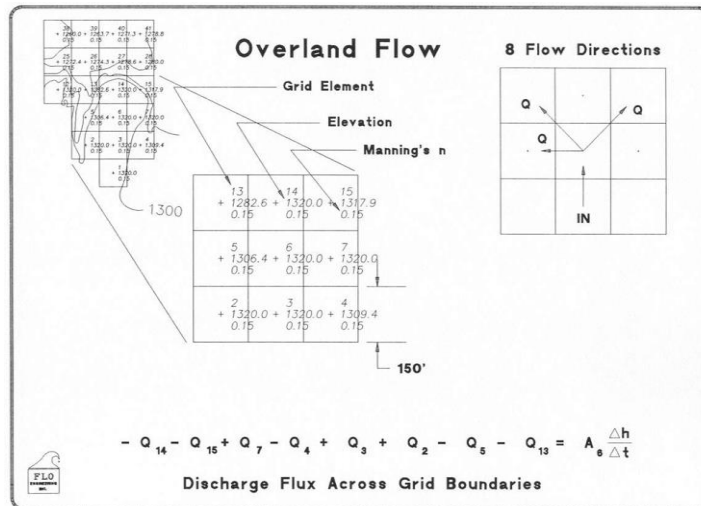
Los pasos de tiempo  $\Delta t$  generalmente varían de 0.1 segundo a 60 segundos. El modelo comienza con un paso de tiempo mínimo y lo aumenta hasta que uno de los criterios de estabilidad numérica sea excedido, entonces el paso de tiempo es disminuido. Si los criterios de estabilidad continúan siendo excedidos, entonces el paso de tiempo es disminuido hasta que el paso de tiempo mínimo sea alcanzado. Los pasos de tiempo son una función de la descarga del flujo para un elemento de grilla y de su tamaño. (O'Brien, 2000)

### **3.2.3.3. Lógica del FLO 2D**

Palomino (2009) La topografía de la superficie se discretiza en una malla formada por celdas o elementos cuadrados de tamaño uniforme, a cada elemento se le asigna una posición (elevación o cota de terreno), un coeficiente de rugosidad ( $n$  de Manning) y factores de reducción del flujo que atraviesa la celda.

El cálculo hidráulico de cada elemento de grilla empieza con una estimación de la profundidad del flujo en la frontera del elemento de grilla. La profundidad estimada del flujo es un promedio de las profundidades de flujo en los dos elementos de grilla que comparten descarga en las direcciones del flujo. Existen ocho posibles direcciones: cuatro direcciones de la brújula (norte, este, sur y oeste) y cuatro direcciones diagonales (noreste, sureste, suroeste y noroeste).

Castillo (2006), el FLO 2D solucionará la ecuación de onda difusiva o la ecuación de onda dinámica completa, para computar la velocidad. Luego la ecuación de Manning es aplicada en una dirección usando el promedio de la pendiente de la superficie de agua para calcular la velocidad. Si la ecuación de onda difusiva es seleccionada, la velocidad es entonces calculada para todas las ocho direcciones del flujo en cada elemento de grilla. Si la opción de onda dinámica completa es aplicada, la velocidad de onda difusiva calculada es utilizada como primera aproximación en el método de segundo orden de Newton-Raphson de tangentes para determinar las raíces de la ecuación de onda dinámica completa, el cual es una ecuación diferencial parcial de segundo orden, no lineal.



**Figura 15.** Descarga del flujo a través de los elementos de grilla (O'Brien, 2006)

El algoritmo de solución incorpora los siguientes pasos donde cada elemento de grilla posee un único valor de rugosidad, elevación y profundidad del flujo:

1. El promedio de los valores de rugosidad y geometría del flujo entre dos elementos de grilla son calculados.
2. La profundidad del flujo “d” para el cálculo a través de la frontera de grilla para “i” siguiente paso de tiempo (i+1) es estimado de los pasos de tiempo previos “i” usando una función lineal (el promedio de la profundidad del flujo entre dos elementos).

$$d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i \quad (38)$$

3. La velocidad es calculada usando la ecuación de onda difusiva como primera aproximación. La única variable es calculada usando la ecuación de onda difusiva es la velocidad.
4. Si la ecuación de onda dinámica completa es seleccionada por el usuario, la velocidad de onda difusiva prevista para ese paso

de tiempo es usado como un dato inicial en la solución de Newton-Raphson. Se hace notar que para flujos de sedimentos hiperconcentrados, como flujos de lodo y escombros, el cálculo de la velocidad incluye los términos adicionales de viscosidad y esfuerzo de cedencia.

5. La descarga  $Q$  a través de la frontera de la planicie de inundación (o entre dos elementos de canal) es calculado multiplicando la velocidad por el área transversal del flujo.
6. El incremento de descarga para el paso de tiempo a través de las 8 fronteras son sumandos:

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw} \quad (39)$$

7. La variación en volumen es distribuida sobre el área de almacenamiento disponible dentro del elemento de grilla o canal para determinar el incremento en la profundidad del flujo.

$$\Delta d_x^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / \text{area} \quad (40)$$

8. Donde  $\Delta Q_x$  es el delta de la descarga en las ocho direcciones de la planicie de inundación para el elemento de grilla y para el paso de tiempo  $\Delta t$  entre el tiempo “i” e “i+1”.
9. El criterio de estabilidad numérica es luego chequeado para la nueva profundidad del flujo del elemento de grilla. Si cualquier criterio de estabilidad es excedido, el tiempo de simulación es reseteado para el tiempo previo y el incremento del paso del tiempo es reducido.
10. La simulación prosigue incrementándose con el paso de tiempo hasta que el criterio de estabilidad sea excedido.

#### **3.2.3.4. Modelo reológico**

FLO- 2D transita flujos de sedimentos hiperconcentrados (flujos de lodo y escombros) como un fluido continuo, prediciendo el movimiento del fluido viscoso. Para flujos de lodo (mudflows), el movimiento de la matriz fluida es gobernado por la concentración de sedimentos. Un modelo cuadrático reológico prediciendo la viscosidad y el esfuerzo de cedencia como una función de la concentración de sedimentos es empleado y los volúmenes del sedimento son monitoreados a través del sistema. (O'Brien, 2000)

Takahashi y Tsujimoto (1985), han propuesto un modelo de diferencias finitas bidimensional para flujos de escombros basándose en el modelo de fluido dilatante de Takashi (1983), acoplado con la resistencia del flujo de Coulomb. El modelo de fluido dilatante fue derivado de la teoría de los esfuerzos dispersivos de Bagnold (1954), que describe los esfuerzos resultantes de la colisión de partículas de sedimento. Luego, Takahashi y Nakagawa (1989), modificaron el modelo de flujos de escombros para incluir turbulencia. (Fonseca, 2012)

Schamber y MacArthur (1985), crearon un modelo de elementos finitos unidimensionales para flujos de lodo usando el modelo reológico de Bingham para evaluar los esfuerzos cortantes del fluido no-Newtoniano.

O'Brien y Julien (1988), Julien y Lan (1991), investigaron flujos de lodo con altas concentraciones de sedimento fino en la matriz fluida. Estos estudios mostraron que los flujos de lodo se comportan como los fluidos Bingham con bajas tasas de corte. En matrices fluidas con bajas concentraciones de sedimento, los esfuerzos turbulentos

dominan en el flujo. Altas concentraciones de partículas gruesas combinadas con bajas concentraciones de partículas finas son requeridas para generar esfuerzos dispersivos. El modelo cuadrático de esfuerzo al corte propuesto por O'Brien y Julien (1985) describe el régimen continuo del flujo viscoso a flujo turbulento dispersivo.

(Fonseca, 2012), para transitar flujos de lodo, el comportamiento reológico del flujo debe ser tratado como un continuo con componentes de agua y sedimento mezclados. Los flujos de sedimento hiperconcentrado como lodo y flujos de escombros envuelven la interacción entre fluidos complejos y procesos de sedimentos; turbulencia, esfuerzos viscosos, cambio de momento de la partícula sedimento-fluido, arrastre de partículas y colisión de partículas de sedimento. La cohesión fina del sedimento controla el comportamiento no-Newtoniano de la matriz fluida.

Esta cohesión contribuye al esfuerzo de cedencia en cual debe ser excedido por una fuerza aplicada para iniciar el movimiento de fluido. Para grandes tasas de esfuerzo al corte, tal como podría ocurrir en abanicos aluviales pronunciados, los esfuerzos turbulentos pueden ser generados. En un flujo turbulento, un incremento de la componente de esfuerzo al corte, del esfuerzo dispersivo, puede provenir de la colisión de partículas de sedimento bajo grandes tasas de deformación del flujo. Los esfuerzos dispersivos ocurren cuando las partículas grandes del sedimento dominan el flujo y el porcentaje de sedimento fino cohesivo (limos y arcillas) es pequeño. Los esfuerzos cortantes en flujos de sedimento hiperconcentrados, incluyendo los descritos como flujos de escombros, flujos de lodo e inundaciones de lodo, pueden ser calculados de la suma de cinco

componentes de esfuerzos al corte.

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d \quad (41)$$

Donde el esfuerzo cortante total  $\tau$  depende del esfuerzo límite cohesivo  $\tau_c$ , el esfuerzo de Mohr-Coulomb  $\tau_{mc}$ , el esfuerzo cortante viscoso  $\tau_v$ , el esfuerzo cortante turbulento  $\tau_t$ , y el esfuerzo cortante dispersivo  $\tau_d$ . cuando escribimos en términos de tasas de deformación ( $dv/dy$ ) el siguiente modelo cuadrático reológico puede ser desarrollado (O'Briem and Julien, 1985)

$$\tau = \tau_v + \eta \left( \frac{dv}{dy} \right) + c \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (42)$$

Donde:

$$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc} \quad (43)$$

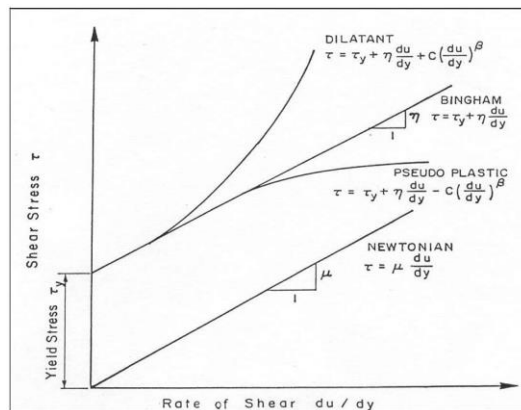
$$c = p_m l^2 + a_i p_s \lambda^2 d_s^2 \quad (44)$$

Donde,  $\eta$  es la viscosidad dinámica de la mezcla;  $\tau_c$  es el esfuerzo de fluencia cohesivo;  $\tau_m$  es el esfuerzo de corte de Mohr-Coulomb donde  $\tau_{mc} = p_s \tan \phi$  dependen de la presión intergranular  $p_s$  y del ángulo de reposo  $\phi$  del material;  $c$  denota el coeficiente de esfuerzos cortantes inerciales, el cual depende de la densidad de masa de la mezcla  $p_m$ , de la longitud de Prandtl  $l_m$ , del tamaño del sedimento  $d_s$ , de la concentración volumétrica de sedimentos  $C_v$ , y de la densidad de masa del sedimento  $p_s$ . La longitud  $l_m$  es usualmente dado como una función de la distancia desde el borde "y" y la constante de Von Karman "k". Como una primera aproximación, puede ser determinada por  $l_m \approx kh$ , donde  $h$  es la profundidad del flujo y  $k=0.4$ . El coeficiente  $a_i$  propuesto por Takashi es de 0.01.

Bagnold definió la concentración de sedimento lineal  $\lambda$  como:

$$\frac{1}{\lambda} = \left(\frac{C_m}{C_v}\right)^{1/3} - 1 \quad (45)$$

En el cual la concentración máxima de partículas de sedimento  $C_m$  es aproximadamente 0.615. Los primeros dos términos de esfuerzos en la ecuación de esfuerzos cortantes son referidos a los cortantes de Bingham y representa los esfuerzos de resistencia internos del fluido Bingham (Fig. 16). La suma del esfuerzo de cedencia y los esfuerzos viscosos define los esfuerzos cortantes de un fluido cohesivo, de sedimento hiperconcentrado en un régimen de flujo viscoso. El último término es la suma de los esfuerzos cortantes dispersivos y turbulentos, el cual es una función de cuadrado de la gradiente de velocidad.



**Figura 16.** Modelos de deformación del fluido (O'Brien, 1993)

Un modelo de flujos de lodo que incorpora solo los esfuerzos de Bingham e ignora los esfuerzos inerciales asume que la simulación de flujos de lodo es viscosa. Esta suposición no es generalmente aplicable porque todas las inundaciones de lodo (mud floods) y

algunos flujos de lodo (mudflows), son turbulentos con velocidades tal como 8 m/s. Incluso flujos de lodo con concentraciones hasta 40 % por volumen pueden ser turbulentos (O'Brien, 1986). Dependiendo de las propiedades de la matriz fluida, la viscosidad y esfuerzos de cedencia en altas concentraciones de sedimento pueden todavía ser relativamente bajos comparados a esfuerzos turbulentos asociados a altas velocidades. Si el flujo es controlado principalmente por esfuerzos viscosos, resultaran velocidades inferiores. Inversamente, si la viscosidad y el esfuerzo de cedencia son pequeños, los esfuerzos turbulentos dominarán y las velocidades serán superiores.

De la ecuación 42, Julien y Lan (1991) propusieron una fórmula adimensional del modelo reológico cuadrático:

$$\tau^* = 1 + (1 + T_d^*) a_i + D_v^* \quad (46)$$

En donde los tres parámetros adimensionales  $\tau^*$ ,  $D_v^*$  y  $T_d^*$  son definidos como:

1. Esfuerzo cortante en exceso adimensional.

$$\tau^* = \left( \frac{\tau - \tau_y}{\eta \, du/dy} \right) \quad (47)$$

Si  $\tau^*=1$ , la mezcla se comporta como un fluido del tipo Bingham.

2. Tasa dispersivo- viscoso adimensional.

$$D_v^* = \left( \frac{p_s \lambda^2 a_s^2}{\eta} \right) \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (48)$$

Si  $D_v^*$  es grande, el flujo será dispersivo, si  $D_v^*$  es pequeño será viscoso.

3. Tasa turbulento- dispersivo

$$T_d^* = \frac{\rho_m l_m^2}{\alpha_i \rho_s \lambda^2 d_s^2} \quad (49)$$

Si  $T_d^*$  es grande el flujo será turbulento; si  $T_d^*$  es pequeño será dispersivo.

Para relacionar los parámetros adimensionales a la clasificación de flujos de sedimento hiperconcentrados, las siguientes líneas son sugeridas:

1. Las avenidas de lodo (mud flood) ocurren cuando los esfuerzos cortantes turbulentos son dominantes, dados por  $D_v^* > 400$  y  $T_d^* > 1$ .
2. Los flujos de lodo (mudflow) ocurren cuando los esfuerzos de cedencia y viscosos son dominantes, dados por  $D_v^* < 30$ .
3. Los flujos de escombros (debris flow) o flujos granulares ocurren cuando los esfuerzos dispersivos son dominantes, dados por  $D_v^* > 400$  y  $T_d^* < 1$ .

Un régimen de transición existe en el rango de los parámetros  $30 < D_v^* < 400$ .

Los esfuerzos cortantes analizados en el modelo FLO 2D, también pueden escribirse de la siguiente manera:

$$S_f = S_y + S_v + S_{td} \quad (50)$$

Donde, la pendiente de fricción total  $S_f$  es la suma de los componentes: la pendiente de cedencia  $S_y$ , la pendiente viscosa  $S_v$ , y la pendiente turbulenta- dispersiva  $S_{td}$ . La pendiente de viscosidad puede ser escrito como:

$$S_v = \frac{K \eta V}{8 \gamma_m h^2} \quad (51)$$

Donde  $\gamma_m$  se refiere al peso específico de la mezcla de sedimentos y K parámetro de resistencia para flujos laminares (Tabla 16).

**Tabla 16**

*Parámetros de resistencia para flujo laminar*

Parámetros de resistencia del flujo laminar	
Superficie	Rango de K
Concreto/asfalto	24 –108
Arena escasa	30 – 120
Superficie gradual	90 – 400
Arcilla escasa– suelo de marga erosionada	100 - 500
Poca vegetación	1,000 - 4,000
Hierba corta de pradera	3,000 -
Césped de hierba añil	7,000 -

Fuente: Fonseca, 2012.

La pendiente del esfuerzo turbulento- dispersivo, puede ser escrito como:

$$S_{td} = \frac{\eta_{td}^2 V^2}{h^{4/3}} \quad (52)$$

Donde la resistencia del flujo  $\eta_{td}$  de las componentes de esfuerzos cortantes turbulentos y dispersivo, son una función exponencial de la concentración de sedimentos y el coeficiente de Manning.

Las componentes de las pendientes de fricción son entonces combinadas en la siguiente forma:

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{K \eta V}{8 \gamma_m h^2} + \frac{\eta_{td}^2 V^2}{h^{4/3}} \quad (53)$$

Una solución de la ecuación cuadrática para la combinación de pendientes de fricción ha sido formulada en el modelo FLO 2D para la estimación de velocidad en la ecuación de momentum.

### 3.2.3.5. Medición de los parámetros reológico

Fonseca (2012), La viscosidad y el esfuerzo de cedencia de mezclas agua- sedimento son parámetros reológicos necesarios para la aplicación de los modelos de cálculo de los flujos con altas concentraciones de sedimentos. Una manera directa de calcular la viscosidad es empleando un “reómetro” que es similar a un viscosímetro que construye el diagrama de esfuerzo vs tasa de deformación. Usualmente en estos aparatos solo se analiza la matriz del fluido (limos y arcillas con tamaños menores a 0.072 mm, es decir solo se analiza la matriz más viscosa de la mezcla sin considerar el material grueso. Sin embargo, el uso de esta metodología resulta ser complicado y a la vez muy costosa.

O'Brien y Julien (1988), realizaron un análisis de laboratorio de muestras recolectadas de depósitos naturales de flujos de lodo en Colorado Rocky Mountain cerca de las ciudades de Aspen y Glenwood Springs. Las propiedades de las muestras de los flujos de lodo en términos de distribución del tamaño de sedimento y contenido de arcilla son dadas en la tabla 17. Las muestras con alto contenido de arcilla fueron ensayadas para determinar el límite líquido y el índice plástico. La matriz fluida compuesta de sedimentos finos (solo limos y arcillas) fue preparada para ensayarse en un viscosímetro; de 10 a 15 mediciones de esfuerzos cortantes versus tasa de deformación fue realizado para cada concentración. La concentración volumétrica fue variando añadiendo agua después de cada ensayo. Finalmente, de los resultados se concluyó que la viscosidad ( $\eta$ ) y el esfuerzo de cedencia ( $\tau_y$ ) se incrementan potencialmente con la concentración de sedimentos ( $C_v$ ).

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad (54)$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad (55)$$

Donde  $\alpha_1$  y  $\beta_1$  son coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorio y  $C_v$  es la concentración volumétrica de sedimentos (Tabla 17, Fig. 17 y Fig. 18).

**Tabla 17**

*Propiedades de las matrices de flujos de lodo*

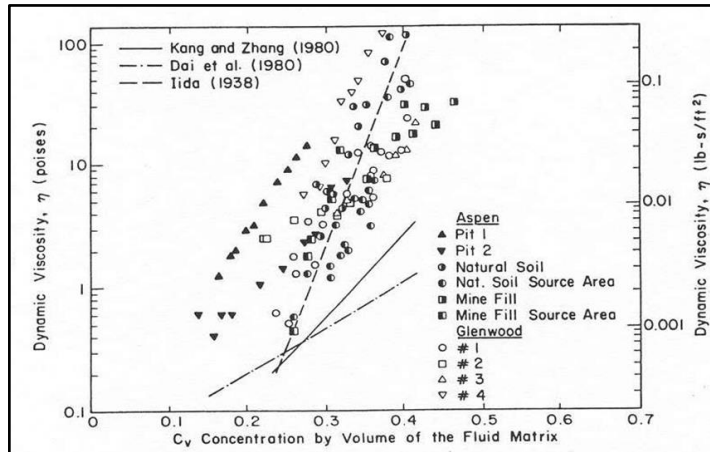
Sample	Arcilla (%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)	Líquido	Plástico
Glenwood original	4,8	0,010	0,034	0,062	-	-
Glenwood sample 1	6,8	0,009	0,023	0,050	-	-
Glenwood sample 2	3,0	0,016	0,035	0,061	-	-
Glenwood sample 3	4,8	0,011	0,025	0,053	-	-
Glenwood sample 4	7,6	0,001	0,018	0,032	-	-
Aspen Pit 1	31,3	0,001	0,011	0,032	0,32	0,11
Aspen natural soil	27,0	0,001	0,012	0,028	0,25	0,06
Aspen mine fill	27,8	0,001	0,013	0,030	0,24	0,06
Aspen natural soil source	31,6	0,001	0,016	0,039	-	-
Aspen mine fill source	25,2	0,001	0,018	0,061	-	-

Fuente: O'Brien y Julien, 1988.

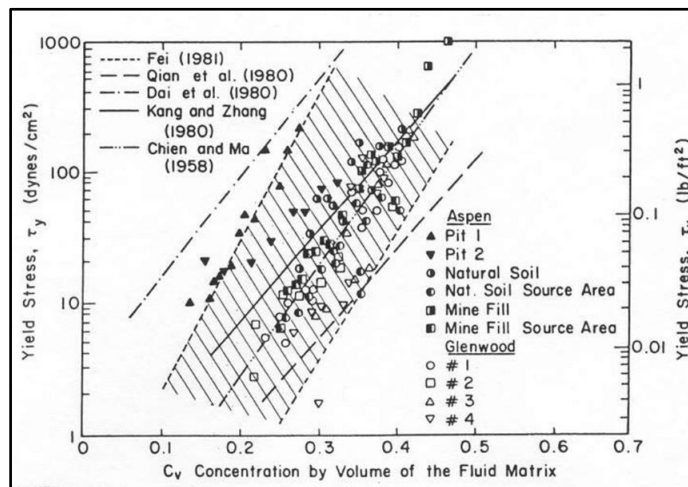
**Tabla 18***Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función de  $C_v$* 

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Correlaciones de mediciones en campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Correlaciones disponibles de la literatura				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Quien et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1- 32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

Fuente: O'Brien y Julien, 1988.



**Figura 17.** Viscosidad dinámica de muestras de flujos de lodo vs concentración de sedimentos (O'Brien y Julien, 1988)



**Figura 18.** Esfuerzo de cedencia de muestras de flujos de lodo vs concentración de sedimentos (O'Brien y Julien, 1988)

Muchos flujos de sedimento hiperconcentrado viscosos se refieren a flujos de lodo. Los flujos de lodo son no homogéneos, no-Newtonianos cuyas propiedades del fluido varían significativamente si viajan a través de las vertientes o a través de los abanicos aluviales. Su comportamiento depende de las propiedades de la matriz (agua y sedimentos finos), la geometría del canal, la pendiente y la rugosidad.

Los flujos de lodo viscosos tienen altas concentraciones de sedimentos y correspondientemente altos esfuerzos de cedencia. Los parámetros de muestra de flujo de lodo en la tabla 17 representan un rango completo de características de flujo potencial.

#### **3.2.3.6. Concentración Volumétrica de Sedimentos**

Para un evento de flujo de escombros, se estima una distribución de  $C_v$  en el tiempo con un valor cercano a 0.2 y aumentando gradualmente hasta 0.35 o 0.45, dependiendo del tipo de sedimentos de la cuenca. Si la cuenca genera flujos de lodos y escombros, entonces se deben utilizar valores cercanos a 0.45. El pico de  $C_v$  debe ubicarse unos minutos antes del pico del hidrograma líquido. En la tabla 18 se indica la clasificación dada por O'Brien (2000), a los eventos de avenidas grandes, tal como avenidas para un periodo de 100 años, el cual puede contener demasiada agua para producir eventos de flujos de lodo viscosos. Eventos de lluvias más pequeñas, tal como tormentas con periodo de retorno de 10 a 25 años puede tener mayor tendencia a crear flujos de lodo viscosos. (Palomino, 2019)

**Tabla 19***Comportamiento del flujo de lodo como una función de Cv*

Tipo de Flujo	Concentración de sedimentos		Características del Flujo
	Volumen	Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 – 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques.
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
Flujos de lodo (Mudflow)	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Avenida de lodo (Mud Flood)	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
	0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo.
	0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
Inundación de agua	< 0.20	<0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

Fuente: O'Brien.

En cada elemento de grilla se calcula el volumen de agua, sedimento y la concentración de estos. Al término de la simulación, el modelo reporta la cantidad de agua y sedimento fuera del área de estudio (flujo de salida), en el abanico y en el canal (flujo almacenado).

### **3.2.4. Mecánica de suelos**

#### **3.2.4.1. Granulometría**

También llamado análisis granulométrico, permite separar las partículas del agregado según tamaños, para ello, se utiliza mallas de diferentes aberturas, las cuales expresan el tamaño máximo en cada una de ellas.

El material retenido en cada malla se pesa y se expresa como porcentaje retenido, se calcula tanto parcial como acumulado, y con la información obtenida se realiza una curva granulométrica (Fig. 19). En la curva granulométrica, las ordenadas representan el porcentaje que pasa y las abscisas es el diámetro de las partículas. Mediante esta curva se obtienen diámetros, como: D10, D30, D60, etc. El D hace referencia al tamaño del grano o diámetro aparente y el subíndice (10, 30, 60) expresa el porcentaje del material más fino.



**Tabla 20***Valores del Coeficiente de uniformidad*

Valores	Descripción
$C_u < 5$	Suelo uniforme, mal graduado
$5 < C_u < 15$	Suelos no uniformes
$C_u > 15$	Suelos bien graduados

Fuente: Hazen, 1911

También se debe considerar como dato complementario y necesario para definir la graduación, a través del coeficiente de curvatura del suelo, que se presenta de la siguiente manera:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (55)$$

Donde  $D_{60}$  y  $D_{10}$  son los mismos valores que se mencionó anteriormente, y  $D_{30}$  se define análogamente a los anteriores. La relación que presenta es la siguiente (Tabla 21).

**Tabla 21***Valores del Coeficiente de Curvatura*

Valores	Descripción
$1 \leq C_c \leq 3$	Suelo bien graduados, con amplio margen de tamaño de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

Fuente: Sáez, 2010

En suelos granulares como gravas y arenas se habla de suelos bien y mal graduados. Un material se considera bien graduado si tiene bien repartido todos los tamaños de partículas. Se considera mal graduado si faltan partículas de cierto diámetro. (Sáez, 2010)

La tabla 22 indica los coeficientes de uniformidad y curvatura de un suelo bien graduado.

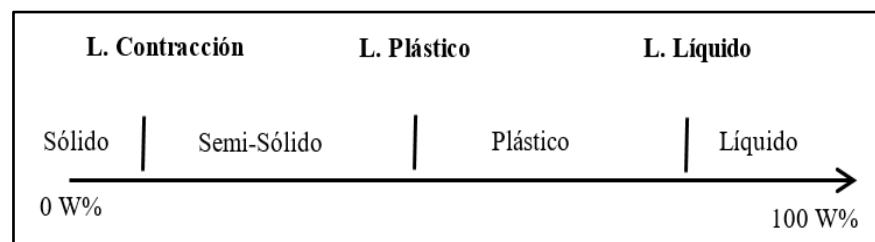
**Tabla 22**  
*Valores del Coeficiente de uniformidad y curvatura*

	Cu	Cc
Gravas	> 4	$1 \leq Cc \leq 3$
Arenas	> 6	$1 \leq Cc \leq 3$

Fuente: Sáez, 2010

### 3.2.4.2. Límites de Attemberg

También llamado Límites de consistencia, consiste en describir el comportamiento de los suelos finos en función al contenido de humedad. Se definen cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido. Los límites (frontera) entre cada estado se denominan límites de Attemberg, tal como se muestra en la Fig. 20.



**Figura 20** Límites de consistencia (Attemberg, 1911)

Según la Norma ASTM D 4318, los límites de Attemberg se utilizan para clasificar e identificar el tipo de suelo.

- **Límite Líquido (LL).** - Es el límite de cambio de un estado plástico a líquido. Para determinar este límite se utiliza la copa de Casagrande.

- **Límite Plástico (LP).** - Cuando el suelo pasa de un estado semisólido a plástico.
- **Índice de Plasticidad (IP).** – Es la diferencia entre el límite líquido y plástico de un suelo.

$$IP = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.L. = Se define como límite líquido

L.P. = Se define como límite plástico

**Tabla 23**

*Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad*

Plasticidad	Características	Rango IP
No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla	IP = 0
Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad	IP < 7
Media	Suelos arcillosos	7 < IP ≤ 20
Alta	Suelos muy arcillosos	IP > 20

Fuente: Atterberg, 1911

En la Tabla 23, el índice de Plasticidad se considera como No Plástico (N.P.), en dos casos: cuando el límite líquido o límite plástico no pueden determinarse y cuando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido.

### 3.2.4.3. Contenido de humedad

Consiste en dividir el peso del agua que contiene una muestra de suelo y el peso de las partículas del mismo, el resultado se expresa en porcentaje. Para determinar el contenido de humedad, la muestra debe ser secada al horno.

$$w (\%) = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) * 100 \quad (56)$$

Donde

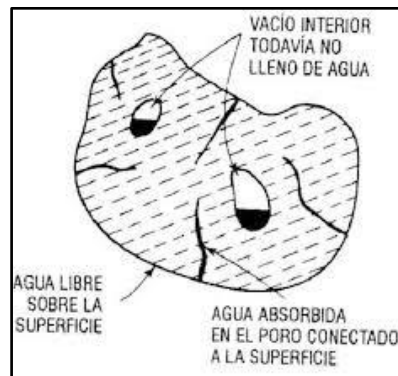
$W$  = contenido de humedad (%).

$W_w$  = peso del agua de un suelo.

$W_s$  = peso de las partículas sólidas del suelo.

#### 3.2.4.4. Densidad, densidad relativa y absorción

Es importante conocer que todo agregado es poroso, lo que permite el ingreso de agua entre los espacios de ellos. Un agregado húmedo puede contener agua en su interior como exterior, como se observa en la Fig. 21.



**Figura 21** Partícula de agregado húmedo (Waddell y Dobrowolski, 2001)

La absorción es el incremento de la masa del agregado debido a la presencia de agua en los poros de las partículas.

La densidad de un material es la relación de la masa por unidad de volumen.

La densidad relativa es la relación de la densidad de un material con la densidad del agua a una temperatura determinada.

### **3.2.4.5. Densidad in situ**

Según la Norma ASTM D 1556 la densidad in situ permite conocer la densidad de un suelo en su estado natural, se determina utilizando el cono de arena o equipos nucleares.

### **3.2.4.6. Sistema de clasificación de suelos**

Según el Manual de Ensayo de Materiales EM (2000), la clasificación de suelos consiste en agrupar una masa de suelo que presenta un comportamiento semejante, propiedades y caracteres ingenieriles similares.

Hay diferentes sistemas de clasificación de Suelos, como: Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS), American Association of State Highway y Officials (AASHTO), Sistema Británico (BS), FAA, etc.

Para clasificar un suelo mediante los sistemas SUCS y AASHTO se utilizan los resultados del análisis granulométrico y los límites de Atterberg.

#### **a) Sistema de Clasificación ASSTHO**

Consiste en clasificar el suelo en grupos, en base a la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. La clasificación en cada grupo es mediante un “índice de grupo”, se calcula con la siguiente fórmula:

$$IG = (F-35) [0,2+0,005(W_L-40)] + 0,01(F-15) (IP-10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz de abertura 0,08mm.

$W_L$  = Límite Líquido del suelo.

LP = Límite Plástico del suelo.

IP = Índice de Plasticidad.

El índice de grupo se expresa en números enteros, si el valor es negativo su valor será igual a cero (0).

**Tabla 24**  
*Clasificación ASSTHO*

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% O MENOS PASA POR EL TAMIZ N° 200)						MATERIALES LIMOSO ARCILLOSO (MÁS DEL 35% PASA EL TAMIZ N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 mín 10 máx	- - 35 máx				- - 36 mín			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40 Límite líquido Índice de plasticidad	- 6 máx		- NP <sup>(1)</sup>	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín 11 mín	40 máx 10 máx	41 mín 10 máx	40 máx 11 mín	41 mín <sup>(2)</sup> 11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno						Pobre a malo				

<sup>(1)</sup> No plástico.

<sup>(2)</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor al LL menos 30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL menos 30.

Fuente: Crespo, 2004

## b) Sistema de Clasificación SUCS

Propuesto por el Dr. Arturo Casagrande en 1942, a partir de esa fecha su uso es común y aplicable a todas las obras de ingeniería.

El sistema se divide en dos grupos, suelo de grano grueso y de grano fino, se distinguen mediante el cribado por la malla No 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores.

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G) y arenas (S). Las gravas son aquellas retenidas en el tamiz N° 4, y las arenas son las que pasan el tamiz N° 4. Los suelos de grano grueso se dividen en cuatro grupos secundarios: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM y SC. Donde:

G = Gravas.

S = Arenas.

W = Bien graduado.

P = Pobrementemente o mal graduado.

M = Indica presencia de limo.

C = Indica presencia de arcilla.

Los suelos de grano fino se subdividen en limos (M) y arcillas (C), en función al límite líquido e índice de plasticidad. Estos suelos se dividen en tres grupos adicionales a lo anterior:

O = Orgánico.

L = Baja compresibilidad.

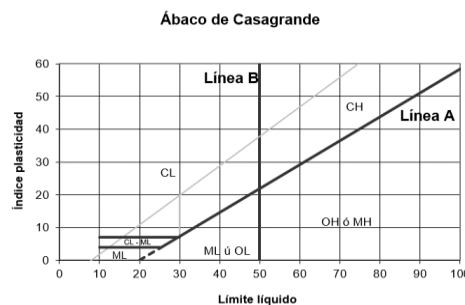
H = Alta compresibilidad.

**Tabla 25**

*Clasificación SUCS*

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	<p>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: &lt;5% -&gt;GW, GP, SW, SP. &gt;12% -&gt;GM, GC, SM, SC. 5 al 12% -&gt;casos límite que requieren usar doble símbolo.</p>	
		Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	GP	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 4$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		Límites de Atterberg de debajo de la línea A o $IP < 4$ . Encima de línea A con $IP$ entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.
		Gravas limpias (pocos o sin finos)	GC	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		$Cu = D_{60}/D_{10} > 6$ $Cc = (D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.	
			SP	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		Límites de Atterberg de debajo de la línea A o $IP < 4$ . Los límites situados en la zona rayada con $IP$ entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.
			SC			Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .

<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	<b>ML</b> Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		<b>CL</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		<b>OL</b> Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	<b>MH</b> Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		<b>CH</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		<b>OH</b> Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos	<b>PT</b> Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.	



Fuente: Crespo, 2004

### 3.2.5. Evaluación de riesgos

Para determinar el análisis de riesgo en una zona específica es necesario definir qué obras estructurales serán dañadas, La amenaza se puede determinar en función a la intensidad y probabilidad del evento. En el análisis de la intensidad es importante definir la profundidad, la velocidad de flujo y su probabilidad de ocurrencia. La clasificación del nivel de riesgo se observa en la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Clasificación del Nivel de Riesgo*

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN
Alto	Peligro para las personas tanto en el interior como en el exterior de sus viviendas. Las estructuras están en peligro de ser destruidas.
Medio	Las personas están en peligro fuera de sus casas. Los edificios pueden sufrir daños y es posible la destrucción de estructuras dependiendo de las características de la construcción.
Bajo	El peligro para las personas es bajo o no existe. Los edificios pueden sufrir pequeños daños, pero la inundación o la sedimentación pueden afectar interiores de las estructuras.

Fuente: PREVENE, 2001

Fiebigger (1997) en su método utiliza la energía total definida por  $h + v^2/2g$ .

OFEE et al. (1997), define la intensidad en función de combinar la profundidad de flujo  $h$  y del producto de  $h$  y de  $v$ , asignando una intensidad alta a grandes profundidades de flujo independientemente de su velocidad.

Es importante indicar que para definir la intensidad de un evento, se debe diferenciar la presencia de un flujo de agua (Tabla 27) y de un flujo de barro (Tabla 28)

**Tabla 27**

*Intensidad de crecidas de aguas*

Intensidad	Max. Profundidad h (m)		Producto de máx. profundidad por velocidad máxima (m <sup>2</sup> /s)
Alto	$h > 1.5$	o	$v h > 1.5$
Media	$0.5 < h < 1.5$	o	$0.5 < v h < 1.5$
Baja	$h < 0.5$	y	$v h < 0.5$

Fuente: PREVENE, 2001

**Tabla 28**

*Intensidad de flujos o crecidas de barro*

Intensidad	Max. Profundidad h (m)		Producto de máx. profundidad por velocidad máxima (m <sup>2</sup> /s)
Alto	$h > 1.0$	o	$v h > 1.0$
Media	$h < 1.0$	o	$v h < 1.0$
Baja	No definida		No definida

Fuente: PREVENE, 2001

## CAPÍTULO IV

### MARCO METODOLÓGICO

La metodología empleada consiste en las siguientes fases:

#### 4.1. Trabajo previo

- Se recopiló información existente, también se realizó la planificación de los trabajos previos a campo.
- Se realizó la investigación de trabajos anteriores que se realizaron en el área de trabajo, por medio de centros de investigación, bibliotecas, centros de documentación y otros.

#### 4.2. Trabajo de campo

En esta etapa se realizará lo siguiente:

- Levantamiento topográfico de la zona de estudio, mediante el uso de equipos topográficos, como la estación total.



**Figura 22.** Levantamiento topográfico

- Reconocimiento geomorfológico y geológico local de la zona de estudio.



**Figura 23.** Mapeo geomorfológico.



**Figura 24.** Mapeo geológico.

- Se realizó la excavación de calicatas, trincheras, y obtención de muestras de suelos.

### 4.3. Trabajo de laboratorio y gabinete

Se procesó la información obtenida en campo e interpretación de resultados. Para la realización de ensayos de mecánica de suelos de las muestras obtenidas se utilizaron las siguientes normas:

**Tabla 29**

*Ensayos y Normas*

Ensayos	Norma
Obtención en laboratorio de muestras representativas (Cuarteo).	MTC E-105
Análisis Granulométrico	MTC E-204
Contenido de Humedad de un suelo.	MTC E-108
Determinación del Límite Líquido de los suelos (L.L.)	MTC E-110
Determinación del Límite Plástico (L.P.) e Índice de Plasticidad (I.P.).	MTC E-111
Densidad in situ (Método del cono).	MTC E 117
Peso Específico del Agregado grueso	MTC E-206
Peso Específico del Agregado fino	MTC E-205
Peso Unitario y vacíos de los agregados	MTC E-203

Fuente: EM, 2000



**Figura 25.** Realización de ensayos en Laboratorio de Mecánica de suelos de la UNJBG

En esta etapa también se elaboraron los siguientes mapas:

- Elaboración del mapa geomorfológico local.
- Elaboración del mapa geológico regional.
- Elaboración del mapa geológico local.
- Elaboración de mapa de pendientes.
- Elaboración final de la tesis.

## **CAPÍTULO V**

### **MARCO GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO**

#### **5.1. Geomorfología regional**

El área de estudio presenta dos unidades geomorfológicas regionales: Faja Litoral y Cordillera de la Costa, descritas a continuación:

##### **5.1.1. Faja Litoral**

Presenta un relieve llano, comprende desde la línea de la costa hasta los 50 m.s.n.m., disminuye hacia el noroeste, donde se desarrolla la Cordillera de la Costa. Está conformada por terrazas marinas compuestas por arenas eólicas y conglomerados bioclásticos de origen marino.

##### **5.1.2. Cordillera de la Costa**

La cordillera de la costa se manifiesta como una zona elevada, el cordón de cerros que la conforman no sobrepasa los 760 m.s.n.m.

#### **5.2. Geomorfología local**

Se tienen las siguientes unidades geomorfológicas, que a continuación se describen:

##### **5.2.1. Terrazas**

Son porciones de terreno que se encuentran en ambos márgenes del cauce principal. Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bloques, cantos rodados, gravas, arenas y limos), acarreados y depositados durante las máximas avenidas.



**Figura 26.** Terraza con una altura aproximada de 2m.

### **5.2.2. Piedemonte o vertiente de detritos**

Son depósitos inconsolidados acumulados al pie de las laderas, de origen coluvial, de edad reciente, que descienden por motivo de la gravedad y pendiente. Presenta una granulometría variable, con fragmentos angulosos. Las vertientes de detritos en la zona de estudio, está asociado a ocurrencias de flujos.

### **5.2.3. Cárcavas**

Esta geoforma se desarrolla en las laderas, por acción de las aguas superficiales provenientes de las precipitaciones, producen arrastre de sedimentos que generan erosión, dando lugar a las cárcavas.

### **5.2.4. Lomadas**

Relieve de disección, de altura media, se caracteriza por presentar una circunferencia basal alargada, su relieve está formado por vertientes que se inclinan en dirección opuesta. Se asocia litológicamente a rocas de tipo volcánica.



**Figura 27.** Se observa lomadas en el área de estudio

#### **5.2.5. Abanicos aluviales**

Esta geoforma se observa al final de la quebrada, debido a sucesivos flujos de lodo que han ocurrido en época de precipitaciones, presenta una pendiente entre  $5^{\circ}$  -  $10^{\circ}$  aproximadamente. También se puede observar al pie de las laderas producto de la gravedad.

Está compuesto por depósitos de detritos de naturaleza sedimentaria, de tamaños variados y de formas angulosas y subangulosas, englobados en matriz areno-limosa.

#### **5.2.6. Mantos de arena**

Esta geoforma presenta gran extensión, cubriendo ambos márgenes del cauce principal, aguas abajo, producto de la dinámica eólica, situación que se da especialmente en nuestra área de estudio, por ser una zona desértica.

### **5.3. Geología local**

La zona de estudio presenta la siguiente información geológica:

### **5.3.1. Formación Chocolate (TsJi-cho)**

Se hallan en el Cerro Cajones, presencia de rocas volcánicas basálticas de gris oscuro y rojo violáceo. Está constituida por rocas volcánicas y sedimentarias.

### **5.3.2. Depósitos del Cuaternario**

Los depósitos cuaternarios están constituidos por los depósitos coluviales, deluviales y eólicos, que ocupan grandes extensiones en el área de estudio.

#### **5.3.2.1. Depósitos Coluvio-deluvial (Qh-coldel)**

Constituida por bloques angulosos, cantos y gravas con arenas. Se encuentran al pie de las laderas, como resultado del desplazamiento simultáneo de la gravedad, con ayuda de la escasa precipitación que cae en la zona.



**Figura 28.** Depósitos coluvio- deluvial en las laderas de la quebrada

### 5.3.2.2. Depósitos marinos

Este depósito está constituido por una matriz de arenas finas con presencia de conchillas, en estado suelto.



**Figura 29.** Depósitos marinos, presencia de conchillas

### 5.3.2.3. Depósito deluvial (Qh-del)

Este depósito está constituido por depósitos recientes, conformada por cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas, presentan algunos bloques. Se ubican durante toda la longitud de la quebrada.



**Figura 30.** Vista hacia el sureste, se aprecia depósitos deluviales en la Quebrada Sin Nombre

#### **5.3.2.4. Depósitos eólicos (Qh-eo)**

Depósitos constituidos por arenas, limos sueltos, que conforman las laderas, cubriendo formaciones antiguas, de este depósito proviene la matriz del flujo de sedimentos que arrastra la quebrada.



**Figura 31.** Depósitos eólicos presente en laderas de la quebrada.

## **CAPÍTULO VI**

### **GEODINÁMICA**

#### **6.1. Geodinámica externa**

La Quebrada Sin Nombre presenta una geodinámica externa bastante activa, los agentes que influyen en el modelado de la superficie terrestre son el agua, el sol, la gravedad, el viento, así como también los factores geodinámicos como son el factor estratigráfico, topográfico, climatológico, hidrológico, como son:

##### **6.1.1. Procesos de erosión**

Los factores de erosión que influyen en la zona de estudio, son las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial, etc.

La erosión eólica (viento), juega un papel preponderante en el modelado de la superficie terrestre, contribuyendo en forma directa a la formación del relieve actual. Este factor ha modelado y desgastado las rocas, transportando el material en suspensión para luego formar otras geoformas.

La erosión ocasionada por precipitaciones pluviales y la escorrentía superficial, siendo el agua uno de los principales elementos que intervienen en el proceso del modelado del relieve, en nuestra zona de estudio se presenta las siguientes formas de erosión:

- a. Erosión por escorrentía o arroyada difusa: En la zona de estudio se observa este tipo de erosión, por la formación de surcos en las laderas, producidas por las precipitaciones pluviales y escurrimientos superficiales, donde actúan los componentes horizontales y verticales

de la fuerza erosiva de la corriente, según la pendiente del terreno, la ausencia de vegetación (suelo desnudo).



**Figura 32.** Formación de surcos por escorrentía superficial (arroyada difusa)

- b. Erosión de cárcavas: Es otro fenómeno geodinámico de gran importancia en el área de estudio, influye en el desgaste y modelado de la superficie terrestre.

Medina (1991) define “las cárcavas constituyen la etapa embrionaria o inicio de las torrentas o “quebradas secas”, representan, además el inicio o punto de partida de los flujos aluviónicos de gran capacidad de destrucción”.

En la zona de estudio las cárcavas presentan una profundidad que va desde los 0,80 m. hasta 3,0 m. aproximadamente.



**Figura 33.** Se observa la formación de una cárcava.

### **6.1.2. Procesos de deposición**

En nuestra zona de estudio se pueden observar este tipo de proceso en las laderas de la quebrada, depósitos coluvio-deluviales, constituyen un tipo de deposición mecánica, de materiales heterogéneos transportados y acumulados por la acción de la gravedad. También se puede observar a lo largo del cauce, depósito proluvial, siendo varios procesos de deposición debido a las épocas de avenida.

## **6.2. Geodinámica interna**

El Perú, por su ubicación en el borde occidental de Sudamérica, se encuentra en el área de influencia del proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana, caracterizada por su alta sismicidad y la ocurrencia eventual de sismos destructivos.

La sismicidad puede ser dividida en dos grupos: el primero y más importante, está relacionado con la sismicidad, asociada al proceso de

subducción de la placa de Nazca por debajo de la Continental; esta actividad libera aproximadamente el 90 % del total de la energía sísmica anual, siendo generalmente el más frecuente y de grandes magnitudes.

El segundo grupo, considera la sismicidad producida por deformación y está asociada a los fallamientos tectónicos activos existentes en el Perú; esta actividad sísmica es de menor frecuencia y de magnitudes moderadas. (Alva y Castillo, 1993)

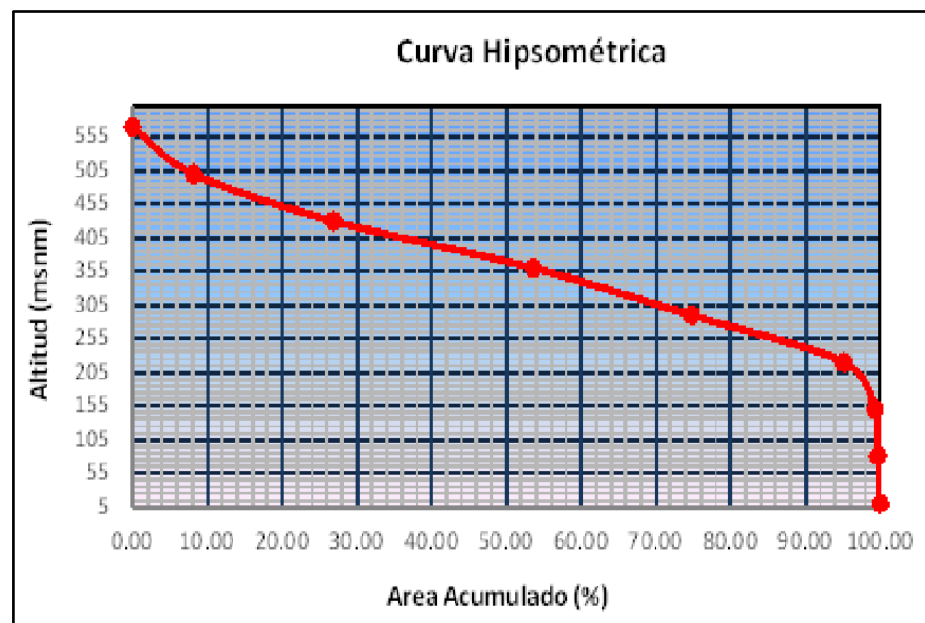
## CAPÍTULO VII

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICA DE LA QUEBRADA SIN NOMBRE

#### 7.1. Parámetros geomorfológicos

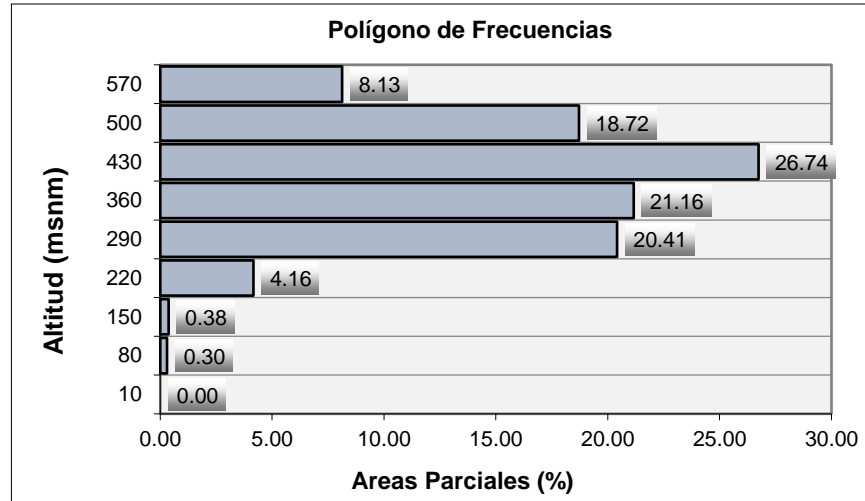
En la Tabla 30 se observa los parámetros geomorfológicos calculados para la Quebrada Sin Nombre, como también se generó la curva hipsométrica, el histograma de frecuencias altimétricas y perfil longitudinal.

- Curva Hipsométrica



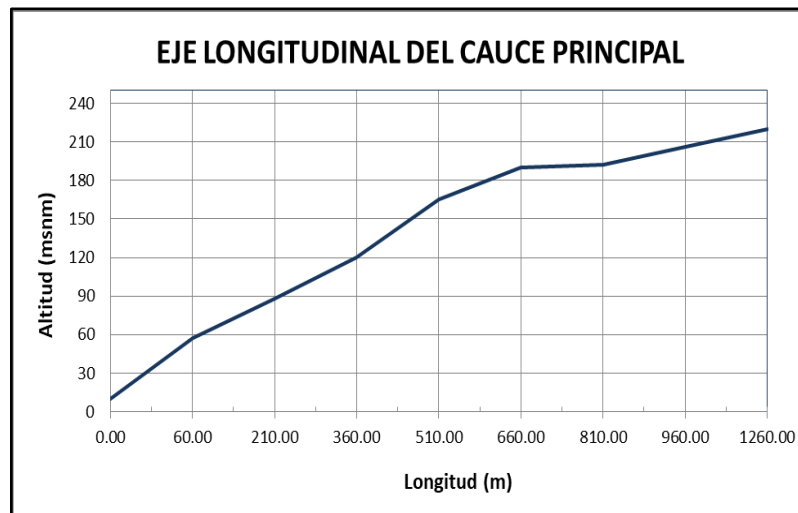
**Figura 34.** Curva Hipsométrica de la Quebrada Sin Nombre

- Histograma de frecuencias altimétricas



**Figura 35.** Histograma de frecuencias altimétricas de la Quebrada Sin Nombre

- Perfil altimétrico del cauce principal



**Figura 36.** Eje longitudinal del cauce principal de la Quebrada Sin Nombre

**Tabla 30**

*Parámetros Geomorfológicos para la Quebrada Sin Nombre*

PARÁMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA			
Superficie total		Km <sup>2</sup>	At	3.350			
Perímetro		Km.	P	10.040			
UBICACIÓN	Zona Proyección UTM		s/U	Zona	19 K		
	X		m	Coord. X	306240.00		
	Y		m	Coord. X	8005361.00		
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.547	
		FACTOR DE FORMA	Longitud		km	L	4.274
			Ancho Medio		km	$Am = At / L$	0.784
			Factor de Forma		s/U	$Kf = Am / L$	0.183
	RECTÁNGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor		km	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi*Kc^2))$	4.274	
		Lado Menor		km	$Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1-(1-4/\pi*Kc^2))$	0.784	
Densidad de drenaje		km/km <sup>2</sup>	$Dd = Lt / At$		3.723		
Desnivel total de la cuenca		km	Ht		0.56		
Altura media		m.s.n.m.	Hm		365		
Pendiente (Met. Rectángulo Equivalente)		%	$Ht / Lma$		13.10%		
Tiempo de Concentración Kirpich		min	$0.066*(L^{0.77}*(S^{0.385}))$		26.64		

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Precipitación máxima de 24 horas (P24)

La información pluviométrica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), se ha considerado la estación más cercana y con más datos, considerándose las precipitaciones máximas en 24 horas para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, la estación es la siguiente:

**Tabla 31***Ubicación de la estación meteorológica*

Estación	Código	Este	Norte	Altitud
Ite	000858	293217.1	8024213.9	166

Fuente: Elaboración propia

La información pluviométrica obtenida de la Estación de Ite fue procesada por medio de un análisis probabilístico, se efectuaron las distribuciones de frecuencia más usuales: Distribución Normal, Distribución Gumbel (EV1), Distribución Log Normal, Distribución Pearson III, Distribución Log Pearson III. En el estudio hidrológico para la Quebrada Sin Nombre, se encontró como mejor distribución de ajuste la Distribución Log Pearson III. Finalmente, se obtuvieron los resultados de precipitación máxima en 24 horas (Tabla 32) para diferentes períodos de retorno:

**Tabla 32***Precipitación máxima en 24 horas (mm)*

Tr (años)	P24 (mm)
P <sub>50</sub>	41,75
P <sub>100</sub>	49,46
P <sub>200</sub>	56,86

Fuente: Elaboración propia

### 7.3. Cálculo del tiempo de retardo (Tlag)

Para el cálculo del tiempo de retardo, consideraremos el Método de Kirpich, la ecuación 29.

**Tabla 33**

*Cálculo del Tiempo de retardo (Tr)*

METODO DE KIRPICH			
$T_c = 0.06626 * L^{0.77} * S^{-0.385}$			
L(km)= Longitud trayectoria flujo	4,274	t <sub>conc</sub> =	0,4417 horas
S (m/m) = Pendiente del cauce	0,131	t <sub>conc</sub> =	26,64 min
A (km <sup>2</sup> ) = Área de la cuenca	3,350	tr =	15,98 min

Fuente: Elaboración propia

#### **7.4. Número de curva (CN)**

El factor CN depende del tipo de suelo, de la naturaleza y cobertura del suelo y las condiciones previas de humedad. Soil Conservation Service presenta tablas para seleccionar el valor más representativo de cada situación, siendo estas la Tabla 14 y Tabla 15.

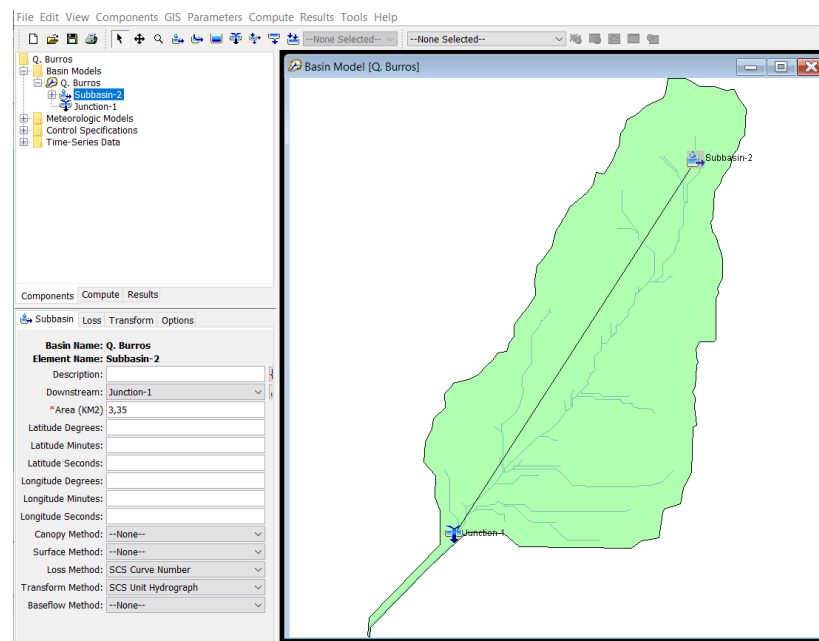
El área de estudio se encuentra en el Grupo D (alto potencial de escurrimiento y pequeña infiltración, formado por suelos finos arcillosos o limosos), obteniéndose un valor de CN igual a 78. En el cálculo del hidrograma líquido se empleará el valor del número de curva (CN) igual a 78, y la denominamos “curva calculada”.

#### **7.5. Hidrograma de avenida líquido (INFLOW)**

Para la estimación del hidrograma de avenida, utilizaremos el modelo hidrológico HEC-HMS, siendo este un software de uso libre. En el cálculo del hidrograma de avenida se empleará la metodología Soil Conservation Service.

En el modelo hidrológico HEC-HMS, se requiere lo siguiente:

- a. Modelo de Cuenca: Contiene los parámetros de los elementos hidrológicos: sub-cuencas, tramo de cauce, fuentes, sumideros. El primer paso es dibujar el esquema hidrográfico a simular, mediante un archivo de formato shape. Los elementos utilizados para definir la cuenca son: sub-cuenca (subbasin), cauce (reach) y la confluencia (junction).



**Figura 37.** Modelo de Cuenca

Como datos adicionales se debe considerar las características de la subcuenca, como por ejemplo el área. Se utilizará el método SCS para abstracciones, para estimar la pérdida inicial, debido a que depende solo de una variable conocida CN. La pérdida inicial (mm) es igual a  $0,20 \times (25400 - 254 \text{ CN}) / \text{CN}$  (Fig. 38). El valor de pérdida inicial en el HEC-HMS se calcula por defecto para el método de SCS.

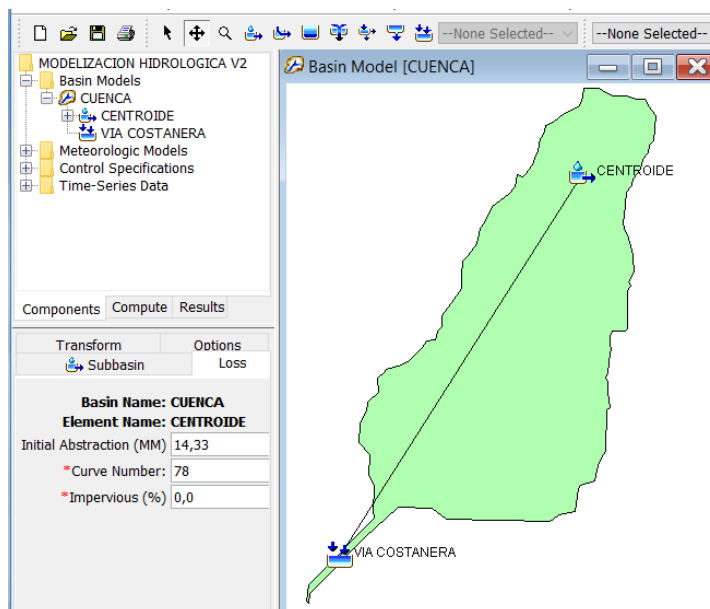


Figura 38. Método SCS de abstracciones

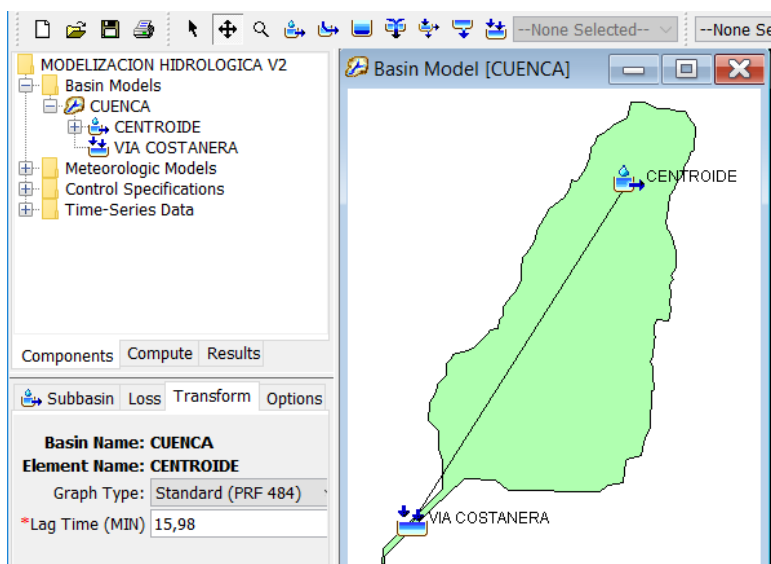
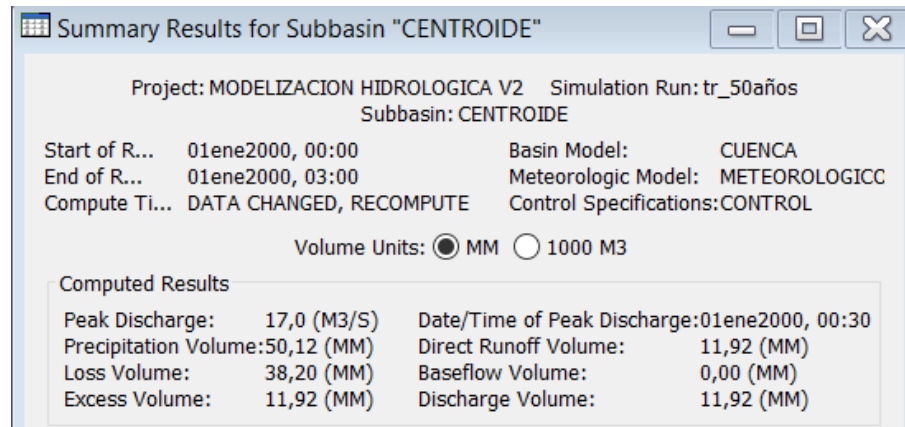
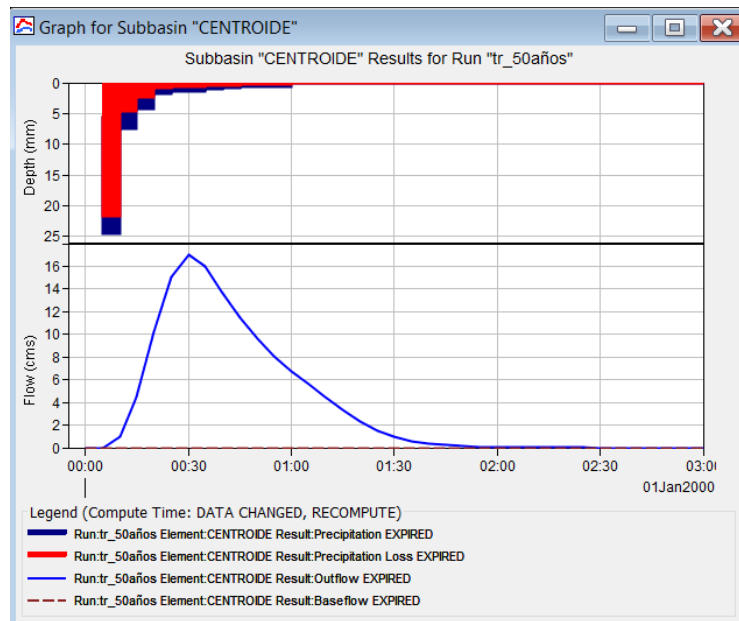


Figura 39. Método SCS- Tiempo de retardo

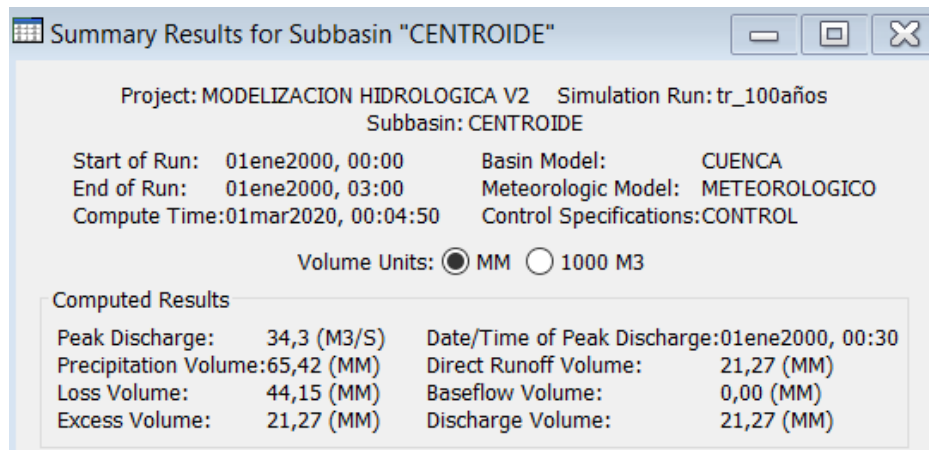
- b. Método Meteorológico: Se define la tormenta de diseño que será utilizada en la simulación del proceso precipitación- escorrentía. La data que se usara es la precipitación máxima de 24 horas calculada en el ítem 7.2.
- c. Especificaciones de Control: Consiste en ingresar el tiempo de simulación para el hidrograma y el intervalo de tiempo (dt) o nivel de discretización. Por regla general, el nivel de discretización (dt) debe ser menor a 1/3 del tiempo de retardo. Para nuestro caso con un tiempo de retardo de 15,98 min, se obtiene un intervalo de tiempo de 5 min.



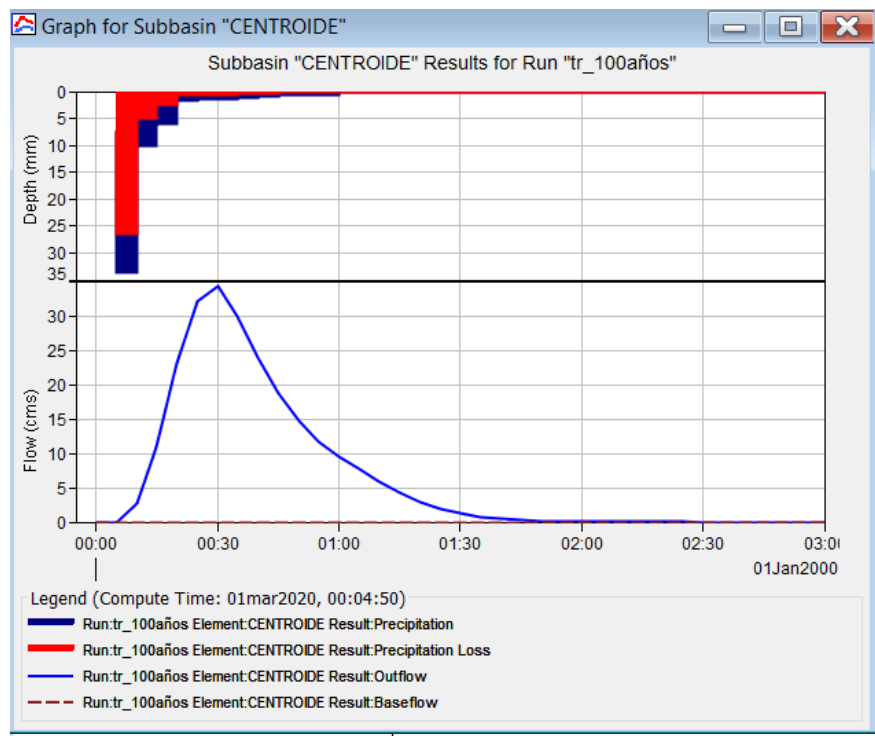
**Figura 40.** Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =50 años.



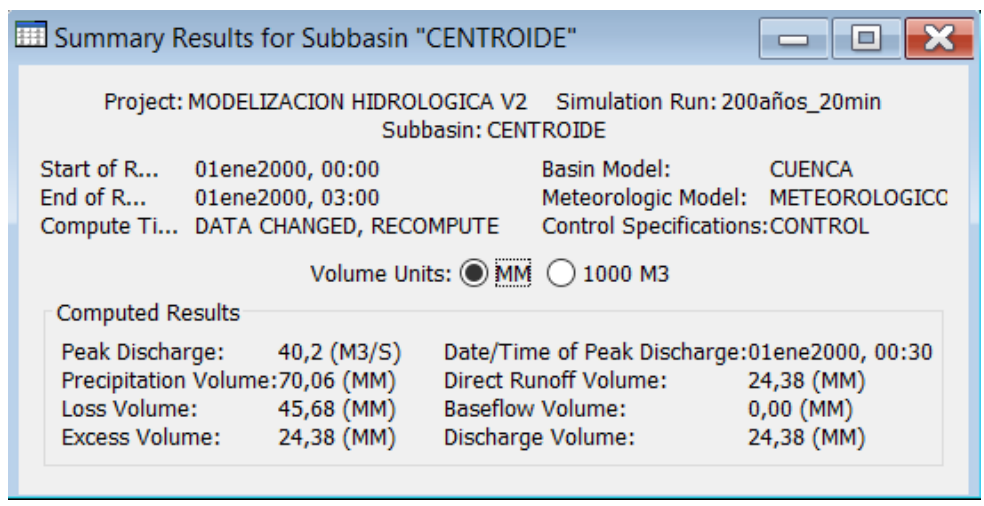
**Figura 41.** Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para Tr = 50 años.



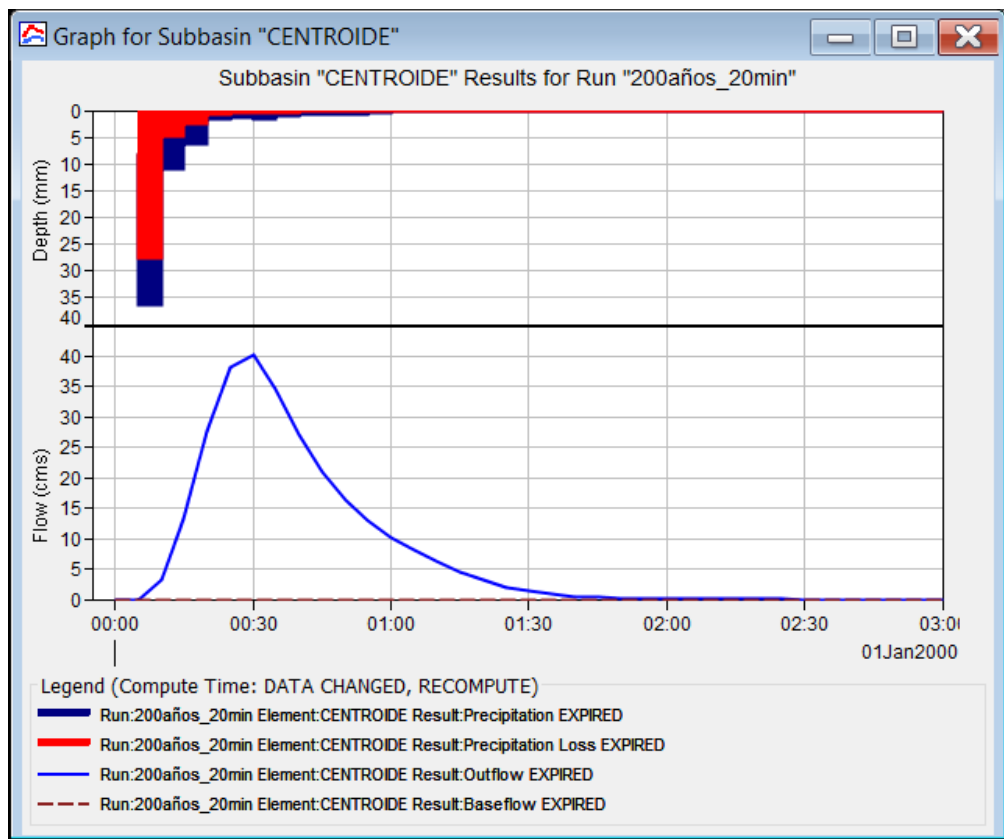
**Figura 42.** Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =100 años.



**Figura 43.** Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para Tr = 100 años.



**Figura 44.** Cálculo del hidrograma líquido para CN= 78, Tr =200 años.



**Figura 45.** Hietograma e Hidrograma líquido obtenido para  $T_r = 200$  años

## CAPÍTULO VIII

### APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO FLO 2D

Una vez determinada las características de la Quebrada, se procede al ingreso de los datos en el software FLO-2D.

#### 8.1. Simulación con el modelo matemático

##### 8.1.1. Información básica

###### a. Planos Topográficos

Se realizó el levantamiento topográfico de la zona de estudio, para obtener una topografía a mayor detalle.

###### b. Hidrología

Del capítulo 7 de la presente tesis, se obtuvo el hidrograma de caudal líquido de la precipitación. Además, se analizó el escenario para un CN= 78, para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años. En la Tabla 34 se indica los caudales máximos para los periodos de retorno ya mencionados.

**Tabla 34**

*Caudales máximos*

Periodos de retorno	Caudales máximos (m <sup>3</sup> /s)
50 años	17,0
100 años	34,3
200 años	40,2

Fuente: Elaboración propia

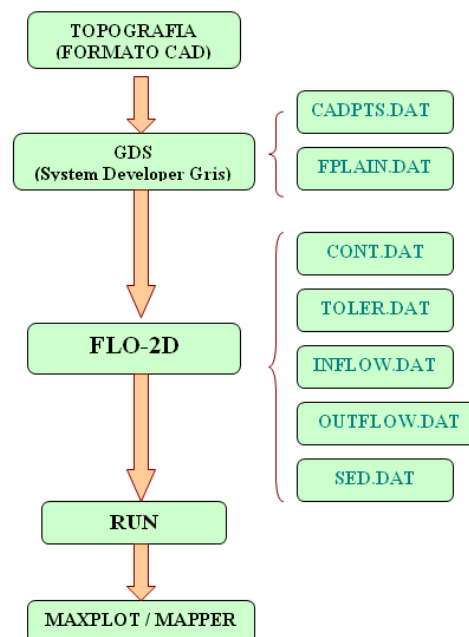
c. Fotografías de campo

Se han obtenido diversas fotografías de campo, para validación y calibración de modelo matemático FLO-2D.

**8.1.2. Diagrama de flujo para la simulación con el FLO-2D**

La Fig. 46 muestra el diagrama de flujo para la simulación de flujos de escombros aplicando el FLO-2D. Primeramente se procesa la topografía de la zona de estudio, se exporta al pre-procesador GDS (System Developer Grid), se divide la topografía en una malla o grillas y se define de la delimitación de la zona de interés.

Posteriormente a cada grilla se asigna una posición, una cota de terreno y el coeficiente de Manning, como también se define las grillas a las que se asignara el hidrograma de entrada (INFLOW). Finalmente, en la parte baja de la quebrada, se definen las grillas que son las salidas de flujo (OUTFLOW).



**Figura 46.** Diagrama de flujo del software FLO-2D (O'Brien)

Para modelar un flujo de escombros en el software FLO-2D se requiere como mínimo 7 archivos con extensión \*.DAT. FPLAIN.DAT y CADPTS.DAT. Estos dos últimos archivos son generados por el pre-procesador GDS, contienen el número de grillas utilizadas en el procesamiento, cada griella posee la cota de terreno y el coeficiente de Manning.

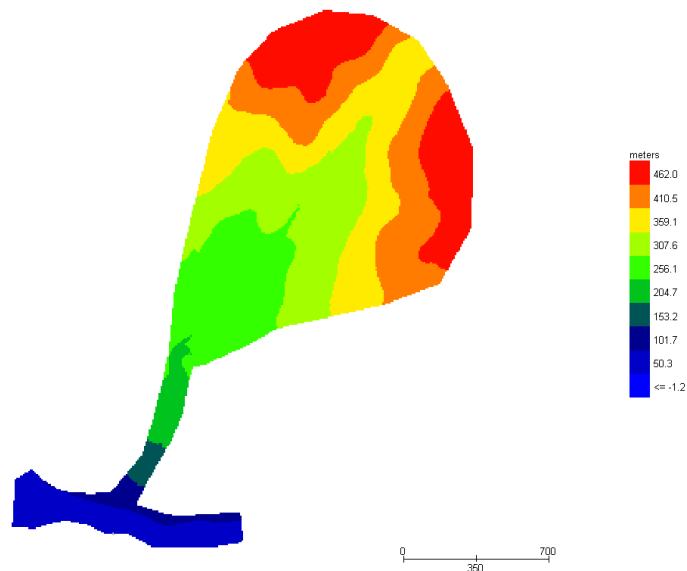
Los archivos generados en el pre-procesador FLO-2D, son los siguientes:

- CONT.DAT, es el principal archivo del software, en él se define el tiempo de simulación. El material simulado para la zona de estudio es Mud/Debris o flujo de lodo y escombros.
- TOLER.DAT, en este archivo se define la ecuación de momentum, Full Dynamic Wave, los coeficientes de estabilidad de la onda dinámica y el paso de tiempo utilizado (Timestep).
- INFLOW.DAT, en este archivo se ingresa el hidrograma de entrada y los números de las grillas de inicio (a las que se le asignara el hidrograma). Al hidrograma líquido se le atribuye la concentración de sedimentos y es el mismo programa que se encarga de realizar el cálculo del hidrograma de la mezcla, que después será procesado en las celdas aguas abajo.
- OUTFLOW.DAT, aquí se ingresa la numeración de las grillas por donde el flujo saldrá (aguas debajo de la quebrada)
- SED.DAT, se ingresan las propiedades reológicas del flujo de escombros, los coeficientes de viscosidad, el esfuerzo de

cedencia, la gravedad específica del sedimento ( $G_s$ ) y el parámetro de resistencia para flujos laminares ( $K$ ).

Una vez ingresado los parámetros mencionados anteriormente, se realiza la simulación, los resultados son graficados en los post-procesadores MAXPLOT y MAPPER. Los resultados son:

- Mapa de elevaciones del terreno, muestra la elevación digital de la superficie del terreno, indicada mediante una escala de colores ubicado en el lado derecho, los colores varían desde azul, indicativo de la cota más baja, hasta el rojo, cota más alta. También se muestra una escala gráfica, indicando las dimensiones del terreno.



**Figura 47.** Elevación de la superficie del terreno

- Mapa de máximas elevaciones del agua en la superficie, indica la máxima elevación de la superficie del agua en el terreno,

presenta una escala de colores, siendo la menor elevación representada por el color azul y la elevación mayor por el color rojo. También se presenta una escala gráfica indicando las dimensiones del terreno.

- Mapa de máximas profundidades del flujo, indica la profundidad de flujo máximo en el terreno, presenta una escala gráfica y una escala de colores, siendo el color azul la profundidad de flujo menor, y el color rojo la profundidad de flujo mayor.
- Mapa de máximas velocidades del flujo en el terreno, se indica la máxima velocidad del flujo en el terreno, está representando mediante una escala de colores, variando desde el color azul, indicativo de una velocidad de flujo menor, hasta el rojo, indicando una velocidad de flujo mayor. También presenta una escala gráfica.
- Mapa de peligro (Hazard Map): Esta opción es muy importante en la modelación, permite clasificar de acuerdo al nivel de peligro, los valores son descritos en la Tabla 28. También se expresa el mapa en polígonos, permitiendo una representación más fina.

### **8.1.3. Definición de parámetros**

Para la estimación del hidrograma de avenida, se utilizó el plano topográfico utilizado en esta tesis, cuenta con curvas de nivel cada 2 metros. Para la simulación se generó una malla de 12 m. x 12 m., cubriendo toda el área de estudio. Además, se define la grilla del hidrograma de entrada (INFLOW) y las grillas de flujo de salida (OUTFLOW).

Para la simulación fue necesario tener el hidrograma de caudal líquido, concentración de sedimentos, propiedades del sedimento y parámetros reológicos. Los parámetros característicos del sedimento y reológicos, se fijaron de acuerdo a la experiencia en otros países, donde se han calibrado con cuencas experimentales. Los parámetros de entrada son similares en los diferentes escenarios, variando los hidrogramas líquidos de acuerdo al tiempo de retorno (50, 100 y 200 años), para lo cual se describe:

- Se aplicó el modelo bidimensional FLO-2D para la simulación del flujo hiperconcentrado de barro y escombros, utilizando las ecuaciones que gobiernan el movimiento en su expresión más completa.
- Para la simulación de sedimentos se consideró al  $C_v$  con valores que varían entre 35 % y 40 %.
- Se estableció como parámetro de rugosidad “n” de Manning un valor de 0.13.
- El ingreso del hidrograma de caudal líquido, se colocó como condición de borde en la celda que contenía la menor cota.
- Los parámetros reológicos del fluido se fijaron en función de la similitud encontrada entre las muestras recolectadas de campo y las muestras tipo. Las muestras analizadas mayormente no presentan límite líquido ni límite plástico (ver anexo), por lo tanto, las muestras utilizadas para la modelación se asemejan a un material de la muestra Glenwood simple 3, debido a que este tipo de muestras no presentan límite líquido, ni índice de plasticidad.

- Las muestras tipo, pertenecen a depósitos de flujos de lodo de Colorado Rocky Mountain muy cercana a las ciudades de Aspen y Glenwood Springs, USA. En la Tabla 17 se observa la característica principal de las muestras tipo Glenwood simple 3, poseen poca cantidad de arcilla, y no presentan límite líquido ni índice de plasticidad. En el modelo se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad (57)$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad (58)$$

- La gravedad específica (Gs) del sedimento es igual a 2.69.
- El tiempo de simulación para un hidrograma líquido es de 1 hora para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años.

#### **8.1.4. Análisis de resultados para diferentes periodos de retorno**

Se realizaron simulaciones para diferentes periodos de retorno, como 50, 100 y 200 años, la topografía empleada es del levantamiento topográfico, que consta de curva de nivel cada 2 metros. Terminada la simulación, se crea un archivo denominado SUMMARY.DAT, el cual muestra los resultados como, resumen de los tiempos simulados, caudales, etc.

##### **8.1.4.1. Periodo de Retorno para 50 años**

Se realizó con un hidrograma líquido con un caudal pico de 17 m<sup>3</sup>/s, una concentración de sedimentos que varían entre 35 % a 40 %, el tiempo de simulación es de una hora. El modelo simula un área inundada de 75 136 m<sup>2</sup>. Los resultados se presentan a continuación:

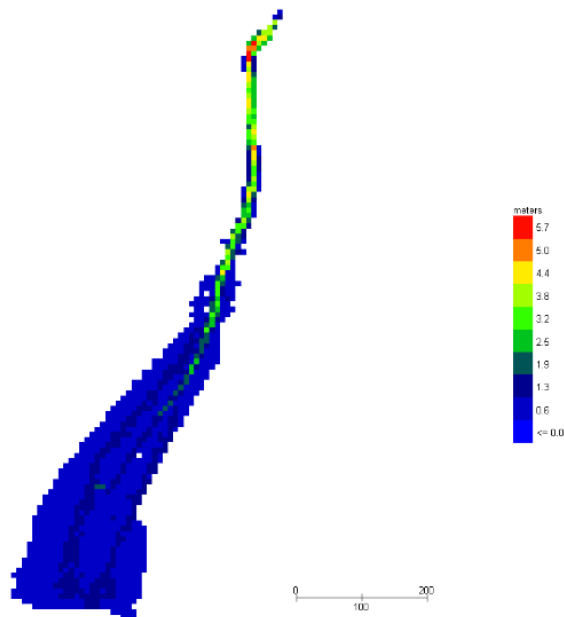
**Tabla 35**

*Salidas del programa FLO-2D para un TR=50 años*

Flujo	Agua (m3)	Agua con sedimento (m3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	46081,311	72315,676
Almacenamiento dentro del área de análisis	12646,959	19485,248
Flujo fuera del área de simulación	33434,492	52830,428

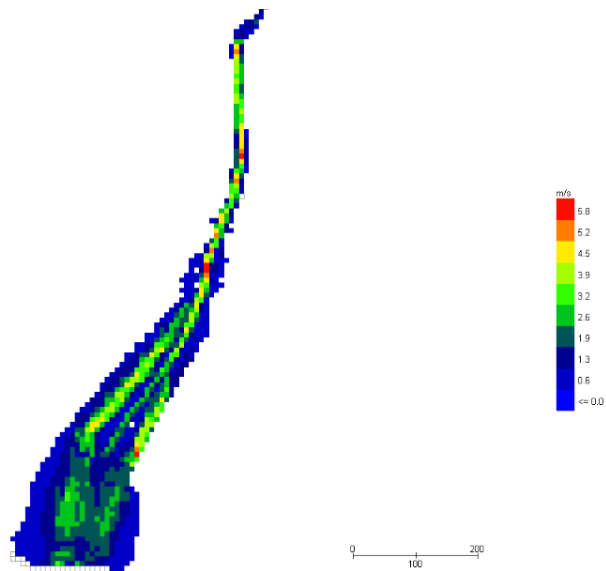
Fuente: Elaboración propia

En el mapa de profundidades máximas del flujo en el terreno varían desde 1,3 a 5,7 m (Figura 48).



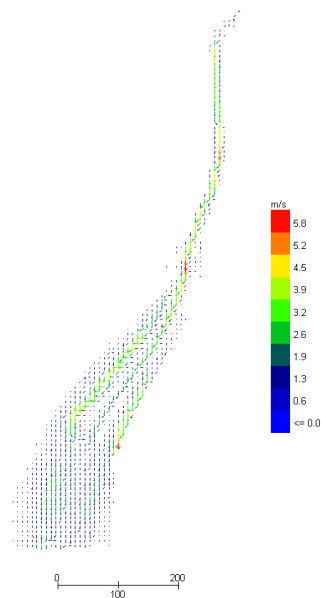
**Figura 48.** Profundidades máximas de flujo para un Tr = 50 años

En el mapa de máximas velocidades del flujo, los valores varían desde 0,6 m/s hasta 5,8 m/s (Fig. 49).



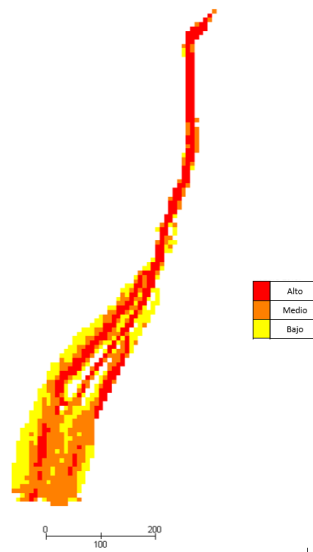
**Figura 49.** Máxima velocidad de flujo para un  $Tr = 50$  años

También se generó un mapa de velocidad máxima del flujo expresada en vectores, en este caso el flujo toma la dirección y velocidad de acuerdo a la topografía (Fig. 50).

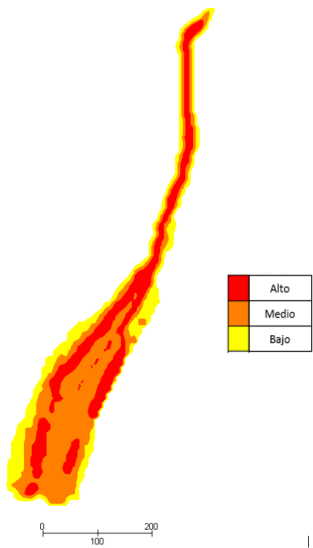


**Figura 50** Máxima velocidad de flujo expresada en vectores,  $Tr= 50$  años

Se generó un mapa de peligros, cada grilla posee un tipo de color, indicando un grado de peligro en función a los parámetros de altura, velocidad y profundidad del flujo (Fig. 51).



**Figura 51.** Mapa de peligro expresada en grillas,  $Tr= 50$  años  
Expresa el anterior mapa de peligros en polígonos, siendo una representación más fina (Fig. 52).



**Figura 52.** Mapa de peligro expresada en polígonos,  $Tr= 50$  años

#### 8.1.4.2. Periodo de Retorno para 100 años

Se realizó con un hidrograma líquido con un caudal pico de 34,3 m<sup>3</sup>/s, una concentración de sedimentos que varían entre 35 % a 40 %, el tiempo de simulación es de una hora. El modelo simula un área inundada de 89280 m<sup>2</sup>. Los resultados se presentan a continuación:

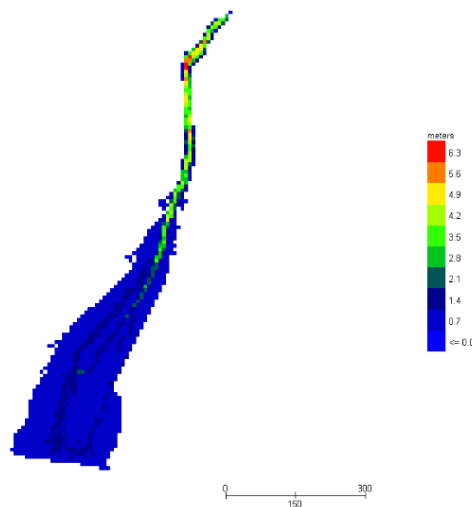
**Tabla 36**

*Salidas del programa FLO-2D para un TR=100 años*

Flujo	Agua (m3)	Agua con sedimento (m3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	62232,706	97684,371
Almacenamiento dentro del área de análisis	16321,161	25144,713
Flujo fuera del área de simulación	45911,545	72539,659

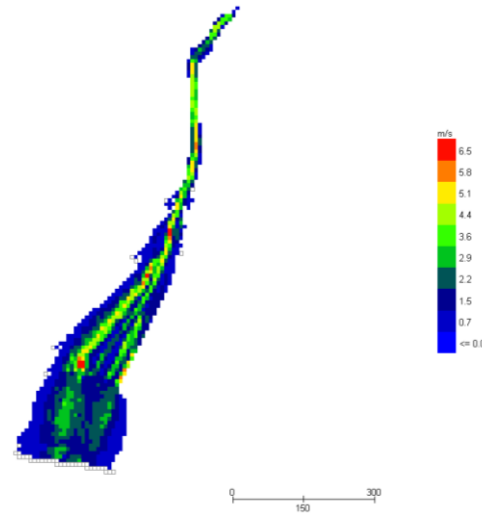
Fuente: Elaboración propia

En el mapa de profundidades máximas del flujo en el terreno varían desde 0,7 a 6,3 m (Fig. 53).



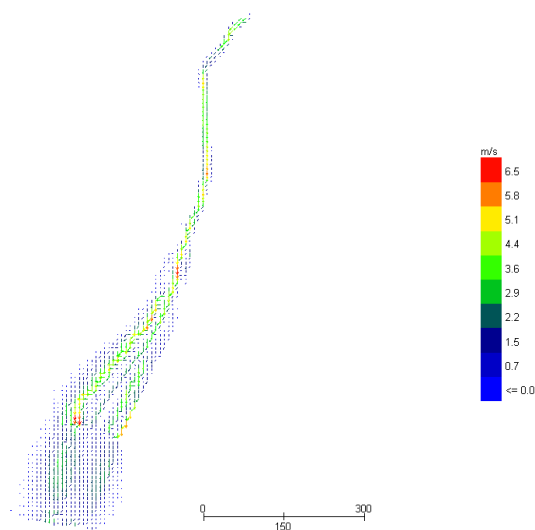
**Figura 53.** Profundidades máximas de flujo para un Tr = 100 años

En el mapa de máximas velocidades del flujo, los valores varían desde 0,7 m/s hasta 6,5 m/s (Fig. 54).



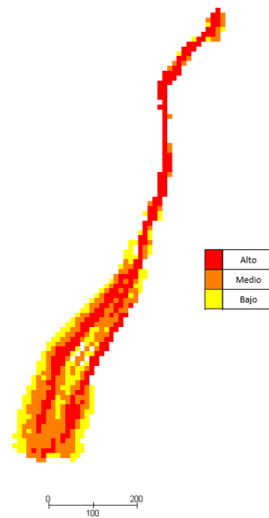
**Figura 54.** Máxima velocidad de flujo para un  $Tr= 100$  años

También se generó un mapa de velocidad máxima del flujo expresada en vectores, en este caso el flujo toma la dirección y velocidad de acuerdo a la topografía (Fig. 55).



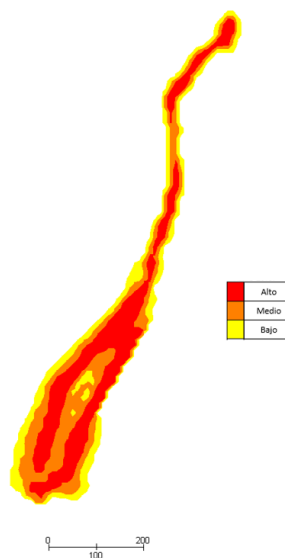
**Figura 55.** Máxima velocidad de flujo expresada en vectores,  $Tr= 100$  años

Mapa de peligros expresada en grillas, cada grilla posee un color, indicando el grado de peligro en función a los parámetros de altura, velocidad y profundidad del flujo (Fig. 56).



**Figura 56.** Mapa de peligro expresada en grillas,  $T_r= 100$  años

Expresa el anterior mapa de peligros en polígonos, siendo una representación más fina (Fig. 57).



**Figura 57.** Mapa de peligro expresada en polígonos,  $T_r= 100$  años

### 8.1.4.3. Periodo de Retorno para 200 años

Se realizó con un hidrograma líquido, con un caudal pico de 40,2 m<sup>3</sup>/s, una concentración de sedimentos que varía entre 35 % a 40 %, el tiempo de simulación es de una hora. El modelo simula un área inundada de 92304 m<sup>2</sup>. Los resultados se presentan a continuación:

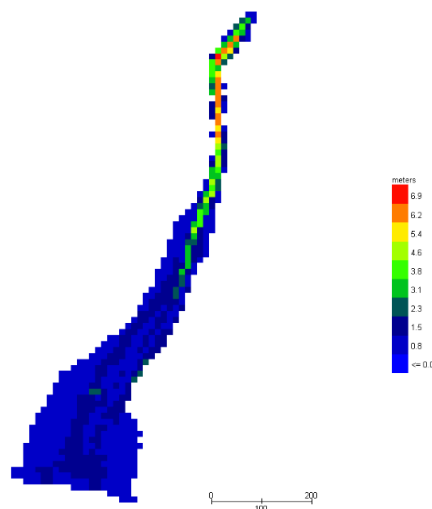
**Tabla 37**

*Salidas del programa FLO-2D para un TR=200 años*

Flujo	Agua (m3)	Agua con sedimento (m3)
Hidrograma de entrada (INFLOW)	168588,778	262516,642
Almacenamiento dentro del área de análisis	21833,894	33606,871
Flujo fuera del área de simulación	146754,927	228909,770

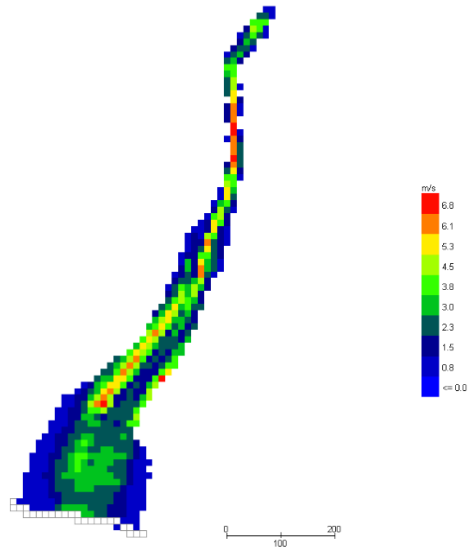
Fuente: Elaboración propia

En el mapa de profundidades máximas del flujo en el terreno varía desde 0,8 a 6,9 m (Fig. 58).



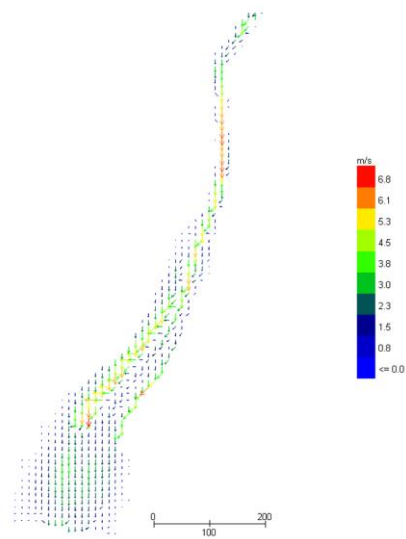
**Figura 58** Profundidades máximas de flujo para un Tr = 200 años

En el mapa de máximas velocidades del flujo, los valores varían desde 0,8 m/s hasta 6,8 m/s (Fig. 59).



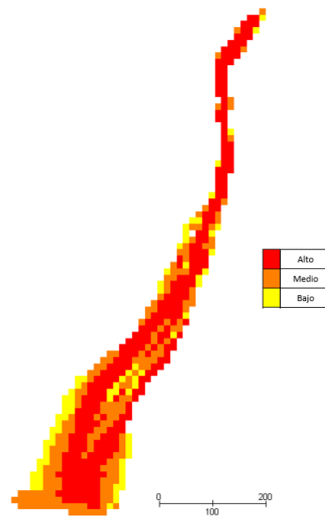
**Figura 59.** Máxima velocidad de flujo para un  $Tr= 200$  años

También se generó un mapa de velocidad máxima del flujo expresada en vectores, en este caso el flujo toma la dirección y velocidad de acuerdo a la topografía (Fig. 60).

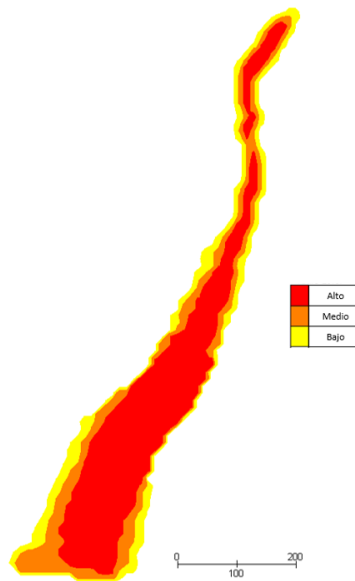


**Figura 60.** Máxima velocidad de flujo expresada en vectores,  $Tr= 200$  años

Mapa de peligros expresada en grillas, cada grilla posee un color, indicando el grado de peligro en función a los parámetros de altura, velocidad y profundidad del flujo (Fig. 61).



**Figura 61.** Mapa de peligro expresada en grillas,  $T_r=200$  años  
Expresa el anterior mapa de peligros en polígonos, siendo una representación más fina (Fig. 62).



**Figura 62.** Mapa de peligro expresada en polígonos,  $T_r=200$  años

### 8.1.5. Calibrar el modelo

Para calibrar el modelo es importante considerar las evidencias observadas en campo, se puede realizar de la siguiente forma:

- a. Realizar un análisis de comparación con el volumen de sedimentos dejado por el evento de flujo.
- b. Verificar que las marcas dejadas por los eventos de flujos ocurridos en la zona coincidan con los resultados de las simulaciones.

En nuestro caso, se utilizó la segunda forma, que consiste en verificar que los tirantes de las marcas dejadas por eventos de flujo ocurridos anteriormente, coincidan con los resultados del modelo.

Se definió dos puntos de control, que tiene las siguientes coordenadas:

**Tabla 38**

*Coordenadas de puntos de control*

Coordenadas	Puntos de Control	
	1	2
Este	306500.762	306578.966
Norte	8005946.714	8006133.856

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se definió el primer punto de control, evidencia observada en campo, asumiendo que el tirante máximo dejado por el flujo alcanza una altura de 3 m (Fig. 63).



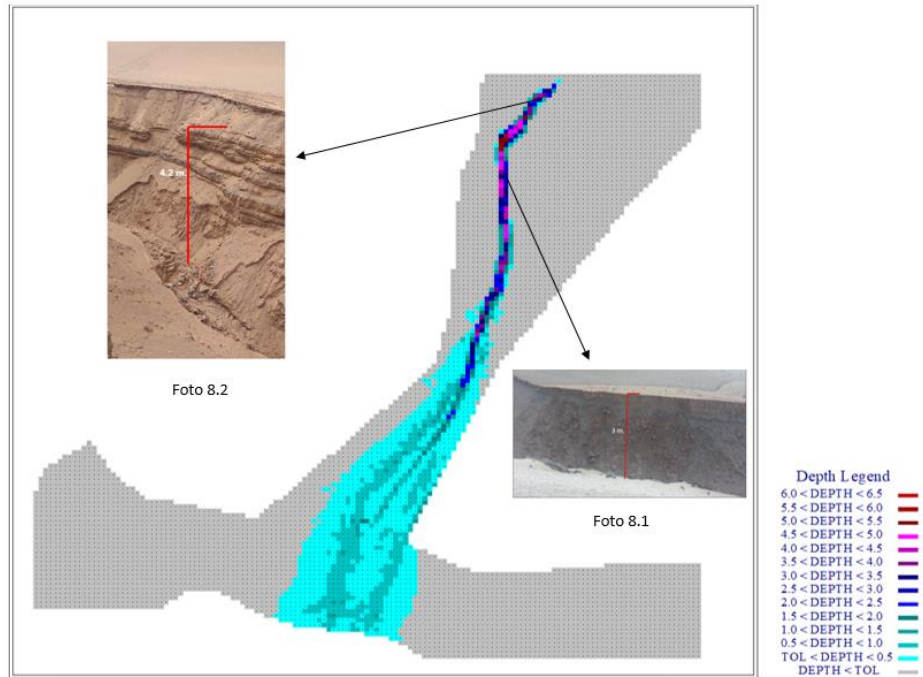
**Figura 63.** Marca de agua, altura aproximada de 3 metros.

Como segundo punto de control, se asume que el tirante máximo dejado por el flujo alcanza una altura de 4,2 m (Fig. 64).



**Figura 64.** Marca de agua, altura aproximada de 4.2 metros.

La calibración ajustada a las alturas estimadas con respecto a las marcas observadas en campo (Fig. 65). Estos resultados son contrastados con lo obtenido del escenario con un período de retorno de 100 años, teniendo un caudal máximo de 34,3 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 65.** Comparación de resultados con evidencias de campo

## CAPÍTULO IX

### DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO

#### 9.1. Análisis de información

Se recopiló información disponible, como: información histórica de precipitaciones, topografía, geología, geomorfología, pendientes.

#### 9.2. Identificación del área de influencia

Se realizó visita a campo para identificar, caracterizar y recopilar información sobre el peligro existente en la zona de estudio.

#### 9.3. Susceptibilidad del territorio

Para la evaluación de la susceptibilidad del área de influencia de la Quebrada Sin Nombre del Distrito de Sama Las Yaras, se consideraron los factores desencadenantes y condicionantes:

**Tabla 39**

*Factores de Susceptibilidad*

Factor Desencadenante	Factores Condicionantes
Precipitación	Geomorfología Pendiente Geología

Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada tanto para la evaluación del peligro, como para el análisis de la vulnerabilidad es el procedimiento mencionado en el Manual del CENEPRED.

### 9.3.1. Análisis del Factor Desencadenante

Para obtener los pesos ponderados del parámetro precipitación (factor desencadenante), se utilizó el proceso de análisis jerárquico.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 40**

*Matriz de comparación parámetro precipitación*

Precipitación	> 8	6 - 8	4 - 6	2 - 4	≤ 2
Precipitación acumulada diaria > 8 mm	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
6 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 8 mm	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
4 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 6 mm	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
2 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 4mm	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00
Precipitación acumulada diaria ≤ 2 mm	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00
SUMA	2,28	4,08	6,83	10,50	15,00
1/SUMA	0,44	0,24	0,15	0,10	0,07

Fuente: Elaboración propia

Mediante cálculos se genera la matriz de normalización, del que se obtiene el vector priorización (peso ponderado), el cual nos indica la importancia de cada parámetro.

**Tabla 41**

*Matriz de normalización del parámetro precipitación*

Precipitación	> 8	6 - 8	4 - 6	2 - 4	≤ 2	Vector priorización
Precipitación acumulada diaria > 8 mm	0,44	0,49	0,44	0,38	0,33	0,416
6 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 8 mm	0,22	0,24	0,29	0,29	0,27	0,262
4 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 6 mm	0,15	0,12	0,15	0,19	0,20	0,161
2 mm <Precipitación acumulada diaria ≤ 4mm	0,11	0,08	0,07	0,10	0,13	0,099
Precipitación acumulada diaria ≤ 2 mm	0,09	0,06	0,05	0,05	0,07	0,062
						1,00

Fuente: Elaboración propia

La Relación de Consistencia (RC) debe ser menor al 10%, lo que nos indica que los criterios utilizados para la comparación de pares son los adecuados.

Índice de Consistencia (IC)	0,017
Relación de Consistencia (RC)	0,015

### 9.3.2. Análisis de Factores Condicionantes

Para obtener los pesos ponderados de los factores condicionantes se realizó mediante el análisis jerárquico. Los resultados obtenidos son los siguientes:

#### a. Análisis de los Parámetros de los Factores Condicionantes

**Tabla 42**

*Matriz de comparación de los factores condicionantes*

Factores condicionantes	Geomorfología	Pendiente	Geología
Geomorfología	1,00	3,00	5,00
Pendiente	0,333	1,00	3,00
Geología	0,200	0,333	1,00
SUMA	1,53	4,33	9,00
1/SUMA	0,65	0,23	0,11

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43**

*Matriz de normalización de los factores condicionantes*

Factores condicionantes	Geomorfología	Pendiente	Geología	Vector priorización
Geomorfología	0,65	0,69	0,56	0,633
Pendiente	0,22	0,23	0,33	0,260
Geología	0,13	0,08	0,11	0,106
				1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) de los parámetros de los factores condicionantes son:

Índice de Consistencia (IC)	0,019
Relación de Consistencia (RC)	0,037

### b. Parámetro: Geomorfología

**Tabla 44**

*Matriz de comparación del parámetro geomorfología*

Geomorfología	Te	Ca	Pd	Ma	Lo
Terrazas (Te)	1,00	3,00	5,00	6,00	9,00
Cárcavas (Ca)	0,33	1,00	3,00	5,00	6,00
Piedemonte (Pd)	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
Mantos de arena (Ma)	0,17	0,20	0,33	1,00	3,00
Lomadas (Lo)	0,11	0,17	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,81	4,70	9,53	15,33	24,00
1/SUMA	0,55	0,21	0,10	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45**

*Matriz de normalización del parámetro geomorfología*

Geomorfología	Te	Ca	Pd	Ma	Lo	Vector priorización
Terrazas (Te)	0,55	0,64	0,52	0,39	0,38	0,496
Cárcavas (Ca)	0,18	0,21	0,31	0,33	0,25	0,258
Piedemonte (Pd)	0,11	0,07	0,10	0,20	0,21	0,138
Mantos de arena (Ma)	0,09	0,04	0,03	0,07	0,13	0,072
Lomadas (Lo)	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,036
						1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) del parámetro geomorfología es:

Índice de Consistencia (IC)	0,066
Relación de Consistencia (RC)	0,060

### c. Parámetro: Pendiente

**Tabla 46**

*Matriz de comparación del parámetro pendiente*

Pendiente	>30°	20°-30°	10°-20°	5°-10°	0°-5°
Muy alta (>30°)	1,00	3,00	5,00	6,00	9,00
Alta (20°-30°)	0,33	1,00	3,00	5,00	6,00
Moderada (10°-20°)	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
Baja (5°-10°)	0,17	0,20	0,33	1,00	3,00
Muy baja (0°-5°)	0,11	0,17	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,81	4,70	9,53	15,33	24,00
1/SUMA	0,55	0,21	0,10	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 47**

*Matriz de normalización del parámetro pendiente*

Pendiente	>30°	20°-30°	10°-20°	5°-10°	0-5°	Vector priorización
Muy alta (>30°)	0,55	0,64	0,52	0,39	0,38	0,496
Alta (20°-30°)	0,18	0,21	0,31	0,33	0,25	0,258
Moderada (10°-20°)	0,11	0,07	0,10	0,20	0,21	0,138
Baja (5°-10°)	0,09	0,04	0,03	0,07	0,13	0,072
Muy baja (0°-5°)	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,036
						1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC) del parámetro pendiente es:

Índice de Consistencia (IC)	0,066
Relación de Consistencia (RC)	0,060

#### d. Parámetro: Geología

**Tabla 48**

*Matriz de comparación del parámetro geología*

Geología	Qh-eo	Qh-coldel	Qh-del	D-m	TsJi-cho
Dep. Eólicos (Qh-eo)	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
Dep. Coluvio-deluvial (Qh-coldel)	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
Dep. Deluvial (Qh-del)	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
Dep. Marinos (D-m)	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
Form. Chocolate (TsJi-cho)	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
1/SUMA	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 49**

*Matriz de normalización del parámetro geología*

Geología	Qh-eo	Qh-coldel	Qh-del	D-m	TsJi-cho	Vector priorización
Dep. Eólicos (Qh-eo)	0,56	0,64	0,52	0,43	0,36	0,503
Dep. Coluvio-deluvial (Qh-coldel)	0,19	0,21	0,31	0,31	0,28	0,260
Dep. Deluvial (Qh-del)	0,11	0,07	0,10	0,18	0,20	0,134
Dep. Marinos (D-m)	0,08	0,04	0,03	0,06	0,12	0,068
Form. Chocolate (TsJi- cho)	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04	0,035
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia (IC) y Relación de Consistencia (RC)  
del parámetro Geología es:

Índice de Consistencia (IC)	0,061
Relación de Consistencia (RC)	0,054

#### 9.4. Parámetro de evaluación

Se consideró como único parámetro de evaluación “Período de Retorno”, expresado en años. Para obtener los pesos ponderados de este parámetro se utilizó el proceso de análisis jerárquico. Los resultados son los siguientes:

**Tabla 50**

*Matriz de comparación del parámetro de evaluación*

Tiempo de retorno	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años
25 años	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
50 años	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
100 años	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
200 años	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
500 años	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
1/SUMA	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 51**

*Matriz de normalización del parámetro de evaluación*

Tiempo de retorno	25 años	50 años	100 años	200 años	500 años	Vector priorización
25 años	0,56	0,64	0,52	0,43	0,36	0,503
50 años	0,19	0,21	0,31	0,31	0,28	0,260
100 años	0,11	0,07	0,10	0,18	0,20	0,134
200 años	0,08	0,04	0,03	0,06	0,12	0,068
500 años	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04	0,035
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia y la Relación de Consistencia es:

Índice de Consistencia (IC)	0,061
Relación de Consistencia (RC)	0,054

## 9.5. Niveles de peligro

En los siguientes cuadros, se muestran los niveles de peligro y sus respectivos rangos obtenidos:

**Tabla 52**

*Niveles de Peligro*

Nivel de Peligro	Rangos
PELIGRO MUY ALTO	$0,221 \leq P < 0,394$
PELIGRO ALTO	$0,135 \leq P < 0,221$
PELIGRO MEDIO	$0,087 \leq P < 0,135$
PELIGRO BAJO	$0,062 \leq P < 0,087$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 53**

*Matriz de Peligro*

Nivel de Peligro	Descripción	Rangos
PELIGRO MUY ALTO	Precipitación acumulada diaria >8mm. Unidad geológica es el Depósitos eólicos (Qp-eo). Unidades geomorfológicas: Terrazas (Te), con Pendiente >30°.	$0,221 \leq P < 0,394$
PELIGRO ALTO	Precipitación acumulada diaria entre 6-8mm. Unidades geológicas: Depósitos coluvio-deluvial (Qp-codel). Unid. geomorfológicas: Cárcavas (Ca), en una Pendiente entre 20° - 30°.	$0,135 \leq P < 0,221$
PELIGRO MEDIO	Precipitación acumulada diaria entre 4 – 6 mm. Unidades geológicas: Depósitos deluviales (Qp-del). Unid. geomorfológicas: Piedemonte (Pd), con pendientes que están entre 10° - 20°.	$0,087 \leq P < 0,135$
PELIGRO BAJO	Precipitación acumulada diaria < 4mm. Unidades geológicas: Formación Chocolate (TsJi-cho). Unidades geomorfológicas: Mantos de arena y Lomadas, en una Pendiente <10°.	$0,062 \leq P < 0,087$

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO X**

### **ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD**

#### **10.1. Análisis de Vulnerabilidad**

Para determinar los niveles de vulnerabilidad se realiza el análisis de los factores de la vulnerabilidad en la Dimensión Social y Económica.

#### **10.2. Factores de Vulnerabilidad**

##### **10.2.1. Exposición**

Es la ubicación de los medios de vida en la zona de impacto de un peligro. Cenepred (2014), indica “A mayor exposición, mayor vulnerabilidad”.

En este factor se analizan las unidades sociales: población, unidades productivas, líneas vitales, infraestructura u otros elementos.

##### **10.2.2. Fragilidad**

Se refiere a las condiciones de los medios de vida de un ser humano frente a un peligro, como: formas de construcción. Cenepred (2014), indica “A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad”.

##### **10.2.3. Resiliencia**

Es la capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Cenepred (2014), indica “A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad”.

### 10.3. Análisis de la Dimensión Social

Consiste en determinar la población que se encuentra expuesta en la zona de influencia del fenómeno de origen natural (población vulnerable y no vulnerable). Se realiza el análisis de los parámetros establecidos en la dimensión social (Tabla 54).

**Tabla 54**

*Parámetros de la dimensión social*

DIMENSIÓN SOCIAL					
EXPOSICIÓN	FRAGILIDAD		RESILIENCIA		
N° de Personas que transitan	Grupo Etario	Tipo de discapacidad	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en la localidad	Capacitación en temas de Gestión de Riesgo de Desastres	Interés de participar en campañas

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 55**

*Matriz de comparación de los factores de la dimensión social*

Dimensión Social	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1,00	2,00	3,00
Fragilidad	0,50	1,00	2,00
Resiliencia	0,33	0,50	1,00
SUMA	1,83	3,50	6,00
1/SUMA	0,55	0,29	0,17

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 56**

*Matriz de normalización de los factores de la dimensión social*

Dimensión Social	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector Priorización
Exposición	0,545	0,571	0,500	0,54
Fragilidad	0,273	0,286	0,333	0,30
Resiliencia	0,182	0,143	0,167	0,16
			SUMA	1,0

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia y la Relación de Consistencia ( $RC < 0,1$ ) son:

Índice de Consistencia (IC)	0,0046
Relación de Consistencia (RC)	0,0088

### **10.3.1. Análisis de la exposición de la Dimensión Social**

Se evaluaron los siguientes parámetros:

**Tabla 57**

*Parámetros del factor exposición de la dimensión social*

Exposición Social	Vector Priorización
Número de personas que transitan	1,00
SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

**a. Parámetro: Número de personas que transitan**

**Tabla 58**

*Matriz de comparación del parámetro personas que transitan*

Número de personas que transitan	Más de 45 personas	De 30 a 45 personas	De 15 a 30 personas	De 1 a 15 personas	Persona sola
Más de 45 personas	1,00	2,00	3,00	5,00	6,00
De 30 a 45 personas	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
De 15 a 30 personas	0,33	0,50	1,00	2,00	5,00
De 1 a 15 personas	0,20	0,33	0,50	1,00	3,00
Persona sola	0,17	0,20	0,20	0,33	1,00
SUMA	2,20	4,03	6,70	11,33	20,00
1/SUMA	0,45	0,25	0,15	0,09	0,05

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 59**

*Matriz de normalización del parámetro personas que transitan*

Número de personas que transitan	Más de 45 personas	De 30 a 45 personas	De 15 a 30 personas	De 1 a 15 personas	Persona sola	Vector Priorización
Más de 45 personas	0,455	0,496	0,448	0,441	0,300	0,428
De 30 a 45 personas	0,227	0,248	0,299	0,265	0,250	0,258
De 15 a 30 personas	0,152	0,124	0,149	0,176	0,250	0,170
De 1 a 15 personas	0,091	0,083	0,075	0,088	0,150	0,097
Persona sola	0,076	0,050	0,030	0,029	0,050	0,047
					SUMA	1,0

Fuente: Elaboración propia

El análisis del Índice de Consistencia y la Relación de Consistencia son:

Índice de Consistencia (IC)	0,031
Relación de Consistencia (RC)	0,03

### 10.3.2. Análisis de la fragilidad de la Dimensión Social

**Tabla 60**

*Parámetros del factor fragilidad de la dimensión social*

Fragilidad Social	Vector Priorización
Grupo etáreo	0,72
Tipo de discapacidad	0,28
SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

#### a. Parámetro: Grupo etáreo

**Tabla 61**

*Matriz de comparación del parámetro grupo etáreo*

Grupo etáreo	0 a 5 años y mayor a 65 años	De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	De 16 a 30 años	De 31 a 50 años
0 a 5 años y mayor a 65 años	1,00	2,00	5,00	7,00	9,00
De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	0,50	1,00	2,00	5,00	7,00
De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
De 16 a 30 años	0,14	0,20	0,50	1,00	3,00
De 31 a 50 años	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,95	3,84	8,70	15,33	25,00
1/SUMA	0,51	0,26	0,11	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 62***Matriz de normalización del parámetro grupo etáreo*

Grupo etáreo	0 a 5 años y mayor a 65 años	De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	De 16 a 30 años	De 31 a 50 años	Vector Priorización
0 a 5 años y mayor a 65 años	0,512	0,520	0,575	0,457	0,360	0,485
De 6 a 12 años y de 61 a 65 años	0,256	0,260	0,230	0,326	0,280	0,270
De 13 a 15 años y de 51 a 60 años	0,102	0,130	0,115	0,130	0,200	0,136
De 16 a 30 años	0,073	0,052	0,057	0,065	0,120	0,074
De 31 a 50 años	0,057	0,037	0,023	0,022	0,040	0,036
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia y la Relación de Consistencia (RC)

calculado para este parámetro es:

Índice de Consistencia (IC)	0,041
Relación de Consistencia (RC)	0,04

**b. Parámetro: Tipo de discapacidad**

**Tabla 63**

*Matriz de comparación del parámetro tipo de discapacidad*

Tipo de discapacidad	No tiene	Oír y/o hablar	En brazos y piernas	Visual	Mental o intelectual
No tiene	1,00	2,00	5,00	7,00	9,00
Para oír y/o hablar	0,50	1,00	3,00	5,00	7,00
Para usar brazos y piernas	0,20	0,33	1,00	2,00	5,00
Visual	0,14	0,20	0,50	1,00	2,00
Mental o intelectual	0,11	0,14	0,20	0,50	1,00
SUMA	1,95	3,68	9,70	15,50	24,00
1/SUMA	0,51	0,27	0,10	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 64**

*Matriz de normalización del parámetro tipo de discapacidad*

Tipo de discapacidad	No tiene	Oír y/o hablar	En brazos y piernas	Visual	Mental o intelectual	Vector Priorización
No tiene	0,512	0,544	0,515	0,452	0,375	0,480
Para oír y/o hablar	0,256	0,272	0,309	0,323	0,292	0,290
Para usar brazos y piernas	0,102	0,091	0,103	0,129	0,208	0,127
Visual	0,073	0,054	0,052	0,065	0,083	0,065
Mental o intelectual	0,057	0,039	0,021	0,032	0,042	0,038
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del parámetro Tipo de discapacidad se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,037
Relación de Consistencia (RC)	0,03

### 10.3.3. Análisis de la resiliencia de la dimensión social

**Tabla 65**

*Parámetros del factor resiliencia de la dimensión social*

Resiliencia Social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	Interés de participar en campañas de prevención del riesgo
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	1,00	2,00	3,00
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	0,50	1,00	2,00
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo	0,33	0,50	1,00
SUMA	1,83	3,50	6,00
1/SUMA	0,55	0,29	0,17

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 66**

*Matriz de normalización del factor resiliencia de la dimensión social*

Resiliencia Social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	Interés de participar en campañas de prevención del riesgo	Vector Priorización
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	0,545	0,571	0,500	0,54
Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	0,273	0,286	0,333	0,30
Interés de participar en campañas de prevención del riesgo	0,182	0,143	0,167	0,16
			SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el factor Resiliencia de la Dimensión Social se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,005
Relación de Consistencia (RC)	0,009

**a. Parámetro: Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad**

**Tabla 67**

*Matriz de comparación del Parámetro conocimiento sobre ocurrencia de desastres*

Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	No conoce	Escaso conocim.	Poco conocim.	Regular conocim.	Conocimiento amplio
No conoce	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
Escaso conocimiento	0,33	1,00	2,00	5,00	8,00
Poco conocimiento	0,20	0,50	1,00	3,00	7,00
Regular conocimiento	0,14	0,20	0,33	1,00	2,00
Conocimiento amplio	0,11	0,14	0,14	0,50	1,00
SUMA	1,79	4,84	8,48	16,50	27,00
1/SUMA	0,56	0,21	0,12	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 68**

*Matriz de normalización del parámetro conocimiento sobre ocurrencia de desastres*

Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres en su localidad	No conoce	Escaso conocim.	Poco conocim.	Regular conocim.	Conocim. amplio	Vector Priorización
No conoce	0,560	0,619	0,590	0,424	0,333	0,505
Escaso conocimiento	0,187	0,206	0,236	0,303	0,296	0,246
Poco conocimiento	0,112	0,103	0,118	0,182	0,259	0,155
Regular conocimiento	0,080	0,041	0,039	0,061	0,074	0,059
Conocimiento amplio	0,062	0,029	0,017	0,030	0,037	0,035
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el factor Resiliencia de la Dimensión Social se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,058
Relación de Consistencia (RC)	0,05

**b. Parámetro: Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades**

**Tabla 69**

*Matriz de comparación del parámetro capacitación en temas de GR*

Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	Nunca	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Una (1) vez por año
Nunca	1,00	2,00	5,00	7,00	8,00
Cada 5 años	0,50	1,00	2,00	5,00	7,00
Cada 3 años	0,20	0,50	1,00	2,00	5,00
Cada 2 años	0,14	0,20	0,50	1,00	2,00
Una (1) vez por año	0,13	0,14	0,20	0,50	1,00
SUMA	1,97	3,84	8,70	15,50	23,00
1/SUMA	0,51	0,26	0,11	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 70**

*Matriz de normalización del parámetro capacitación en temas de GR*

Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades	Nunca	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 2 años	Una (1) vez por año	Vector Priorización
Nunca	0,508	0,520	0,575	0,452	0,348	0,481
Cada 5 años	0,254	0,260	0,230	0,323	0,304	0,274
Cada 3 años	0,102	0,130	0,115	0,129	0,217	0,139
Cada 2 años	0,073	0,052	0,057	0,065	0,087	0,067
Una (1) vez por año	0,064	0,037	0,023	0,032	0,043	0,040
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del parámetro Capacitación en temas de Gestión de Riesgos por parte de sus autoridades se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,034
Relación de Consistencia (RC)	0,03

**c. Parámetro: Interés de participar en campañas de prevención del riesgo**

**Tabla 71**

*Matriz de comparación del parámetro participación en campañas*

Interés de participar en campañas de prevención del riesgo	No muestra interés	Muestra interés de vez en cuando	Actúa si hay incentivos	Me gusta participar	Siempre estoy atento para participar
No muestra interés	1,00	3,00	4,00	7,00	9,00
Muestra interés de vez en cuando	0,33	1,00	2,00	4,00	5,00
Actúa si hay incentivos	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00
Me gusta participar	0,14	0,25	0,50	1,00	3,00
Siempre estoy atento para participar	0,11	0,14	0,33	0,33	1,00
SUMA	1,84	4,89	7,83	14,33	21,00
1/SUMA	0,54	0,20	0,13	0,07	0,05

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 72**

*Matriz de normalización del parámetro participación en campañas*

Interés de participar en campañas de prevención del riesgo	No muestra interés	Muestra interés de vez en cuando	Actúa si hay incentivos	Me gusta participar	Siempre estoy atento para participar	Vector priorización
No muestra interés	0,544	0,613	0,511	0,488	0,429	0,517
Muestra interés de vez en cuando	0,181	0,204	0,255	0,279	0,238	0,232
Actúa si hay incentivos	0,136	0,102	0,128	0,140	0,143	0,130
Me gusta participar	0,078	0,051	0,064	0,070	0,143	0,081
Siempre estoy atento para participar	0,060	0,029	0,043	0,023	0,048	0,041
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el parámetro Interés de participar en campañas de prevención del riesgo se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,03
Relación de Consistencia (RC)	0,03

#### 10.4. Análisis de la dimensión económica

En la dimensión económica, se analizó los siguientes parámetros:

**Tabla 73**

*Parámetros de la dimensión económica*

DIMENSIÓN ECONÓMICA						
EXPOSICIÓN	FRAGILIDAD			RESILIENCIA		
Localización de la carretera	Tipo de vehículo	Estado de conservación de la carretera	Servicio de Empresas de Transporte expuesto	Tipo de Actividad económica	Ocupación principal (jefe de familia)	Ingreso familiar promedio mensual

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 74**

*Matriz de comparación de los factores de la dimensión económica*

Dimensión Económica	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1,00	3,00	5,00
Fragilidad	0,33	1,00	2,00
Resiliencia	0,20	0,50	1,00
SUMA	1,53	4,50	8,00
1/SUMA	0,65	0,22	0,13

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 75**

*Matriz de normalización de los factores de la dimensión económica*

Dimensión Económica	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector Priorización
Exposición	0,652	0,667	0,625	0,65
Fragilidad	0,217	0,222	0,250	0,23
Resiliencia	0,130	0,111	0,125	0,12
			SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de los factores de la Dimensión Económica se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,002
Relación de Consistencia (RC)	0,004

#### **10.4.1. Análisis de la exposición de la dimensión económica**

En el factor exposición de la dimensión económica, se evaluaron los siguientes parámetros:

**Tabla 76**

*Parámetros del factor exposición de la dimensión económica*

Exposición Económica	Vector priorización
Localización de la Carretera	1,00
SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

**a. Parámetro: Localización de la Carretera**

**Tabla 77**

*Matriz de comparación del parámetro localización de la carretera*

Localización de la Carretera	Muy cerca 0 - 0.2 km	Cercana 0.2 - 1 km	Medianamente cerca 1 - 3 km	Alejada 3 - 5 km	Muy alejada > 5 km
Muy cerca	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
Cercana	0,50	1,00	3,00	5,00	7,00
Medianamente cerca	0,25	0,33	1,00	3,00	5,00
Alejada	0,17	0,25	0,33	1,00	3,00
Muy alejada	0,13	0,17	0,20	0,33	1,00
SUMA	2,04	3,75	8,53	15,33	24,00
1/SUMA	0,49	0,27	0,12	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 78**

*Matriz de normalización del parámetro localización de la carretera*

Localización de la Carretera	Muy cerca 0 - 0.2 km	Cercana 0.2 - 1 km	Medianamente cerca 1 - 3 km	Alejada 3 - 5 km	Muy alejada > 5 km	Vector priorización
Muy cerca	0,490	0,533	0,469	0,391	0,333	0,443
Cercana	0,245	0,267	0,352	0,326	0,292	0,296
Medianamente cerca	0,122	0,089	0,117	0,196	0,208	0,147
Alejada	0,082	0,067	0,039	0,065	0,125	0,076
Muy alejada	0,061	0,044	0,023	0,022	0,042	0,039
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

El Índice de Consistencia y la Relación de Consistencia son:

Índice de Consistencia (IC)	0,068
Relación de Consistencia (RC)	0,06

## 10.4.2. Análisis de la fragilidad de la dimensión económica

**Tabla 79**

*Parámetros del factor fragilidad de la dimensión económica*

Fragilidad Económica	Tipo de vehículo (Ejes)	Estado de conservación de la Carretera	Serv. de Empresas de Transporte expuesto
Tipo de vehículo (Ejes)	1,00	2,00	3,00
Estado de conservación de la Carretera	0,50	1,00	2,00
Servicio de Empresas de Transporte expuesto	0,33	0,50	1,00
SUMA	1,83	3,50	6,00
1 / SUMA	0,55	0,29	0,17

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 80**

*Matriz de normalización del factor fragilidad de la dimensión económica*

Fragilidad Económica	Tipo de vehículo (Ejes)	Estado de conservación de la Carretera	Serv. de Empresas de Transp. expuesto	Vector priorización
Tipo de vehículo (Ejes)	0,545	0,571	0,500	0,539
Estado de conservación de la Carretera	0,273	0,286	0,333	0,297
Servicio de Empresas de Transporte expuesto	0,182	0,143	0,167	0,164

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de los parámetros del factor fragilidad se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,005
Relación de Consistencia (RC)	0,009

**a. Parámetro: Tipo de vehículo**

**Tabla 81**

*Matriz de comparación del parámetro tipo de vehículo*

Tipo de vehículo (Ejes)	Veh. ligeros	Veh. de 2 ejes	Veh. de 3 y 4 ejes	Veh. de 5 y 6 ejes	Veh. de 7 y 8 ejes
Veh. ligeros	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
Veh. de 2 ejes	0,50	1,00	2,00	5,00	7,00
Veh. de 3 y 4 ejes	0,25	0,50	1,00	3,00	5,00
Veh. de 5 y 6 ejes	0,17	0,25	0,33	1,00	3,00
Veh. de 7 y 8 ejes	0,13	0,17	0,20	0,33	1,00
SUMA	2,04	3,92	7,53	15,33	24,00
1/SUMA	0,49	0,26	0,13	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 82**

*Matriz de normalización de pares del parámetro tipo de vehículo*

Tipo de vehículo (Ejes)	Veh. ligeros	Vehículos de 2 ejes	Vehículos de 3 y 4 ejes	Vehículos de 5 y 6 ejes	Vehículos de 7 y 8 ejes	Vector priorización
Vehículos ligeros	0,490	0,511	0,531	0,391	0,333	0,451
Veh. de 2 ejes	0,245	0,255	0,265	0,326	0,292	0,277
Veh. de 3 y 4 ejes	0,122	0,128	0,133	0,196	0,208	0,157
Veh. de 5 y 6 ejes	0,082	0,064	0,044	0,065	0,125	0,076
Veh. de 7 y 8 ejes	0,061	0,043	0,027	0,022	0,042	0,039
					SUMA	1,000

Fuente: Elaboración propia

Del análisis jerárquico para este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,054
Relación de Consistencia (RC)	0,05

**b. Parámetro: Estado de conservación de la carretera**

**Tabla 83**

*Matriz de comparación del parámetro estado de conservación de la carretera*

Estado de conservación de la Carretera	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
Muy mala	1,00	2,00	4,00	7,00	9,00
Mala	0,50	1,00	2,00	4,00	7,00
Regular	0,25	0,50	1,00	3,00	5,00
Buena	0,14	0,25	0,33	1,00	4,00
Muy buena	0,11	0,14	0,20	0,25	1,00
SUMA	2,00	3,89	7,53	15,25	26,00
1/SUMA	0,50	0,26	0,13	0,07	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 84**

*Matriz de normalización del parámetro estado de conservación de la carretera*

Estado de conservación de la Carretera	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	Vector priorización
Muy mala	0,499	0,514	0,531	0,459	0,346	0,470
Mala	0,250	0,257	0,265	0,262	0,269	0,261
Regular	0,125	0,128	0,133	0,197	0,192	0,155
Buena	0,071	0,064	0,044	0,066	0,154	0,080
Muy buena	0,055	0,037	0,027	0,016	0,038	0,035
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,042
Relación de Consistencia (RC)	0,04

**c. Parámetro: Servicio de empresas de transporte expuesto**

**Tabla 85**

*Matriz de comparación del parámetro empresas de transporte expuesto*

Serv. de Empresas de Transporte expuesto	> 75 % expuesto	50 - 75 % expuesto	25 - 50 % expuesto	10 - 25 % expuesto	<10 % expuesto
> 75 % expuesto	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
50 - 75 % expuesto	0,50	1,00	3,00	5,00	7,00
25 - 50 % expuesto	0,25	0,33	1,00	3,00	5,00
10 - 25 % expuesto	0,17	0,25	0,33	1,00	2,00
<10 % expuesto	0,13	0,17	0,20	0,50	1,00
SUMA	2,04	3,75	8,53	15,50	23,00
1/SUMA	0,49	0,27	0,12	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 86**

*Matriz de normalización del parámetro empresas de transporte expuesto*

Serv. de Emp. de Transporte expuesto	> 75 % expuesto	50 - 75 % expuesto	25 - 50 % expuesto	10 - 25 % expuesto	<10 % expuesto	Vector priorización
> 75 % expuesto	0,490	0,533	0,469	0,387	0,348	0,445
50 - 75 % expuesto	0,245	0,267	0,352	0,323	0,304	0,298
25 - 50 % expuesto	0,122	0,089	0,117	0,194	0,217	0,148
10 - 25 % expuesto	0,082	0,067	0,039	0,065	0,087	0,068
<10 % expuesto	0,061	0,044	0,023	0,032	0,043	0,041
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,054
Relación de Consistencia (RC)	0,05

### 10.4.3. Análisis de la resiliencia de la dimensión económica

**Tabla 87**

*Parámetros del factor resiliencia de la dimensión económica*

Resiliencia Económica	Tipo de Actividad Económica	Ocupación principal (jefe de hogar)	Ingreso familiar promedio mensual
Tipo de Actividad Económica	1,00	2,00	3,00
Ocupación principal (jefe de hogar)	0,50	1,00	2,00
Ingreso familiar promedio mensual	0,33	0,50	1,00
SUMA	1,83	3,50	6,00
1/ SUMA	0,55	0,29	0,17

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 88**

*Matriz de normalización del factor resiliencia de la dimensión económica*

Resiliencia Económica	Tipo de Actividad Económica	Ocupación principal (jefe de hogar)	Ingreso familiar promedio mensual	Vector priorización
Tipo de Actividad Económica	0,545	0,571	0,500	0,539
Ocupación principal (jefe de hogar)	0,273	0,286	0,333	0,297
Ingreso familiar promedio mensual	0,182	0,143	0,167	0,164

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del factor Resiliencia de la Dimensión Económica se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,005
Relación de Consistencia (RC)	0,009

**a. Parámetro: Tipo de actividad económica**

**Tabla 89**

*Matriz de comparación del parámetro tipo de actividad económica*

Tipo de Actividad Económica	Transporte	Comercio al por mayor y menor	Pesca, ganadería	Agricultura	Otros
Transporte	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
Comercio al por mayor y menor	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
Pesca, Ganadería	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
Agricultura	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
Otros	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
SUMA	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
1/SUMA	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 90**

*Matriz de normalización del parámetro tipo de actividad económica*

Tipo de Actividad Económica	Transporte	Comercio al por mayor y menor	Pesca, ganadería	Agricultura	Otros	Vector priorización
Transporte	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
Comercio al por mayor y menor	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
Pesca, Ganadería	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
Agricultura	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
Otros	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,064
Relación de Consistencia (RC)	0,0575

**b. Parámetro: Ocupación principal (jefe de hogar)**

**Tabla 91**

*Matriz de comparación del parámetro ocupación principal*

Ocupación principal (jefe de hogar)	Trabajador familiar no remunerado	Obrero/ peón	Agricultor	Empleado/ Trabajador independiente	Empleador
Trabajador familiar no remunerado	1,00	2,00	4,00	5,00	6,00
Obrero/ peón	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
Agricultor	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
Empleado/Trabajador independiente	0,20	0,25	0,50	1,00	3,00
Empleador	0,17	0,20	0,25	0,33	1,00
SUMA	2,12	3,95	7,75	12,33	20,00
1/SUMA	0,47	0,25	0,13	0,08	0,05

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 92**

*Matriz de normalización del parámetro ocupación principal*

Ocupación principal (jefe de hogar)	Trabajador familiar no remunerado	Obrero/ peón	Agricultor	Empleado/ Trabajador independiente	Empleador	Vector priorización
Trabajador familiar no remunerado	0,472	0,506	0,516	0,405	0,300	0,440
Obrero/ peón	0,236	0,253	0,258	0,324	0,300	0,274
Agricultor	0,118	0,127	0,129	0,162	0,200	0,147
Empleado/ Trabajador independiente	0,094	0,063	0,065	0,081	0,150	0,091
Empleador	0,079	0,051	0,032	0,027	0,050	0,048
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,046
Relación de Consistencia (RC)	0,04

**c. Parámetro: Ingreso familiar promedio mensual**

**Tabla 93**

*Matriz de comparación del parámetro ingreso promedio mensual*

Ingreso familiar promedio mensual	Menor al sueldo mínimo	De 931 a 1200	De 1201 a 1500	De 1501 a 1800	Mayor a 1800
Menor al sueldo mínimo	1,00	2,00	4,00	6,00	7,00
De 931 a 1200	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
De 1201 a 1500	0,25	0,50	1,00	3,00	5,00
De 1501 a 1800	0,17	0,25	0,33	1,00	3,00
Mayor a 1800	0,14	0,17	0,20	0,33	1,00
SUMA	2,06	3,92	7,53	13,33	20,00
1/SUMA	0,49	0,26	0,13	0,08	0,05

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 94**

*Matriz de normalización del parámetro ingreso promedio mensual*

Ingreso familiar promedio mensual	Menor al sueldo mínimo	De 931 a 1200	De 1201 a 1500	De 1501 a 1800	Mayor a 1800	Vector priorización
Menor al sueldo mínimo	0,486	0,511	0,531	0,450	0,350	0,465
De 931 a 1200	0,243	0,255	0,265	0,225	0,200	0,238
De 1201 a 1500	0,121	0,128	0,133	0,225	0,250	0,171
De 1501 a 1800	0,081	0,064	0,044	0,075	0,150	0,083
Mayor a 1800	0,069	0,043	0,027	0,025	0,050	0,043
					SUMA	1,00

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de este parámetro se obtuvo:

Índice de Consistencia (IC)	0,008
Relación de Consistencia (RC)	0,01

### 10.5. Nivel de vulnerabilidad

Se muestran los niveles de vulnerabilidad y sus respectivos rangos:

**Tabla 95**

*Niveles de Vulnerabilidad*

Nivel de Vulnerabilidad	Rangos
VULNERABILIDAD MUY ALTA	$0,272 \leq V < 0,454$
VULNERABILIDAD ALTA	$0,152 \leq V < 0,272$
VULNERABILIDAD MEDIA	$0,081 \leq V < 0,152$
VULNERABILIDAD BAJA	$0,041 \leq V < 0,081$

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 96***Matriz de Vulnerabilidad*

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
<b>VULNERABILIDAD MUY ALTA</b>	Número de personas que transitan por la carretera (Más de 45 personas). Grupo etáreo (de 0 a 5 años y mayor a 65 años). Con al menos un integrante de la familia no presenta discapacidad. No conoce sobre eventos pasados sobre la ocurrencia de desastres en su localidad. Nunca se capacita en temas de gestión de riesgos. No se presenta interés en participar en campañas de prevención de riesgos. Mayor al 75 % los Servicios de Empresas de Transporte se ve afectado.	$0,272 \leq V < 0,454$
<b>VULNERABILIDAD ALTA</b>	Número de personas que transitan por la carretera (de 30 a 45 personas). Grupo etáreo (de 6 a 12 y 61 a 65 años). Con al menos un integrante de la familia con discapacidad (para oír y/o hablar). Escaso conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad. Capacitación en temas de gestión de riesgo es cada 5 años. Muestra interés de vez en cuando para participar en campañas de prevención de riesgos. Entre el 50 al 75 % los Servicios de Empresas de Transporte se ve afectado.	$0,152 \leq V < 0,272$
<b>VULNERABILIDAD MEDIA</b>	Número de personas que transitan por la carretera (de 15 a 30 personas). Grupo etáreo (de 13 a 15 y 51 a 60 años). Con al menos un integrante de la familia con discapacidad (brazos y piernas). Presenta poco conocimiento pasado sobre la ocurrencia de desastres en su localidad. Capacitación en temas de gestión de riesgo es cada 5 años. Actúa con incentivos para participar en campañas de prevención de riesgos. Entre el 25 al 50 % los Servicios de Empresas de Transporte se ve afectado.	$0,081 \leq V < 0,152$
<b>VULNERABILIDAD BAJA</b>	Número de personas que transitan por la carretera (Menos de 15 personas). Grupo etáreo (de 16 a 50 años). Con al menos un integrante de la familia con discapacidad (Mental o intelectual). Presenta un conocimiento regular a amplio con respecto a eventos pasados sobre la ocurrencia de desastres en la localidad. Capacitación en temas de gestión de riesgo es cada 5 años. La población está atenta para participar en campañas de prevención de riesgos. Menor al 25% los Servicios de Empresas de Transporte se ve afectado.	$0,041 \leq V < 0,081$

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO XI

### ANÁLISIS DE RIESGO

#### 11.1. Nivel de riesgo

Los niveles de riesgo por flujo de lodo en la Quebrada Sin Nombre, se detalla a continuación:

**Tabla 97**

*Niveles de riesgo*

Nivel de Riesgo	Rangos
RIESGO MUY ALTO	$0,060 \leq R < 0,179$
RIESGO ALTO	$0,021 \leq R < 0,060$
RIESGO MEDIO	$0,007 \leq R < 0,021$
RIESGO BAJO	$0,001 \leq R < 0,007$

Fuente: Elaboración propia

#### 11.2. Matriz de riesgo

La matriz de riesgos para la Quebrada Sin Nombre es:

**Tabla 98***Matriz de riesgo*

Peligro	Muy Alto	0,394	0,03	0,06	0,11	0,18
	Alto	0,221	0,02	0,03	0,06	0,10
	Medio	0,135	0,01	0,02	0,04	0,06
	Bajo	0,087	0,01	0,01	0,02	0,04
			0,08	0,15	0,27	0,46
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Vulnerabilidad						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 99***Clasificación del nivel de riesgo*

Nivel de Riesgo	Descripción
<b>RIESGO MUY ALTO</b>	Las consecuencias del impacto ante la presencia de flujos de escombros y lodos son catastróficas para la infraestructura existente, la salud y la vida humana.
<b>RIESGO ALTO</b>	Las consecuencias del impacto ante la presencia de flujos de escombros y lodos pueden ser gestionadas con apoyo externo, ya sea el Gobierno Regional, Provincial y/o pobladores.
<b>RIESGO MEDIO</b>	Las consecuencias del impacto ocasionado por flujos de escombros y lodos pueden ser gestionadas por medio de recursos disponibles y/o apoyo de la población.
<b>RIESGO BAJO</b>	Las consecuencias del impacto ante la presencia de flujos de escombros y lodo, pueden ser gestionadas sin dificultad.

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO XII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 12.1. Conclusiones

- Se logró realizar un análisis de riesgo en la Quebrada Sin Nombre, mediante el uso del Software FLO-2D, la carretera presenta un nivel de riesgo moderado a alto, ante la presencia de un flujo de escombros y lodo.
- Se identificó cinco unidades geomorfológicas: lomadas, mantos de arena, piedemonte, terrazas y cárcavas, como también, se identificó cinco unidades geológicas, depósito coluvio-deluvial, depósito deluvial, depósitos eólicos, depósitos marinos y la formación chocolate; siendo los depósitos eólicos la matriz del flujo de sedimentos que arrastra la quebrada.
- Se identificó que el nivel de peligro en el área de estudio es muy alto.
- El nivel de vulnerabilidad y el nivel de riesgo que presenta la carretera ante la ocurrencia de un flujo de lodo es muy alto.
- En la Quebrada Sin Nombre es posible que ocurran eventos iguales o de mayor magnitud ocurrida en años anteriores, como en el 2008, 2009, 2015, 2017, 2019.
- En la Quebrada Sin Nombre las mayores precipitaciones del año se presentan entre los meses de julio a septiembre, siendo estos los meses de mayor riesgo ante la presencia de flujos de lodo; sin embargo, entre los meses de enero hasta abril son las menores precipitaciones del año, por lo que hay menor riesgo.
- Con este trabajo lograré obtener mi Título Profesional.

## 12.2. Recomendaciones

Para prevenir y mitigar la ocurrencia de un flujo de lodo en la Quebrada Sin nombre se plantea las siguientes medidas estructurales y no estructurales:

### a. Medidas estructurales

- Se deberá de realizar medidas de mitigación, a fin de disminuir los daños producidos por los flujos de lodo, como la construcción de diques a lo largo de la quebrada principal, así como también, en las zonas donde hay mayor presencia de cárcavas, tal como se indica en los planos fotográficos PT-01, PT-02, PT-03, ST-01,
- Se deberá construir un sistema de drenaje “puente alcantarilla” que atraviese perpendicularmente a la carretera, con el objeto de evacuar el flujo hacia el mar, de esta manera disminuir pérdidas económicas y humanas.
- Se deberá colocar en la zona, la señalización preventiva P-50 indicando la presencia de flujos de lodo.

### b. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales que se muestren a continuación tienen carácter complementario y se sugiere realizarlas:

- Se deberá realizar un estudio geofísico y un análisis estructural para el diseño de los diques.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H.; Mamani, M.; Alván, A. & Rodríguez, J. (2012). Geología de los Cuadrangulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas Hoja 37-u, 37-v y 37-x. *Boletín 145, Serie A, Carta Geologica Nacional*, 113.
- Alva, J.; Castillo, J. (1993). *Dinamica de Suelos, Peligro Sismico en el Perú*.
- Arancibia, A. (1998). Criterios para el manejo de quebradas y su aplicacion en el diseño de obras civiles. *Tesis de bachiller en Ingenieria Civil*. UNILIMA.
- Bagnold, R. (1954). Experiments in a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. *Proc. Royal Soc. London, vol. 225, Ser A*, pp. 49-63.
- Banda, M. (2014). *Análisis comparativo de un modelo hidrodinámico unidimensional para flujo Newtonianos y no Newtonianos del rios Seco zona urbana Tacna*. Tesis. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Beverage, J. P. and Culbertson, J. K. (1964). Hyperconcentrations of suspended. *ASCE, vol. 90*, pp. 117-128.
- Bevis, M., & Isacks, B. (1984). Hypocentral trend surface analysis: Probing the geometry. *Journal of Geophysical Research*.
- Castillo, L. (2006). *Aplicacion de un modelo numerico de flujos de escombros y lodos en una quebrada en el Perú*. Tesis. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.

- Castillo, L. (2009). Aplicación del modelo numérico FLO-2D en la Quebrada Cansas, Ica-Perú. Prevención de Huaycos. *Conferencia: Prevención de huaycos*. Lima.
- CENEPRED. (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales. 245 . Lima: CENEPRED- Dirección de Gestión de Procesos.
- Chen, C.L. (1986). Chinese concepts of modelling hyperconcentrated streamflow and debris flow. *Third International Symposium on River Sedimentation, The University of Mississippi*, pp. 1647-1657.
- Chow, V. (1959). *Open-channel Hydraulics*. (McGraw-Hill, Ed.) New York.
- Chow, Ven Te; Maidment, D.; Wags, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Costa, J. (1984). Physical geomorphology of debris flows. *Developments and Applications of Geomorphology*. Ed. Costa, J.E. & Fleisher, P.J., pp. 268-317.
- Costa, J. (1988). *Rheologic, Geomorphic and sedimentologic differentiation of water floods hyperconcentrated flows, and debris flow*. In *flood geomorphology*.
- Coussot, P. (1997). *Mudflow Rheology and Dynamics*. *International Association for Hydraulic Research (IAHR)*. Ediciones A.A Balkema-Rotterdam.
- Fiebigler, G. (1997). Hazard Mapping in Austria. *Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rockfall Engineering N° 134, Vol. 61*.
- Gamion, J.F. (2014). *Modelo de flujo de escombros y lodos aplicando FLO 2D, caso sub cuenca del Río Shullcas*. Tesis. Huancayo: Universidad Nacional del centro del Perú.

- Gaspari, F.J.; Senisterra, G.; Delgado, M.; Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. La Plata: Universidad Universidad de La Plata.
- Guerrero, O. (s.f.). Capítulo 4. Geomorfología de cuencas. Venezuela. Recuperado el 9 de Enero de 2019, de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\\_Geomorfologia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf)
- Guerrero, O. (s.f.). Capítulo 4. Geomorfología de cuencas. Venezuela. Obtenido de [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\\_Geomorfologia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf)
- Guilarte, R. (1978). *Hidrología Básica*. (U. Facultad de Ingeniería, Ed.) Caracas, Venezuela.
- GWP. (2011). Cartilla Técnica. *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura de Agua y la Gestión Integral de Recursos Hídricos. Sociedad Geográfica de Lima, Primera*. (Sociedad Geográfica de Lima, Ed.). Lima, Perú. Obtenido de [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)
- Havrylenko, S. B.; Damiano, F.; Pizarro, M. J. (2012). Estimación del número de curva en la cuenca del Río Arrecifes. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Instituto de Clima y Agua*. Buenos Aires, Argentina.
- Hazen, A. (1911). Discussion of Dams on Sand Foundations: Some Principles involved in their design, and the law governing the depth of penetration required for sheet- piling by Arnold C. Koenig. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 189.
- Heras, R. (1972). *Manual de hidrología: hidrología de las crecidas*. Servicio de Edición del Centro de Estudios Hidrográficos y Dirección General de Obras Hidráulicas.

- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and drainage basins.: *Bulletin of the Geological Society of America*, 275-370.
- Johnson, A. M. & Rodine, J. (1984). Debris Flow. In *Slope Instability*. pp. 257-361. New York.
- Johnson, A. (1970). Bingham and Pseudoplastic fluid models. pp. 112. Maryland: University of Maryland, Canadá.
- Johnson, A. (1970). Physical processes in geology. pp. 431-571. Freeman, Cooper & Company.
- Julien, P.Y. and Lan, Y.Q. (1991). On the rheology of hyperconcentrations. *J. of Hyd. Eng., ASCE*, pp. 346-353.
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering* 10, 362.
- Langbein, W. B. (1947). Topographic characteristics of drainage basins. *U.S. Geology Survey. Water- Supply Paper*, 125-155.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Medina R., J. (1991). *Fenomenos Geodinamicos, Estudio y medidas de tratamiento*. Lima.
- Meunier, M. (1991). *Eléments d' hydraulique torrentielle*. CEMAGREF, Grenoble, Francia.
- NRCS. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. *Natural Resources Conservation Service*. USA.
- O'Brien. (2003). *Simulating Mudflows*. Obtenido de <http://www.flo-2d.com>

- O'Brien and Julien. (1985). Physical processes of hyperconcentrated sediment flows. *Proc. of the ASCE Specialty Conf. on the Delineation of Landslides, Floods, and Debris Flow Hazards in Utah. Utah Water Research Laboratory, Series UWRUG-85/03*, pp. 260-279. (D. Bowles, Ed.) Utah Water Research Laboratory.
- O'Brien, J. (2000). *Flo 2D User's Manual* (Version 2000.10 ed.). Nutrioso, Arizona. Obtenido de <https://www.flo-2d.com>
- O'Brien, J. (2006). *Flo 2D Users Manual. Versión 2006.01*. Nutrioso, Arizona.
- O'Brien, J.S. (1986). *Physical processes, rheology and modeling of mudflows*. Doctoral dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- O'Brien, J.S. and Julien, P.Y. (1988). Laboratory analysis of mudflow properties. *Journal of Hydraulic Engineer, ASCE*, pp. 877-887.
- OFEE, OFAT, ODEFP Ed. (1997). *Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*. Bienne, Switzerland.
- Oviedo, M. (2009). Geología, Geodinámica y simulación de Flujos FLO 2D en la quebrada de Saphy - Cusco. *Tesis. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*, 120 pp.
- Palza, H.P. (2014). Analisis espacial y temporal de sequías en la cuencas hidrográficas de la región Tacna. *Tesis. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*.
- Pierson, T. C. and Costa, J. E. (1987). A rheological classification of subaerial. *Reviews in engineering geology. Geological Society of America, vol. VII*, pp. 1-12.

- Ponce, V.M. and Theurer, F.D. (1982). Accuracy Criteria in Diffusion Routing. *Journal of Hydraulic Engineer. ASCE*, pp. 747-757.
- PREVENE. (2001). Aporte a la Prevencion de Desastres Naturales en Venezuela. *Cooperación: Venezuela-Suiza-PNUD*.
- Reyes Trujillo, Aldemar; Ulises Barroso, Fabian; Carvajal Escobar, Yesid;. (2010). Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas. Cali, Colombia.
- Saez, E. (2010). *Fundamentos de geotecnia*. Santiago: Pontificia Universidad Catolica de Chile.
- Savage, S.B. (1984). The mechanics of rapid granular flows. *Advances in Applied. vol. 24*, pp. 289-366.
- Schamber, D. R. and MacArthur, R.C. (1985). One dimensional model for mudflows. *Proc. of the ASCE Spec. Conf. on Hydraulics and Hydrology in the Small Computer Age, vol. 2*, pp. 1334-1339.
- Service, S. C. (1972). Section 4: Hidrology. *National Engineering Handbook*. SCS, USDA. Washington, DC.
- Stauder, W. (1975). Subduction of the Nazca under Peru as evidenced by focal. *Journal of Geophysical Research*, 80.
- Strahler, A. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks* (Section 4-11, en *Handbook of Applied Hydrology* ed.). (P. V. Chow, Ed.) McGraw-Hill, New Cork.
- Suárez, J. (2001). Control y Erosión en zonas Tropicales Bucaramanga. *Instituto de Inverstigaciones sobre Erosión y Deslizamientos- Ingeniería de*. Colombia.

- Takahashi, T. and Nakagawa, H. (1989). Debris flow hazard zone mapping. *Proc. of the Japan - China (Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, Kyoto*, pp. 363-372.
- Takahashi, T. and Tsujimoto, H. (1985). Delineation of the debris flow hazardous. *Proc. of the Intl. Symp. on Erosion, Debris Flow and Disaster Prevention, Tsukuba, Japan*, pp. 457-462.
- Tavera, H. (1998). Mecanismo focal de Terremotos en Peru y Sismotectonica. *Tesis PhD. Facultad de Ciencias Fisicas, Universidad Complutense de Madrid, España.*
- Témez, J. (2003). Facetas del calculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales . *Rev. Obras Públicas N° 3430*, 47-51.
- Terzaghi, K. & Peck, R. (1973). *Mecanica de Suelos en la Ingenieria Practica.* España: El Ateneo S.A.
- Theurer, F.D. and Ponce, V.M. (1982). Accuracy Criteria in Diffusion Routing. *Journal of Hydraulic Eng. ASCE*, pp. 747-757.
- Tisnado V., E. (2013). Modelamiento hidrodinámico para determinar zonas vulnerables en el cauce del río seco zona urbana - Tacna. *Tesis. Tacna: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.*, 110 pp.
- USBR, U. S. (1973). Design of small dams. *Water Resources Technical Publications*(2nd ed).
- Valderrama, P. (2006). *Geologia, Geodinamica y Simulacion de flujos en las ciudades de Urubamba y Ollantaytambo.* Tesis. Cusco: Universidad Nacional de San Antomnio Abad del Cusco.
- Varnes, J. (1958). Sediment Engineering. *Task Cmittee for the Preparation of the Manual on Sedimentation. ASCE.*

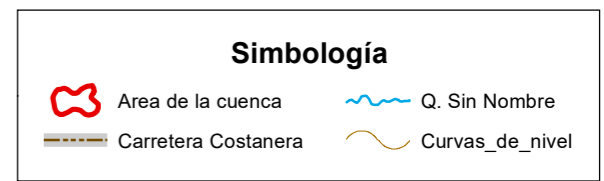
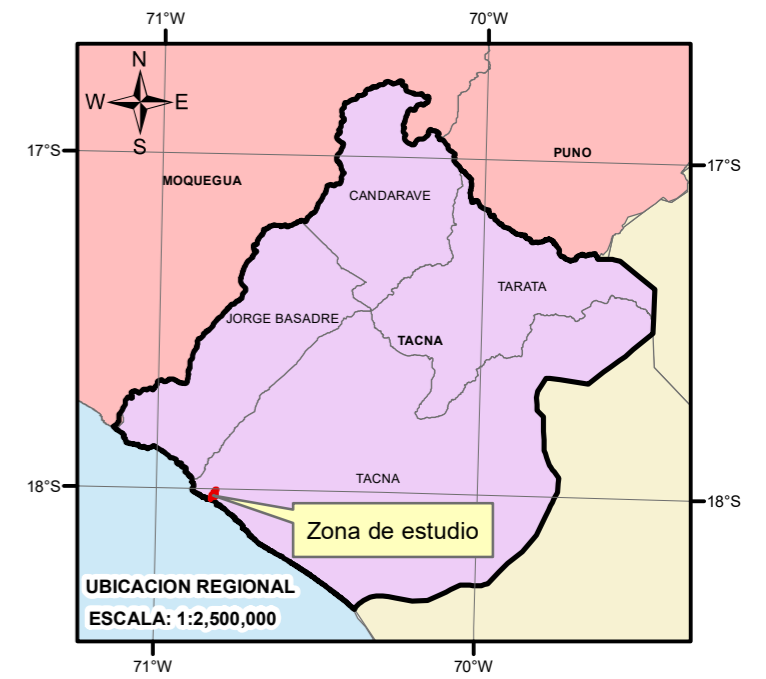
Waddell, J. & Dobrowolsky, J. (2001). *Manual de la Construcción con Concreto* (3era ed., Vol. Tomo I). Mexico: McGraw-Hill.

Wan, X. and Chien, N. (1989). Turbulence Characteristics of Sedimentladen flow. *J. of Hydraulic Engineering. ASCE*, 781-800.

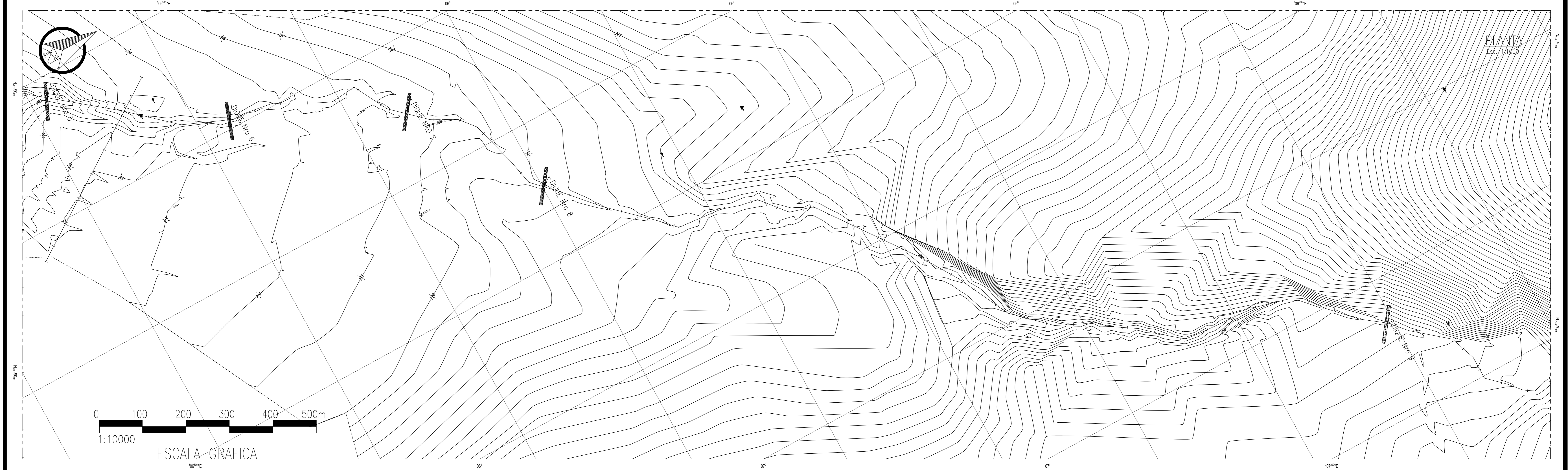
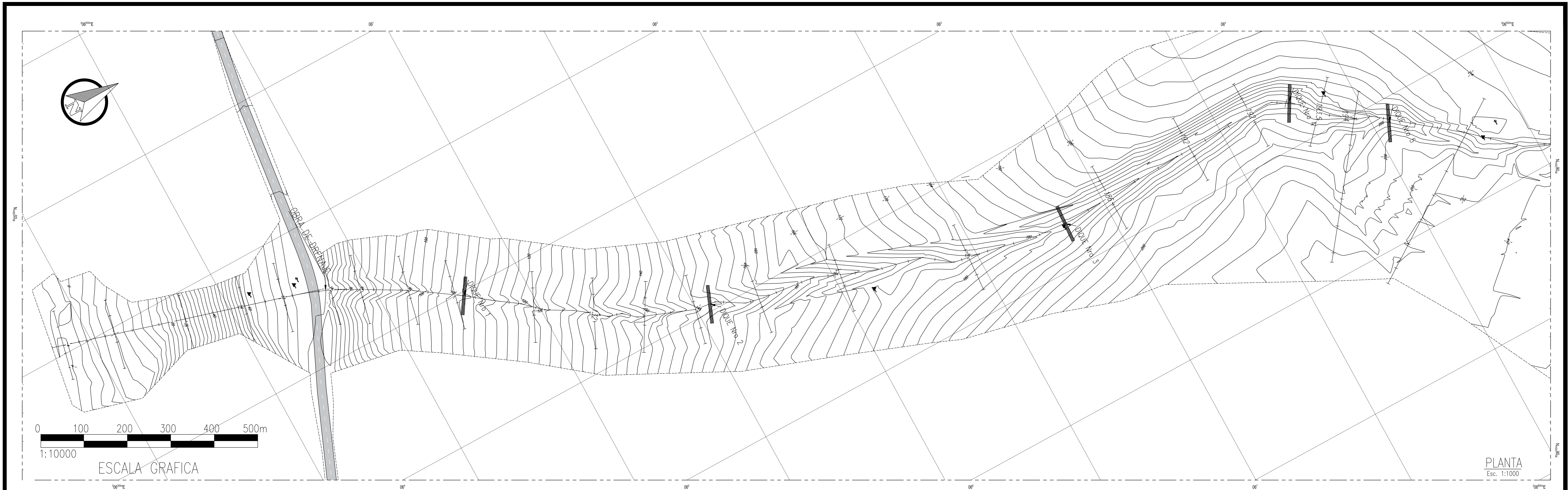
*climate-data.org* . (s.f.). Recuperado el 02 de Agosto de 2017, de [climate-data.org](http://climate-data.org)

## **ANEXOS**

**MAPAS**



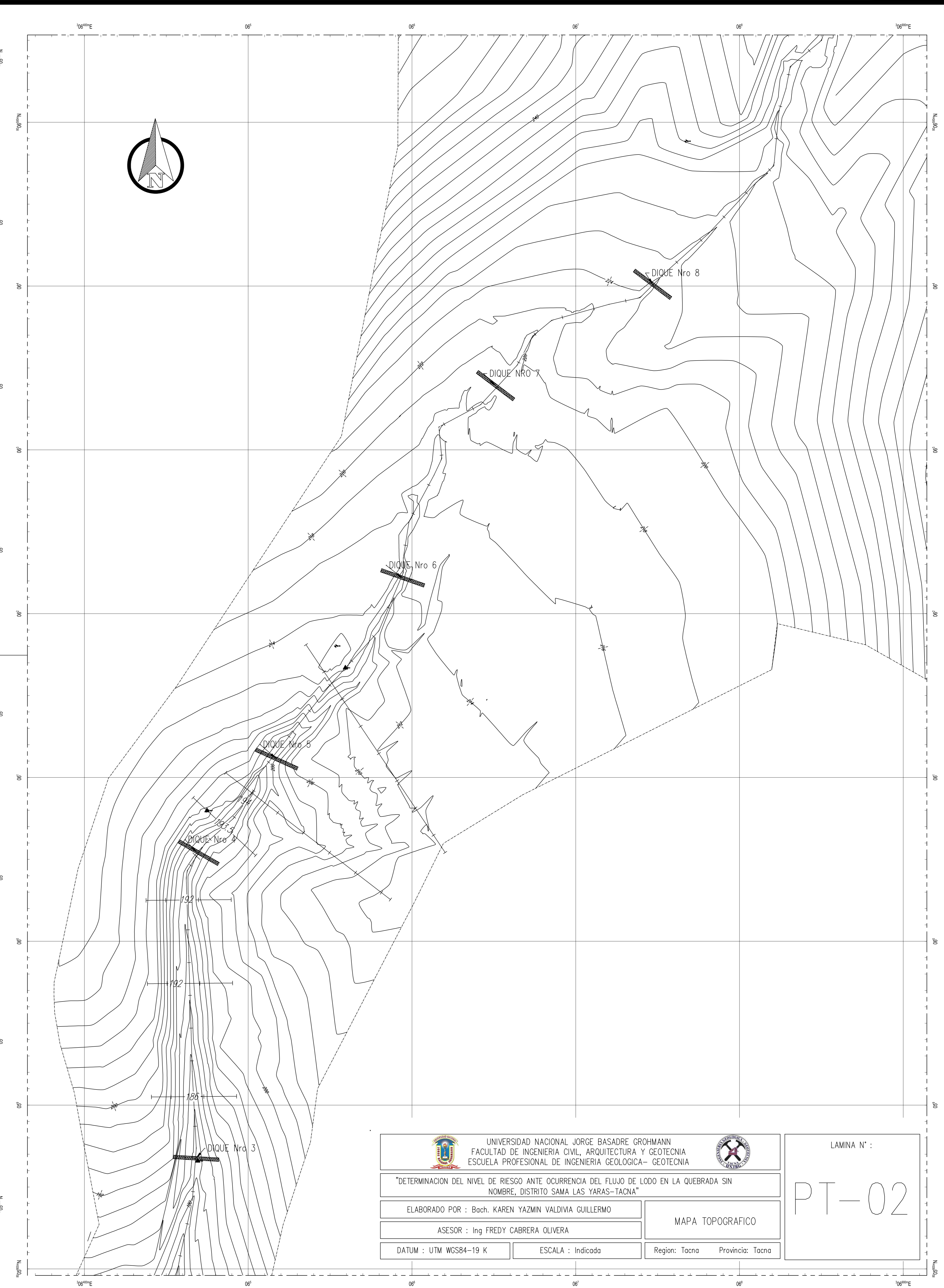
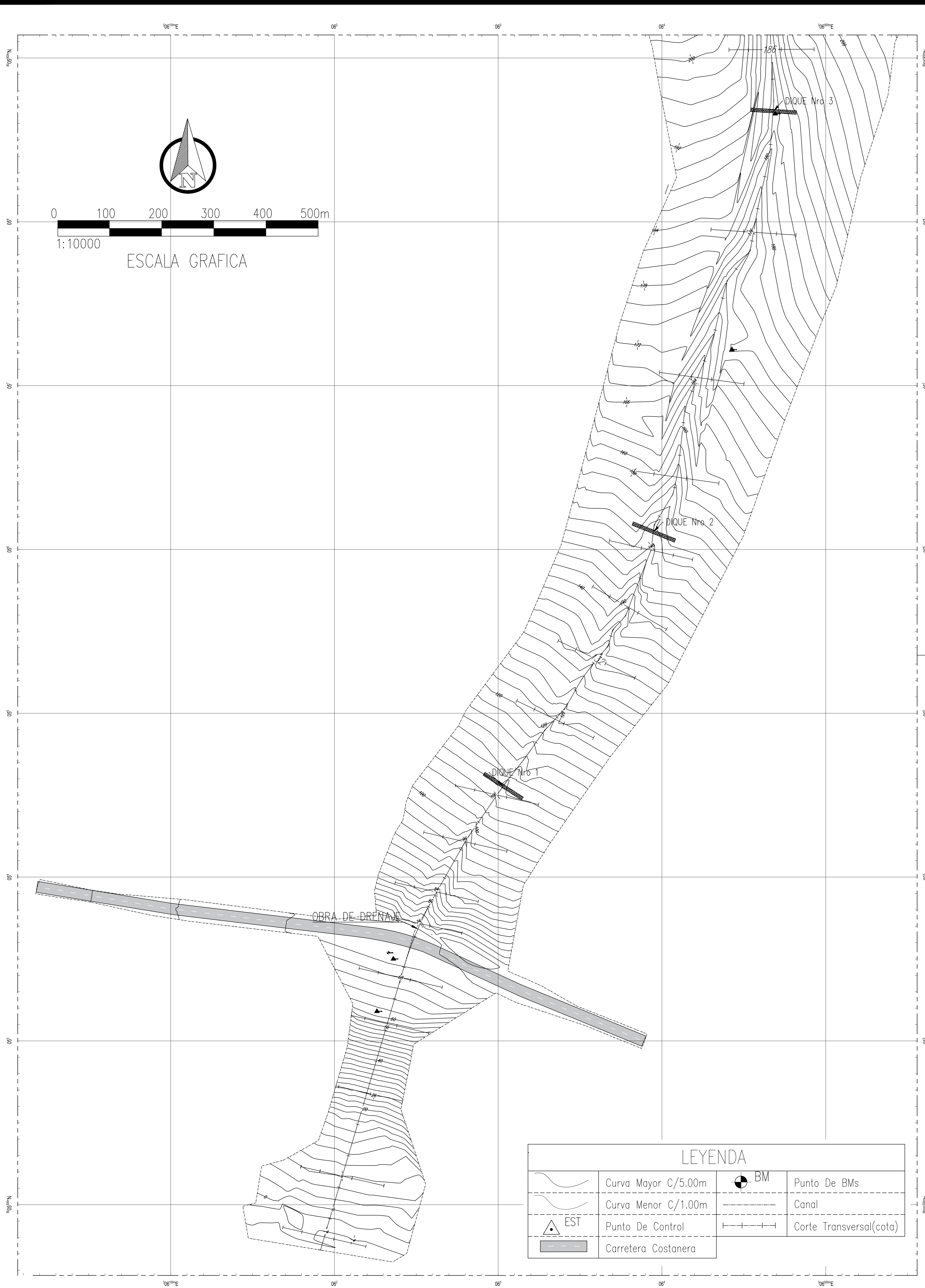
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA		LÁMINA N°:
"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"		<b>PU-01</b>
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO		MAPA DE UBICACION
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA		DATUM : UTM WGS84 - 19 K
ESCALA : Indicada		Region: Tacna Provincia: Tacna

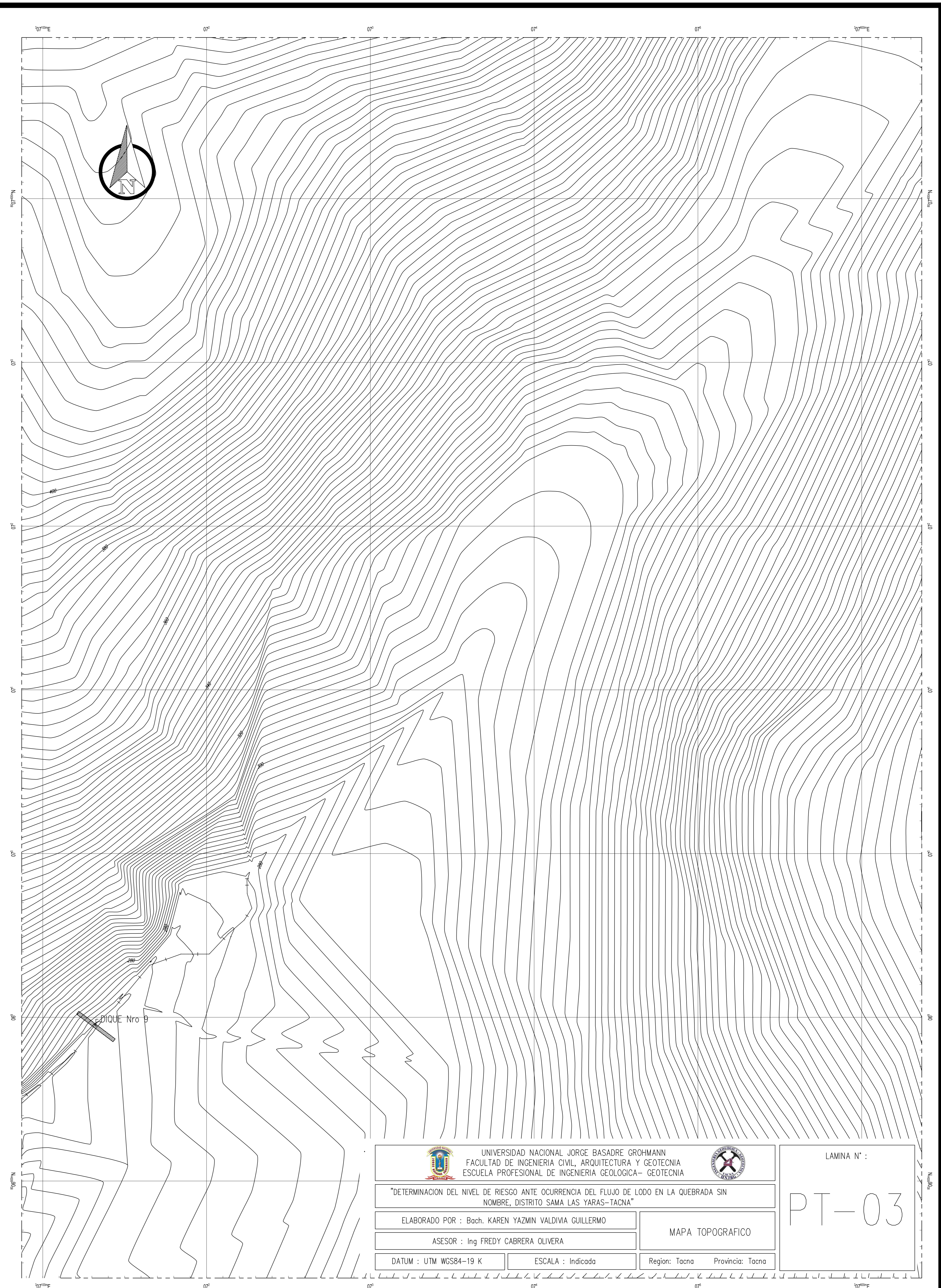
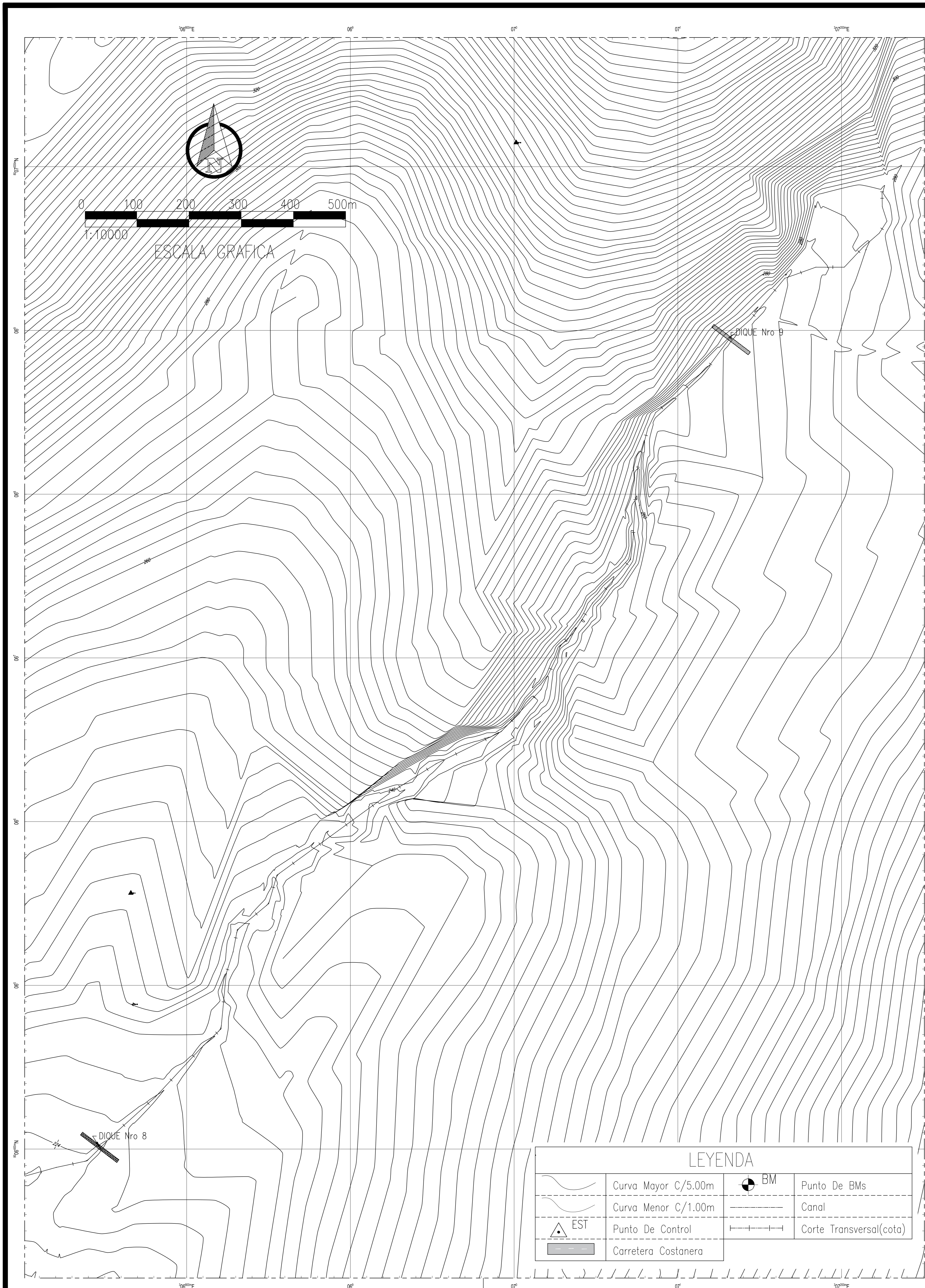


LEYENDA			
	Curva Mayor C/5.00m		Punto De BMs
	Curva Menor C/1.00m		Canal
	Punto De Control		Corte Transversal(cota)
	Carretera Costanera		

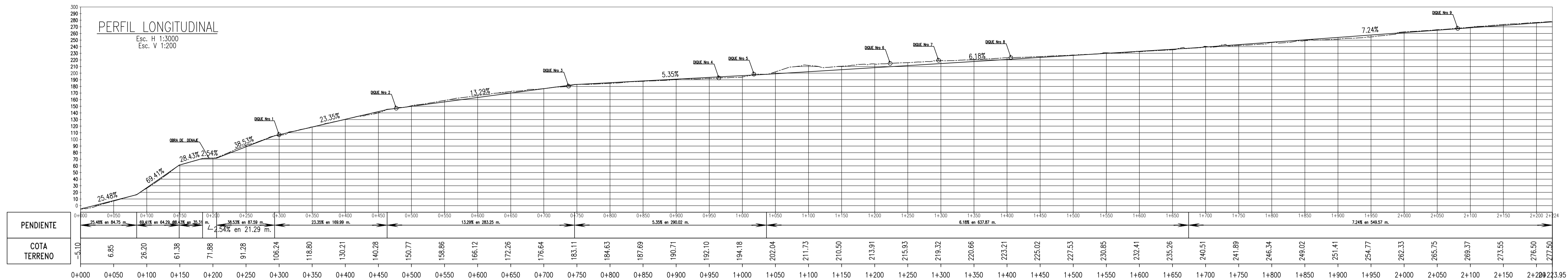
**NOTAS:**  
 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WGS-84.  
 2.- ELEVACIONES EN MSNM.  
 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA		LAMINA N° :  <h1>PT-01</h1>
*DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DEL FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS-TACNA*		
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO	MAPA TOPOGRAFICO	
ASESOR : Ing FREDY CABRERA OLIVERA	Region: Tacna Provincia: Tacna	
DATUM : UTM WGS84-19 K	ESCALA : Indicada	

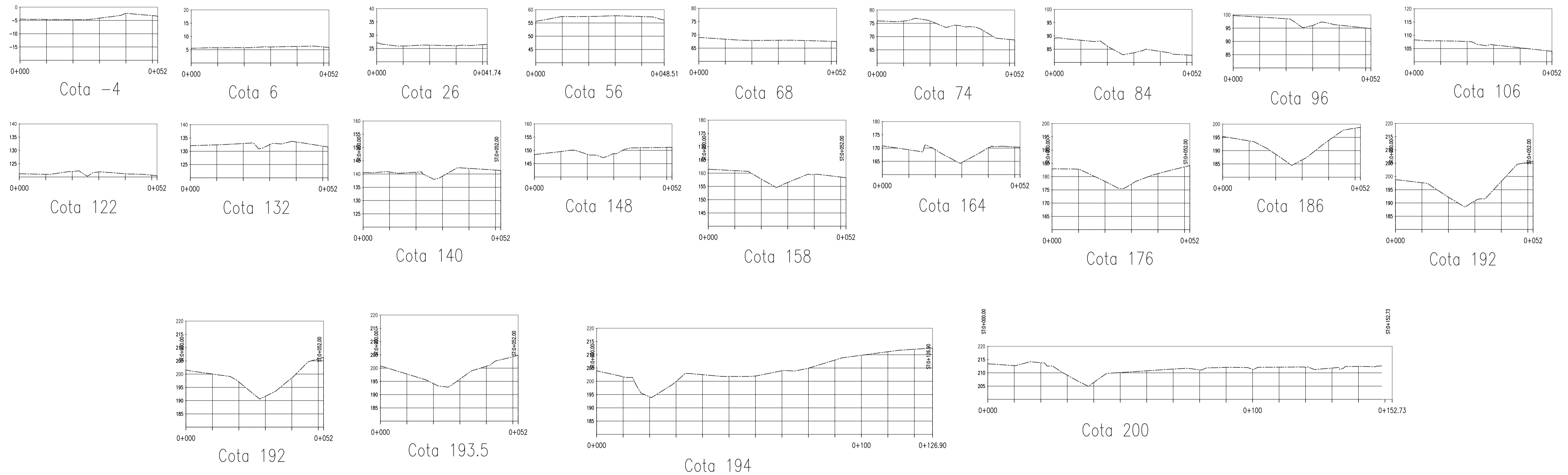




PT-03



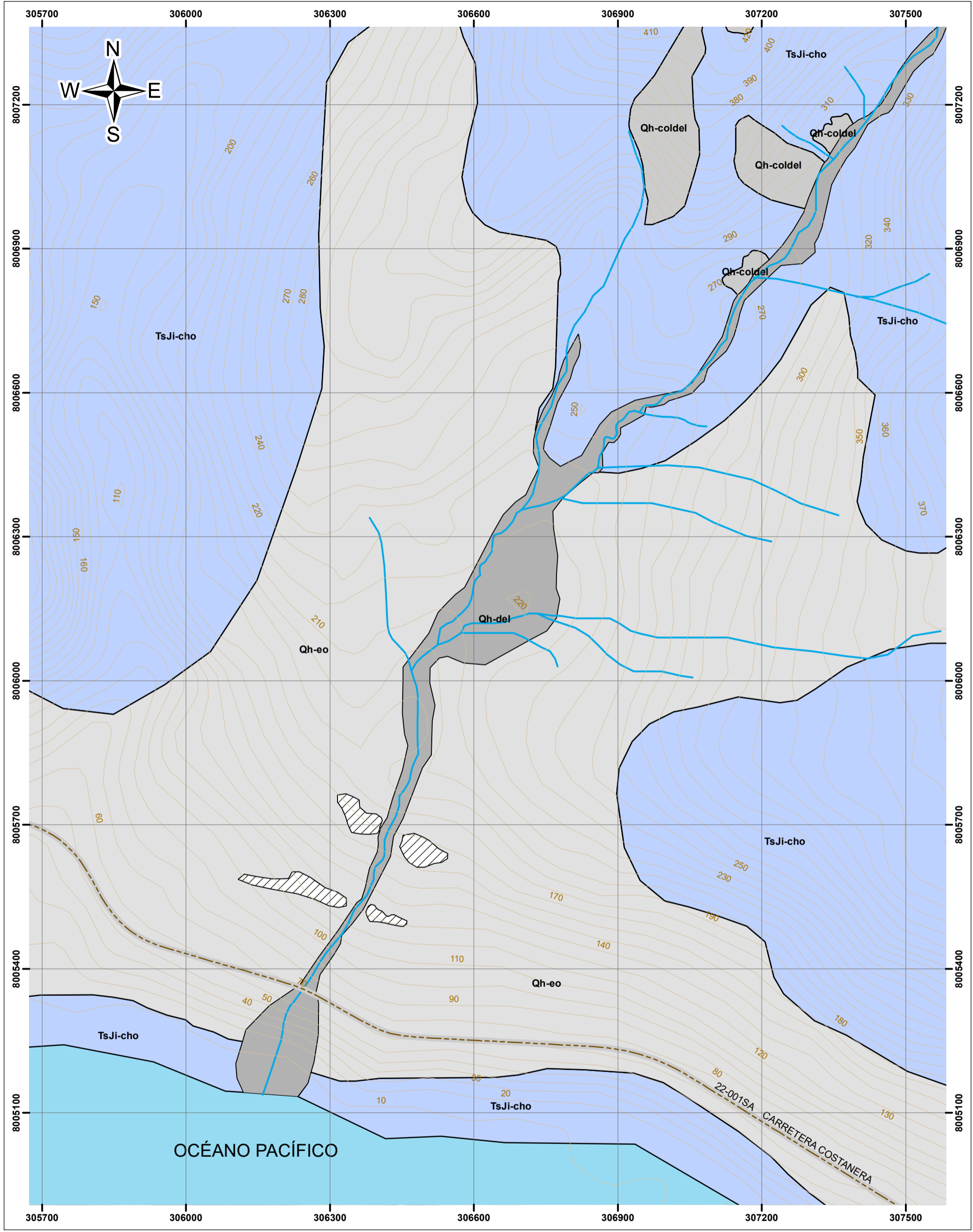
## SECCIONES TRANSVERSALES



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA		
"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO OCURRENCIA DEL FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS-TACNA"		
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO		MAPA TOPOGRAFICO
ASESOR : Ing FREDY CABRERA OLIVERA		
DATUM : UTM WGS84-19 K	ESCALA : Indicada	Region: Tacna    Provincia: Tacna

LAMINA N° :

# ST-01



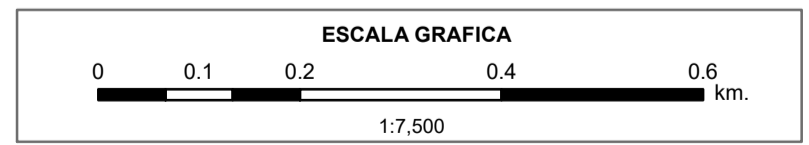
**Unid. Geologicas**

**Geologia**

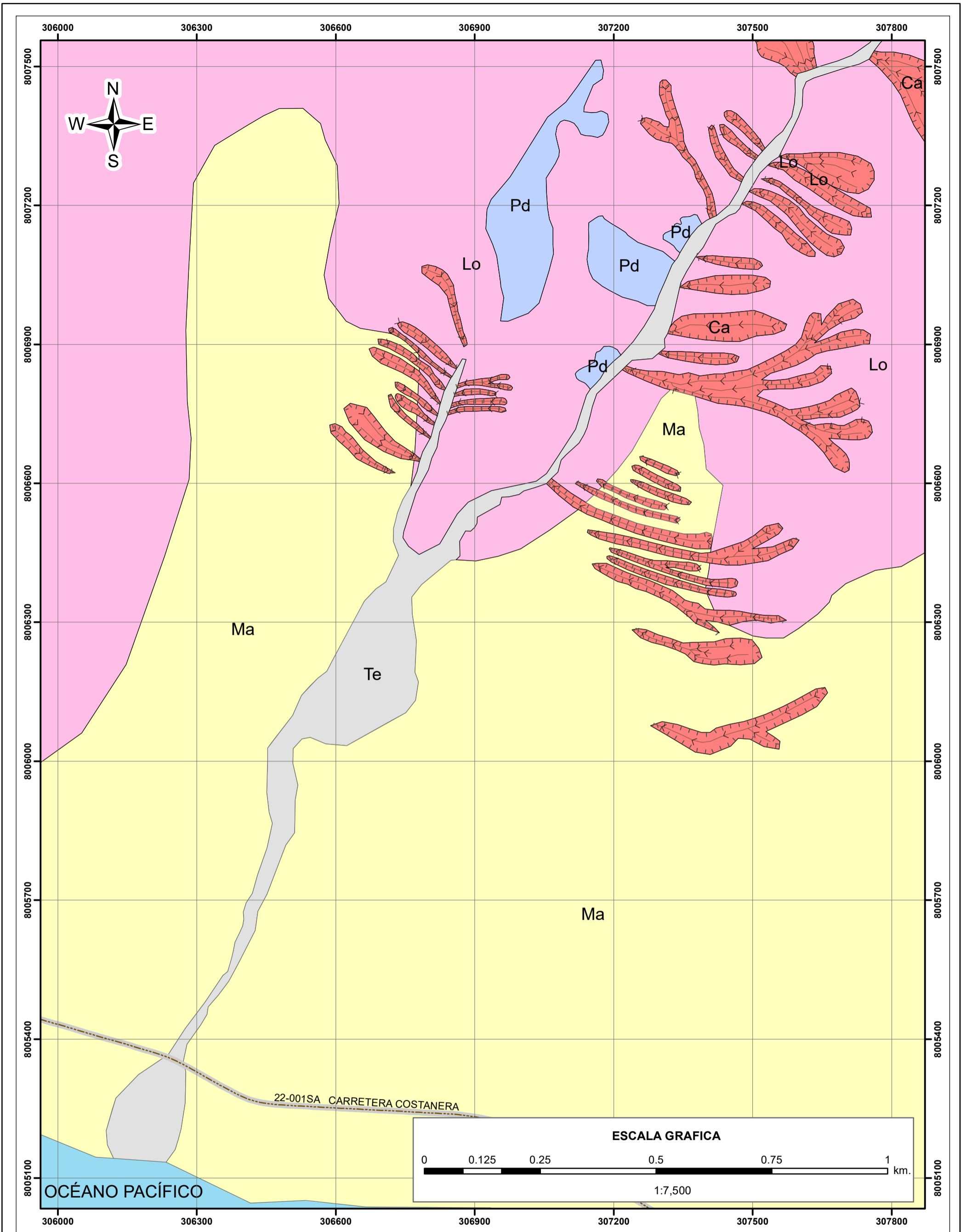
	Deposito Coluvio-deluvial
	Deposito Deluvial
	Depositos Marinos
	Depositos eolicos
	Fm. Chocolate

**Simbologia**






	Carretera Costanera
	Curvas de Nivel
	Drenaje




UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA		LÁMINA N° :
*DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA*		<b>MG-01</b>
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO	MAPA GEOLOGICO	
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA	DATUM : UTM WGS84 - 19 K	
ESCALA : Indicada	Region: Tacna	Provincia: Tacna

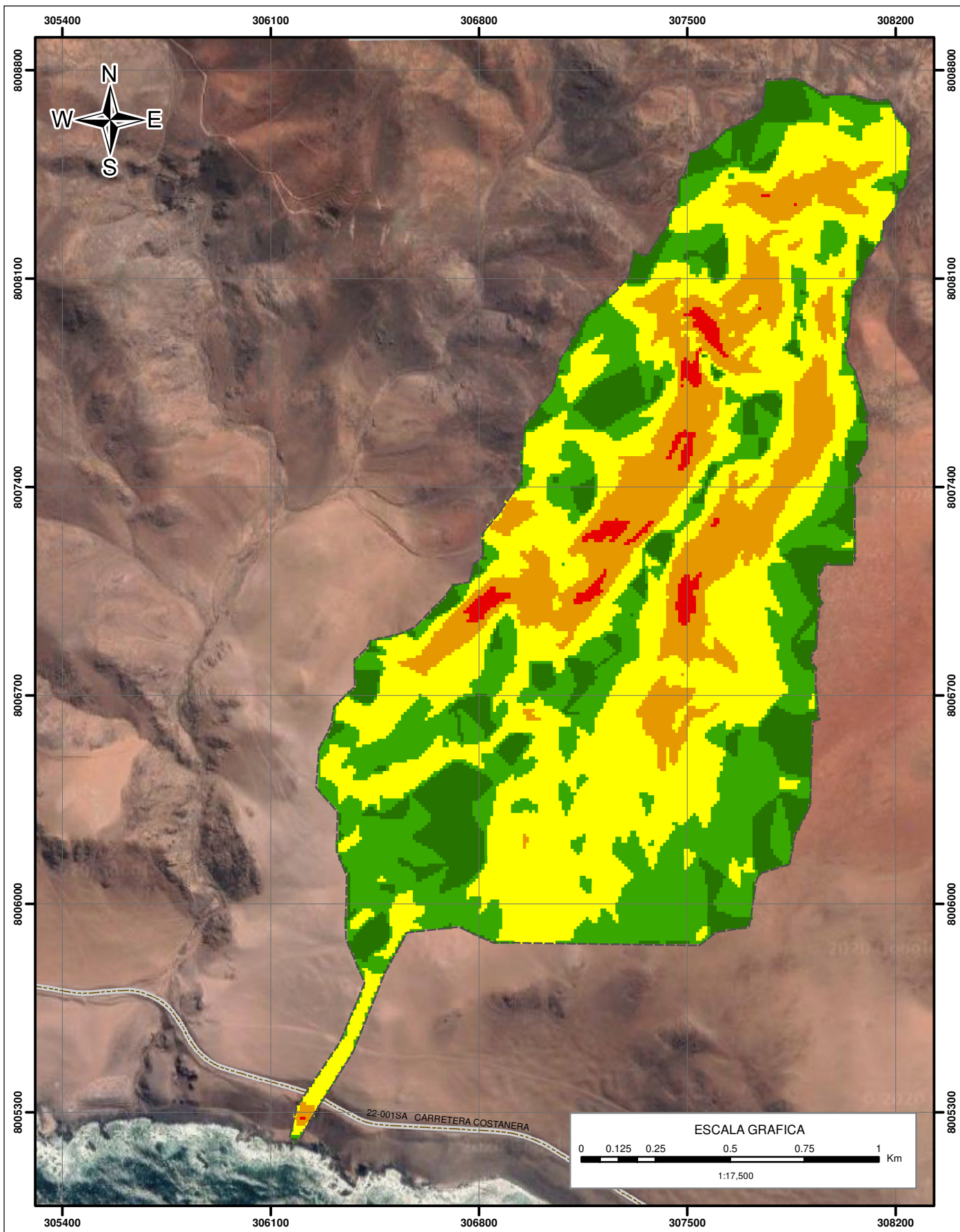


**UNID. GEOMORFOLOGICAS**

-  Ca Carcavas
-  Lo Lomada
-  Ma Mantos de arena
-  Pd Piedemonte
-  Te Terrazas



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA</p>		LÁMINA N°:
<p>"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"</p>		
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO		<p><b>MG-02</b></p>
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA		
DATUM : UTM WGS84 - 19 K	ESCALA : Indicada	Region: Tacna Provincia: Tacna

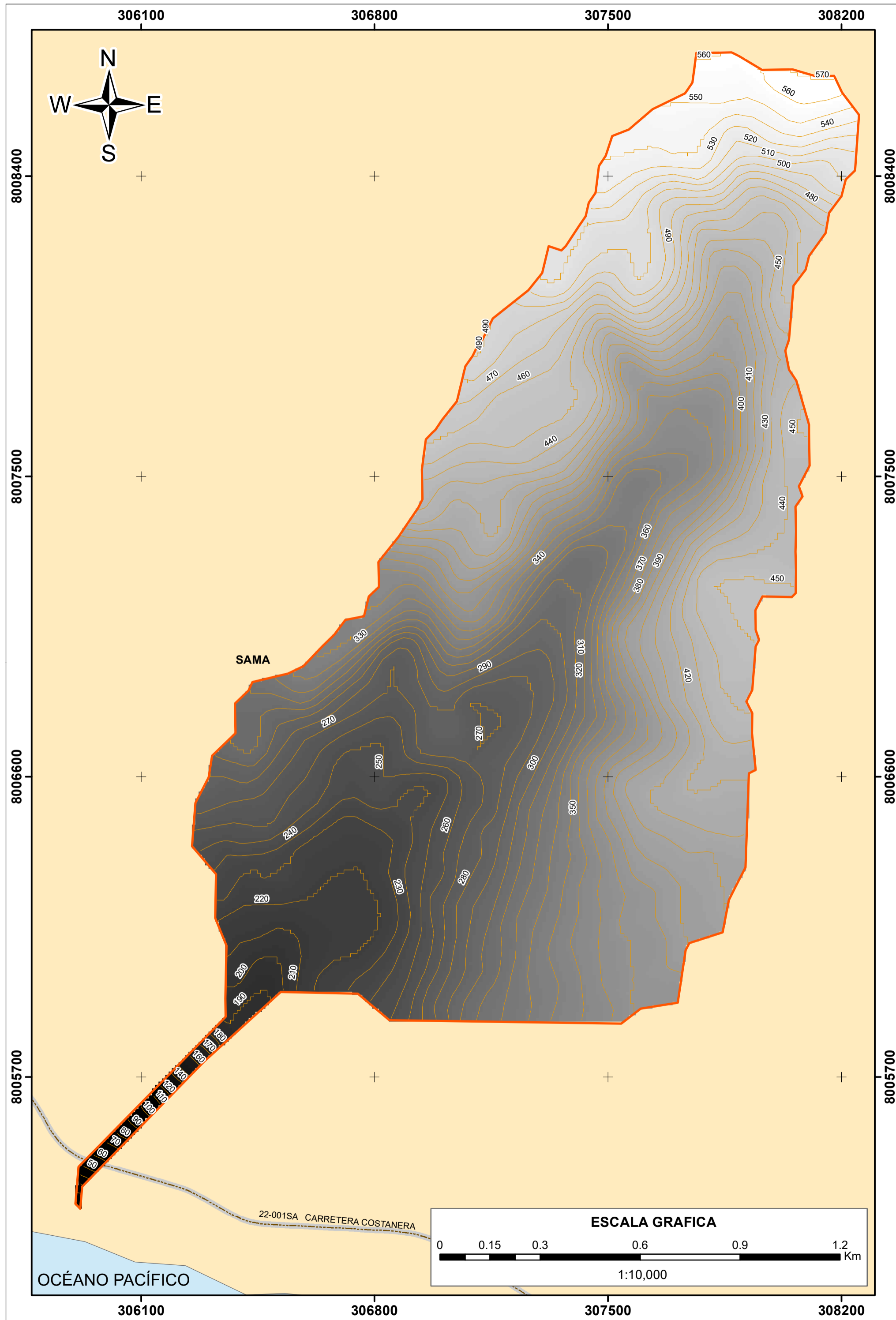


PENDIENTES		
Simbología	Rangos	Descripción
	< 5°	Terrenos llanos y/o inclinados con pendiente suave
	5° - 10°	Pendiente moderada
	10° - 20°	Pendiente fuerte
	20° - 30°	Pendiente muy fuerte
	> 30°	Pendiente muy empinada

**SIMBOLOGIA**

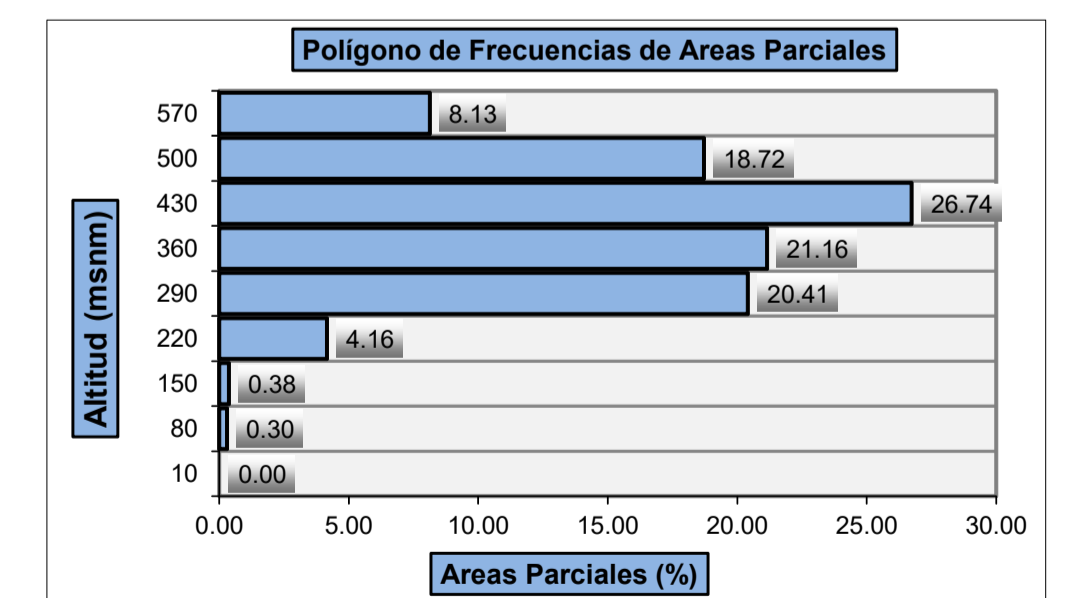
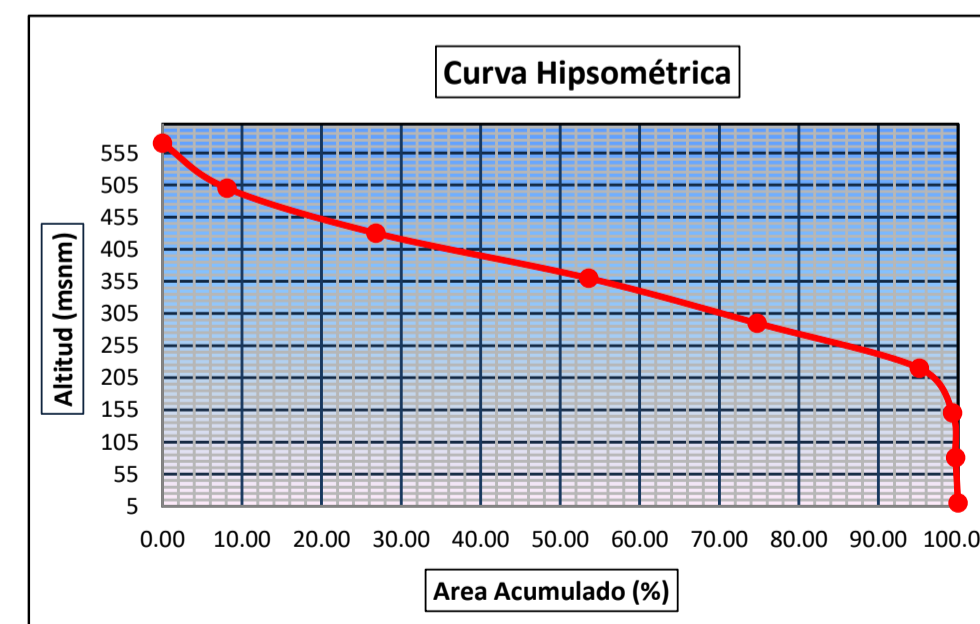
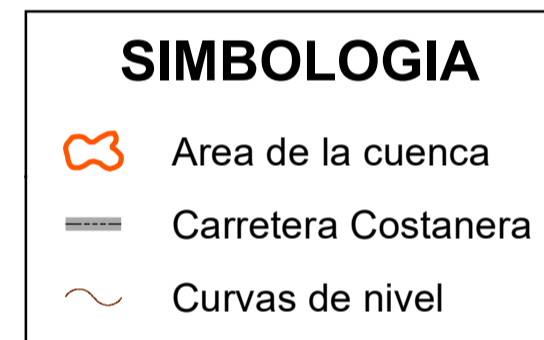
Área de la Cuenca     Carretera Costanera

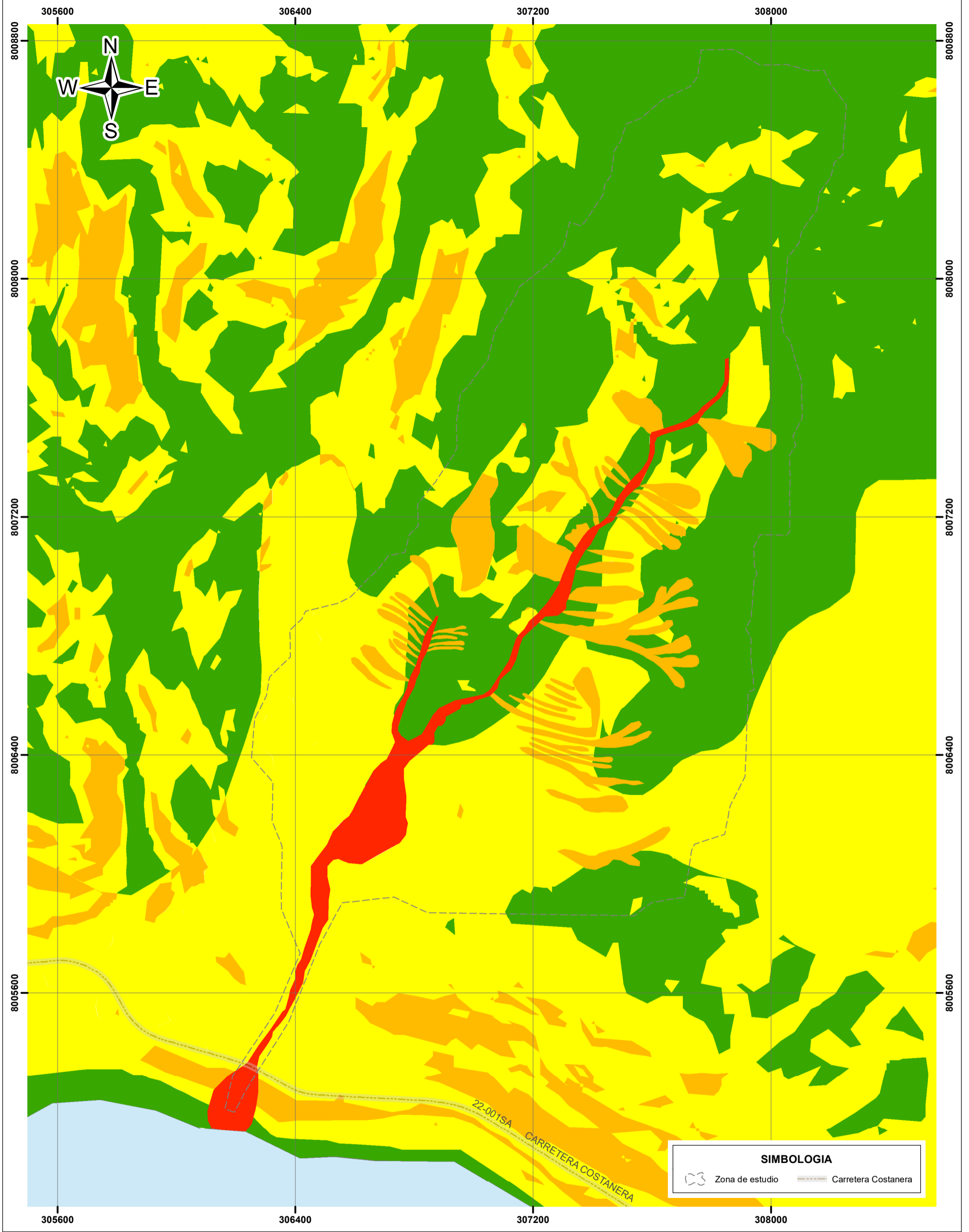
UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA		LÁMINA N° :  <h1>MG-03</h1>
*DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMALAS YARAS- TACNA*		
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO		MAPA DE PENDIENTES
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA		
DATUM : UTM WGS84 - 19 K	ESCALA : Indicada	Region: Tacna    Provincia: Tacna



**PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS**

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA			
Superficie total		Km <sup>2</sup>	At	3.350			
Perimetro		Km.	P	10.040			
UBICACION	Zona de Proyeccion UTM		s/U	Zona			
	X	m	Coord. X	306240.00			
	Y	m	Coord. Y	8005361.00			
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad (Gravelius)		s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.547	
		FACTOR DE FORMA	Longitud de la Cuenca		Km.	LB	4.274
	Ancho Medio de la Cuenca		Km.	$AM = At / LB$	0.784		
	Factor de Forma		s/U	$Kf = AM / LB$	0.183		
	RECTANGULO EQUIVALENTE		Lado Mayor		Km.	$Kc \cdot (\pi \cdot A)^{1/2} / 2 \cdot (1 + (1 - 4 / \pi \cdot Kc^2))$	4.274
			Lado Menor		Km.	$Kc \cdot (\pi \cdot A)^{1/2} / 2 \cdot (1 - (1 - 4 / \pi \cdot Kc^2))$	0.784
	Densidad de drenaje		Km./Km <sup>2</sup> .	Dd = Lt / At			3.723
Desnivel total de la cuenca		Km.	Ht			0.56	
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm			365	
Pendiente cuenca (Met. Rectangulo Equivalente)		%	Ht / Lma			13.10%	
Tiempo de Concentracion Kirpich		min.	$0.066 \cdot (L \cdot 0.77) \cdot (S \cdot 0.385)$			26.64	



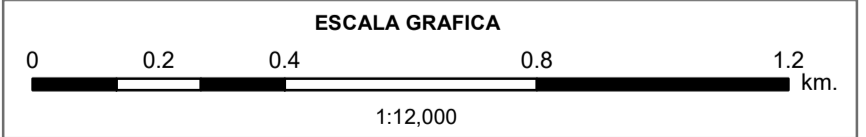


**SIMBOLOGIA**

Zona de estudio Carretera Costanera

**NIVEL DE PELIGRO**

Nivel de peligro	Rango
Peligro muy alto	0,221 ≤ P ≤ 0,394
Peligro alto	0,135 ≤ P < 0,221
Peligro medio	0,087 ≤ P < 0,135
Peligro bajo	0,062 ≤ P < 0,087



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

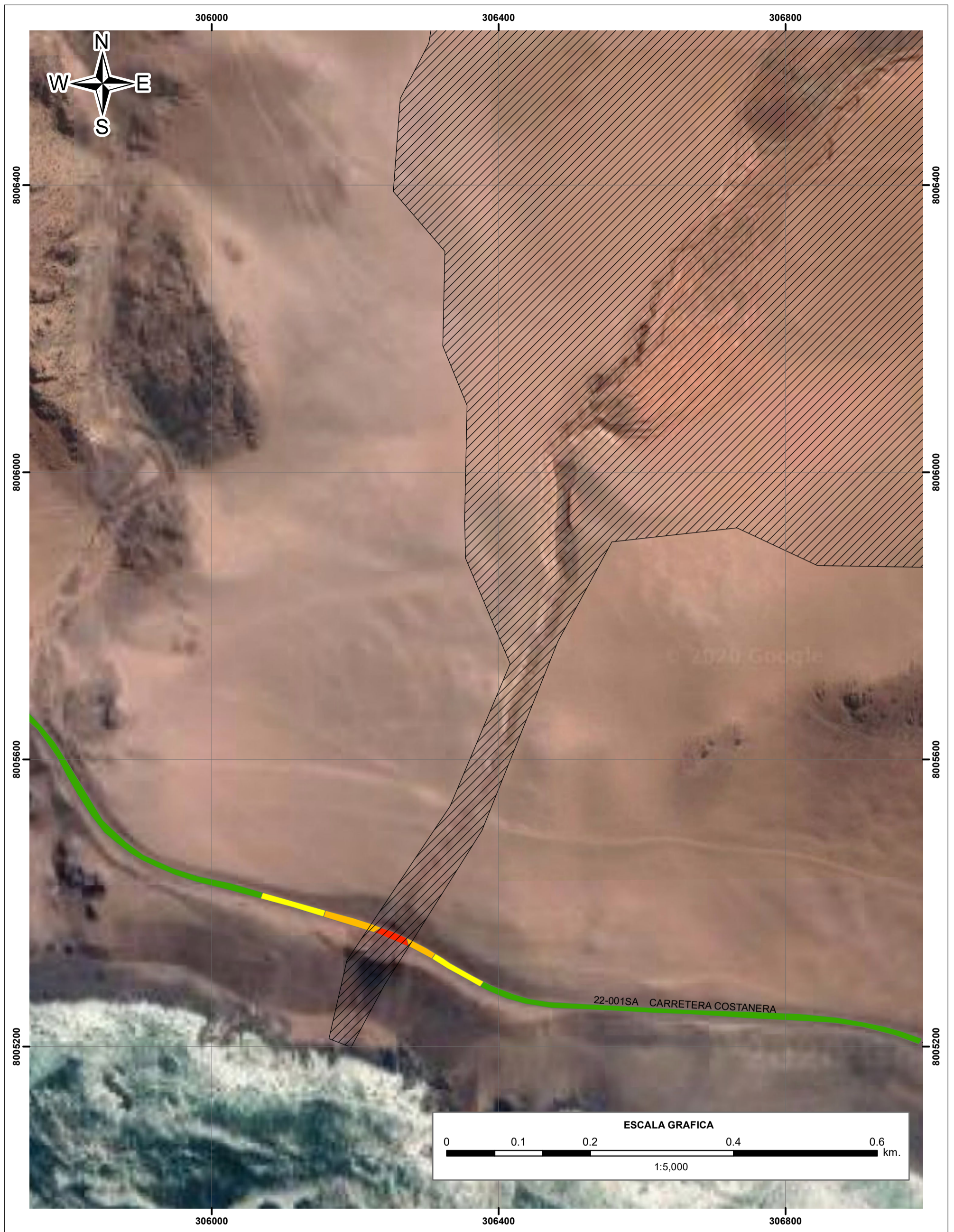
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO

ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA

DATUM : UTM WGS84 - 19 K ESCALA : Indicada Region: Tacna Provincia: Tacna

LÁMINA N°:

**MP-01**



### NIVEL DE VULNERABILIDAD

Nivel	Rangos		
Vulnerabilidad Muy Alta	0,272	$\leq v <$	0,454
Vulnerabilidad Alta	0,152	$\leq v <$	0,272
Vulnerabilidad Media	0,081	$\leq v <$	0,152
Vulnerabilidad Baja	0,041	$\leq v <$	0,081



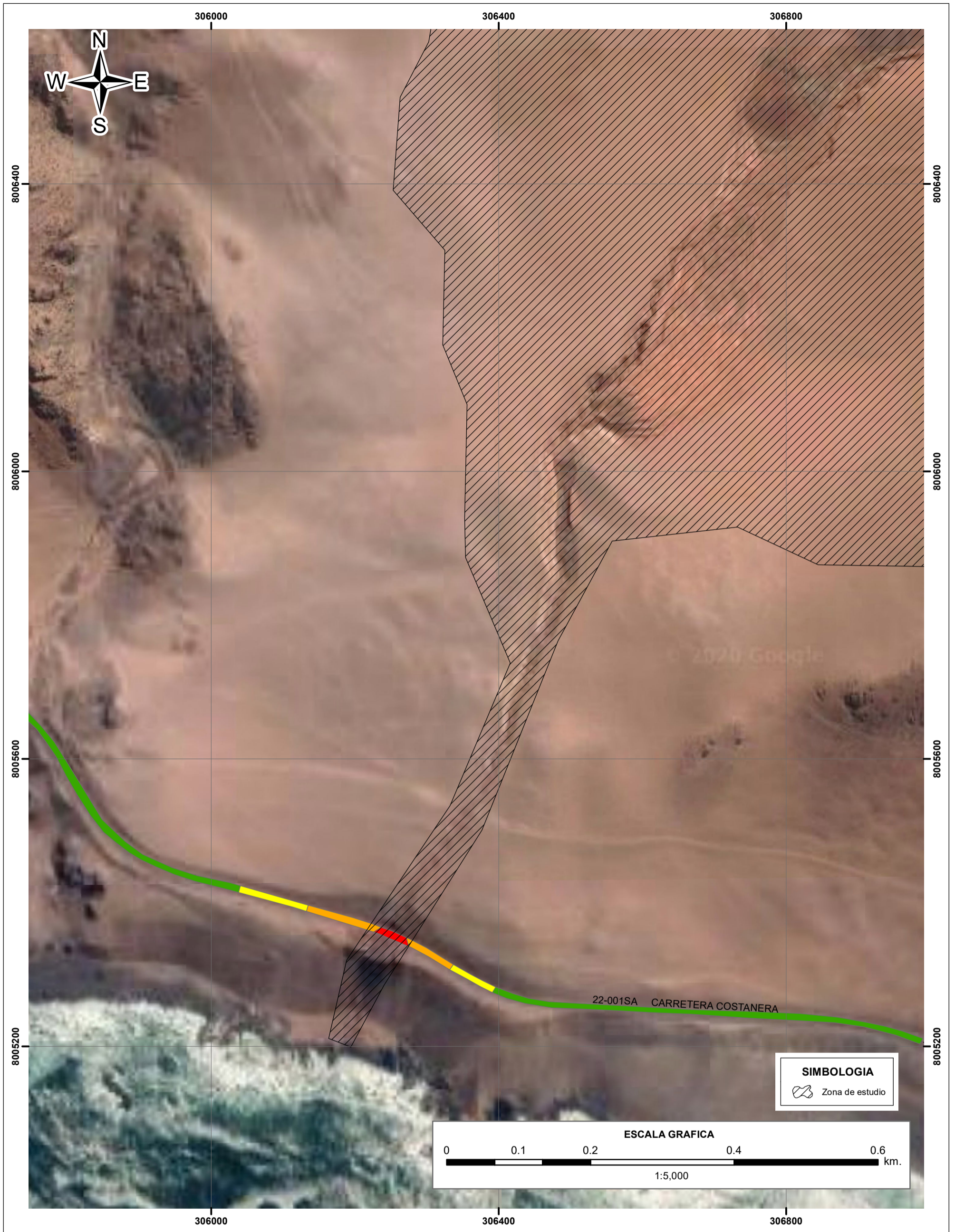
### SIMBOLOGIA

Zona de estudio

	UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA	
"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"		
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO	MAPA DE VULNERABILIDAD	
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA		
DATUM : UTM WGS84 - 19 K	ESCALA : Indicada	Region: Tacna Provincia: Tacna

LÁMINA N° :

**MV-01**



NIVEL DE RIESGO	
Nivel	Rango
Riesgo Muy alto	$0,060 \leq R < 0,179$
Riesgo Alto	$0,021 \leq R < 0,060$
Riesgo Medio	$0,007 \leq R < 0,021$
Riesgo Bajo	$0,001 \leq R < 0,007$



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA			LÁMINA N°:
"DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"			<h1>MR-01</h1>
ELABORADO POR : Bach. KAREN YAZMIN VALDIVIA GUILLERMO		MAPA DE RIESGO	
ASESOR : Ing. FREDY CABRERA OLIVERA			
DATUM : UTM WGS84 - 19 K	ESCALA : Indicada	Region: Tacna Provincia: Tacna	

## **MECÁNICA DE SUELOS**

# **GRANULOMETRÍA**

**ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**  
**MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

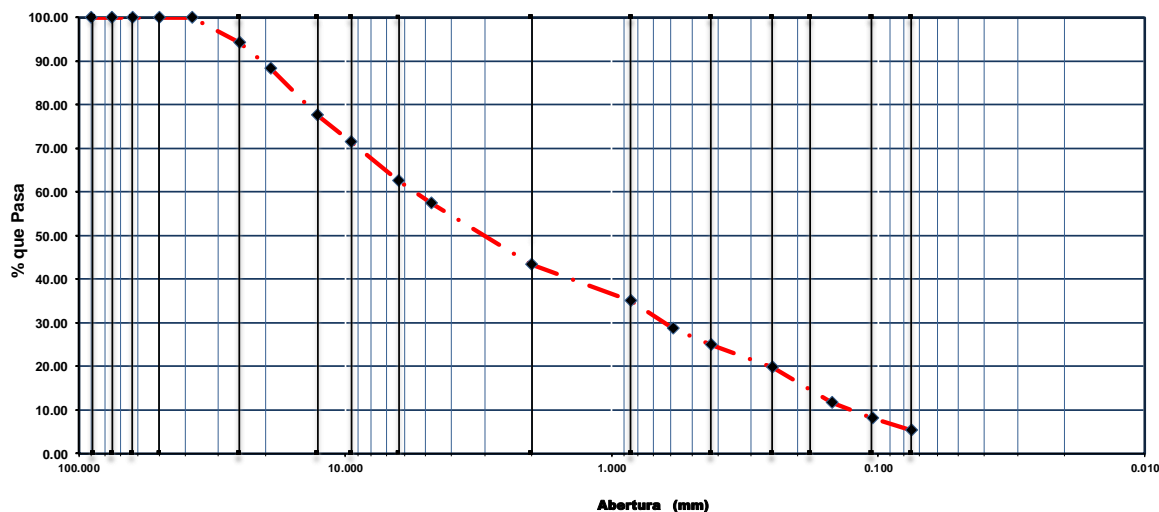
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : C - 01 **ESTRATO** : 1

**COORD. ESTE** : 307255 **COORD. NORTE** : 8006881 **FECHA** : MARZO 2019

TAMICES	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CLASIFICACION DE SUELOS	
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Grava (%)	42.74
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Arena(%)	57.26
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D10	0.13
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D30	0.65
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	D60	5.56
1"	25.000	101.00	5.75	5.75	94.25	Cc	0.58
3/4"	19.000	105.00	5.98	11.74	88.26	Cu	43.17
1/2"	12.700	190.00	10.83	22.56	77.44	SUCS	SP-SM
3/8"	9.500	107.00	6.10	28.66	71.34	AASHTO	A-2-4(0)
1/4"	6.300	155.00	8.83	37.49	62.51	<b>DESCRIPCION</b>  Arenas limosas, pobremente graduadas, como terreno de apoyo de excelente a buena.	
Nº 4	4.750	92.00	5.24	42.74	57.26		
Nº 10	2.000	246.00	14.02	56.75	43.25		
Nº 20	0.850	145.00	8.26	65.01	34.99		
Nº 30	0.590	111.00	6.32	71.34	28.66		
Nº 40	0.425	65.00	3.70	75.04	24.96		
Nº 60	0.250	93.00	5.30	80.34	19.66		
Nº 100	0.149	141.00	8.03	88.38	11.62		
Nº 140	0.105	62.00	3.53	91.91	8.09		
Nº 200	0.075	49.00	2.79	94.70	5.30		
< 200	0.073	93.00	5.30	100.00	0.00	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>	
						Limite Liquido	31.37
						Limite Plastico	24.77
						Indice de Plasticidad	6.67

**CURVA GRANULOMETRICA**

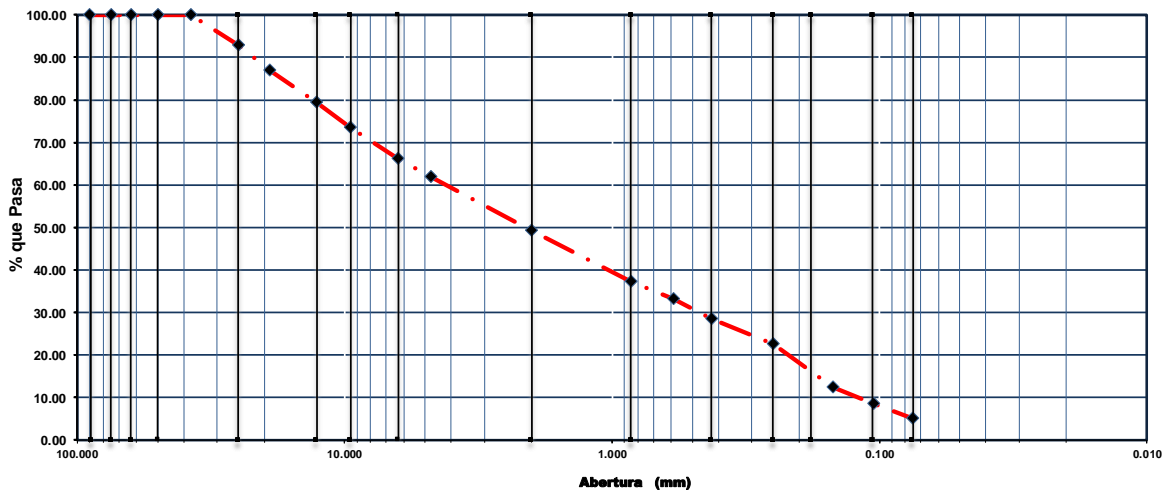


**ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**  
**MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 01 **ESTRATO** : 2  
**COORD. ESTE** : 307255 **COORD. NORTE** : 8006881 **FECHA** : MARZO 2019

TAMICES	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO		% QUE PASA	CLASIFICACION DE SUELOS	
			PARCIAL	ACUMULADO			
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Grava (%)	38.07
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Arena(%)	61.93
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D10	0.12
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D30	0.48
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	D60	4.33
1"	25.000	184.00	7.24	7.24	92.76	Cc	0.43
3/4"	19.000	147.00	5.78	13.02	86.98	Cu	35.28
1/2"	12.700	193.00	7.59	20.61	79.39	SUCS	SP-SC
3/8"	9.500	151.00	5.94	26.54	73.46	AASHTO	A-2-4(0)
1/4"	6.300	186.00	7.31	33.86	66.14	<b>DESCRIPCION</b>  Arenas arcillosas pobremente graduadas.	
Nº 4	4.750	107.00	4.21	38.07	61.93		
Nº 10	2.000	320.00	12.58	50.65	49.35		
Nº 20	0.850	309.00	12.15	62.80	37.20		
Nº 30	0.590	102.00	4.01	66.81	33.19		
Nº 40	0.425	119.00	4.68	71.49	28.51		
Nº 60	0.250	153.00	6.02	77.51	22.49		
Nº 100	0.149	259.00	10.18	87.69	12.31		
Nº 140	0.105	98.00	3.85	91.55	8.45		
Nº 200	0.075	85.00	3.34	94.89	5.11		
< 200	0.073	130.00	5.11	100.00	0.00	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>	
						Limite Liquido	17.25
						Limite Plastico	15.60
						Indice de Plasticidad	1.65

**CURVA GRANULOMETRICA**





### ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

**MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : C - 03

**ESTRATO** : 1

**COORD. ESTE** : 306768

**COORD. NORTE** : 8006368

**FECHA** : MARZO 2019

TAMICES	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CLASIFICACION DE SUELOS
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Grava (%) 57.40
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Arena(%) 42.60
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D10 0.19
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D30 1.66
1 1/2"	37.500	446.00	8.87	8.87	91.13	D60 10.72
1"	25.000	310.00	6.17	15.04	84.96	Cc 1.37
3/4"	19.000	358.00	7.12	22.16	77.84	Cu 57.41
1/2"	12.700	444.00	8.83	31.00	69.00	SUCS GW
3/8"	9.500	732.00	14.56	45.56	54.44	AASHTO A-1-a(0)
1/4"	6.300	383.00	7.62	53.18	46.82	
Nº 4	4.750	212.00	4.22	57.40	42.60	
Nº 10	2.000	528.00	10.51	67.91	32.09	
Nº 20	0.850	354.00	7.04	74.95	25.05	
Nº 30	0.590	91.00	1.81	76.76	23.24	
Nº 40	0.425	68.00	1.35	78.11	21.89	
Nº 60	0.250	111.00	2.21	80.32	19.68	
Nº 100	0.149	777.00	15.46	95.78	4.22	
Nº 140	0.105	75.00	1.49	97.27	2.73	
Nº 200	0.075	63.00	1.25	98.53	1.47	
< 200	0.073	74.00	1.47	100.00	0.00	

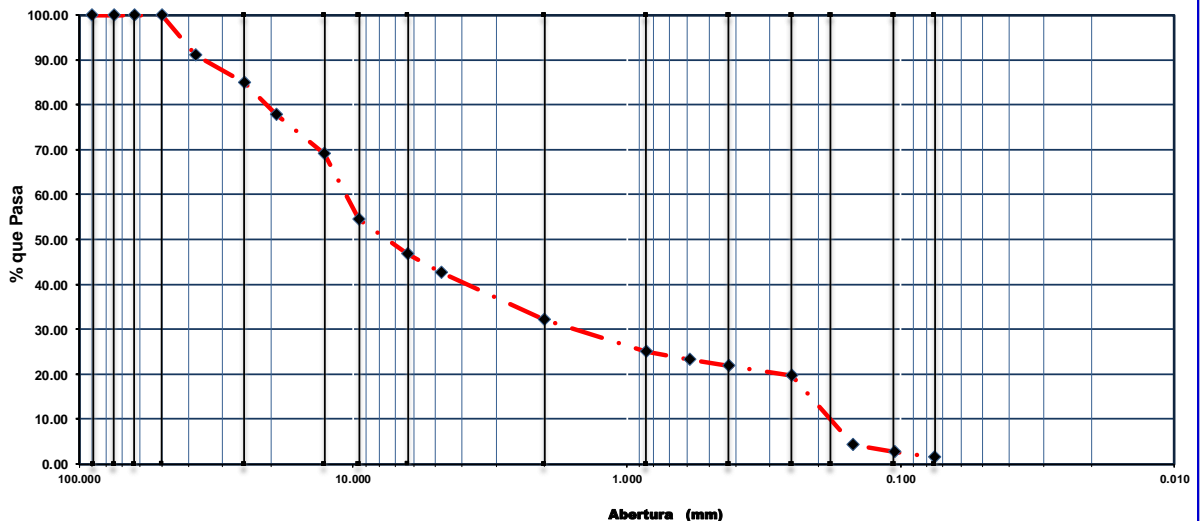
  

DESCRIPCION	
Grava bien graduada, mezclas de grava- arena, poco o ningun fino. Como terreno de apoyo de excelente a buena.	

LIMITES DE CONSISTENCIA	
Limite Liquido	N.P.
Limite Plastico	N.P.
Indice de Plasticidad	N.P.

#### CURVA GRANULOMETRICA



**ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**  
**MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

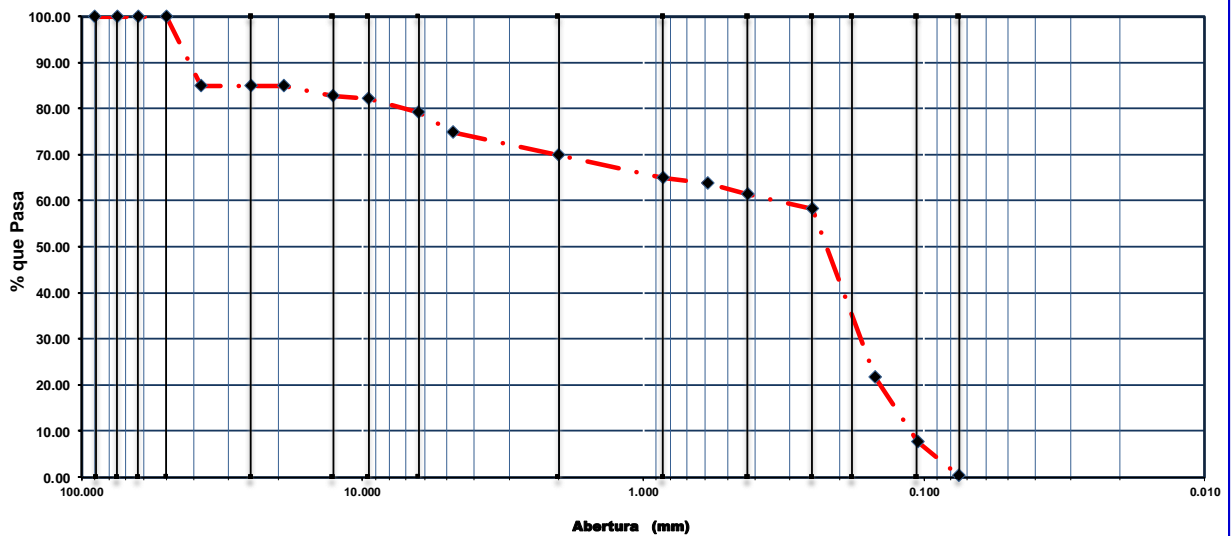
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : C - 03 **ESTRATO** : 2

**COORD. ESTE** : 306768 **COORD. NORTE** : 8006368 **FECHA** : MARZO 2019

TAMICES	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	CLASIFICACION DE SUELOS	
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Grava (%)	25.26
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	Arena(%)	74.74
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D10	0.11
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	D30	0.17
1 1/2"	37.500	101.00	15.10	15.10	84.90	D60	0.35
1"	25.000	0.00	0.00	15.10	84.90	Cc	0.76
3/4"	19.000	0.00	0.00	15.10	84.90	Cu	3.07
1/2"	12.700	14.00	2.09	17.19	82.81	SUCS	SP
3/8"	9.500	4.00	0.60	17.79	82.21	AASHTO	A-3(0)
1/4"	6.300	20.00	2.99	20.78	79.22	<b>DESCRIPCION</b> Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poca o ninguna presencia de finos.	
Nº 4	4.750	30.00	4.48	25.26	74.74		
Nº 10	2.000	32.00	4.78	30.04	69.96		
Nº 20	0.850	34.00	5.08	35.13	64.87		
Nº 30	0.590	8.00	1.20	36.32	63.68		
Nº 40	0.425	15.00	2.24	38.57	61.43		
Nº 60	0.250	21.00	3.14	41.70	58.30		
Nº 100	0.149	245.00	36.62	78.33	21.67		
Nº 140	0.105	94.00	14.05	92.38	7.62		
Nº 200	0.075	49.00	7.32	99.70	0.30		
< 200	0.073	2.00	0.30	100.00	0.00	<b>LIMITES DE CONSISTENCIA</b>	
						Limite Liquido	N.P.
						Limite Plastico	N.P.
						Indice de Plasticidad	N.P.

**CURVA GRANULOMETRICA**





**ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO**  
**MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 02  
**COORD. ESTE** : 306506 **COORD. NORTE** : 8006057 **FECHA** : MARZO 2019

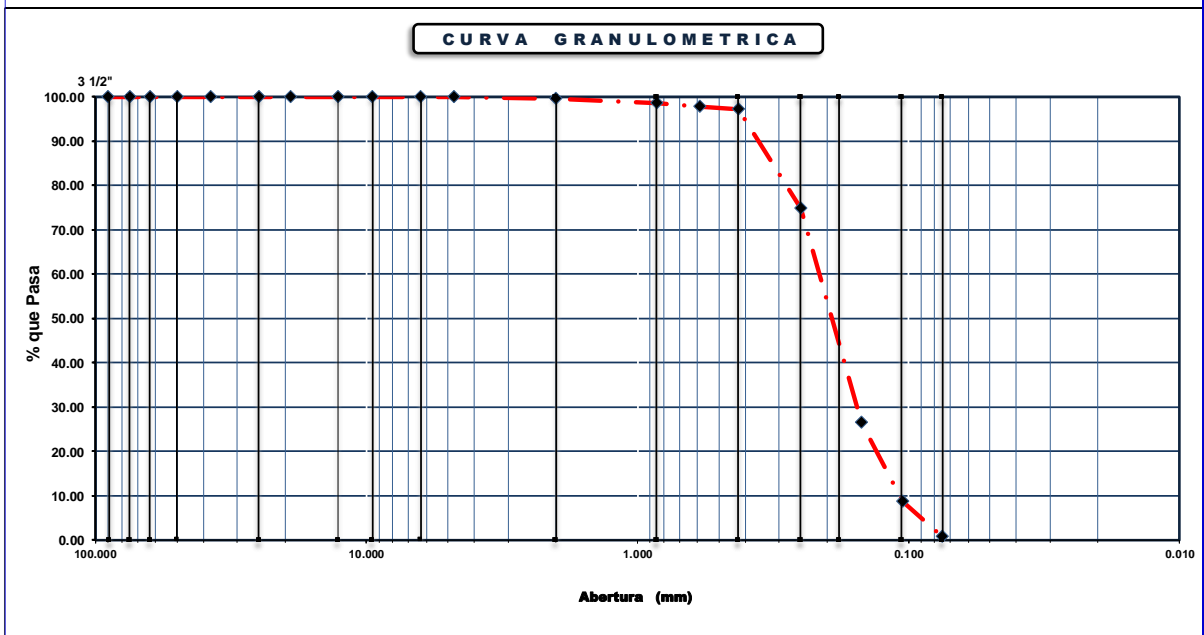
TAMICES	ABERTURA MALLA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.300	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 10	2.000	2.00	0.44	0.44	99.56
Nº 20	0.850	5.00	1.11	1.56	98.44
Nº 30	0.590	3.00	0.67	2.22	97.78
Nº 40	0.425	3.00	0.67	2.89	97.11
Nº 60	0.250	101.00	22.44	25.33	74.67
Nº 100	0.149	217.00	48.22	73.56	26.44
Nº 140	0.105	80.00	17.78	91.33	8.67
Nº 200	0.075	36.00	8.00	99.33	0.67
< 200	0.073	3.00	0.67	100.00	0.00

CLASIFICACION DE SUELOS	
Grava (%)	0.00
Arena(%)	100.00
D10	0.11
D30	0.16
D60	0.22
Cc	1.03
Cu	2.02
SUCS	SP
AASHTO	A-3(0)

**DESCRIPCION**

Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poca o ninguna presencia de finos.

LIMITES DE CONSISTENCIA	
Limite Liquido	N.P.
Limite Plastico	N.P.
Indice de Plasticidad	N.P.







## **LÍMITES DE CONSISTENCIA**

### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

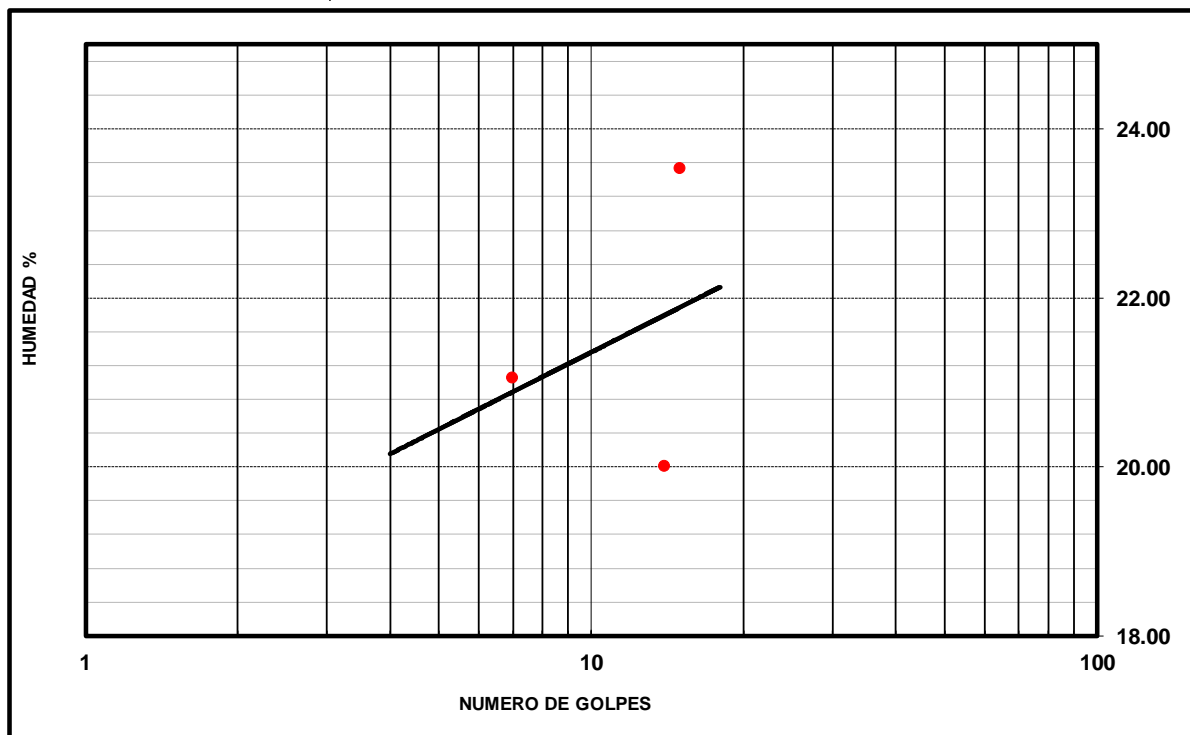
**MUESTRA** : C - 01 (ESTRATO 1)

**COORD. ESTE** : 307255

**COORD. NORTE** : 8006881

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°									
N° DE GOLPES		15	7	14	-	-	-	Limite Liquido (%)	31.37
N° TARA		M-1	M-3	M-2	T-1	T-15	T-18	Limite Plastico (%)	24.70
PESO DE LA TARA	gr.	4.00	4.00	4.00	10.90	11.00	11.00	Indice de Plasticidad (%)	6.67
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	25.00	27.00	28.00	16.00	16.00	17.00		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	21.00	23.00	24.00	15.00	15.00	16.00		
PESO DEL AGUA	gr.	4.00	4.00	4.00	1.00	1.00	1.00		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	17.00	19.00	20.00	4.10	4.00	5.00		
HUMEDAD	%	23.53	21.05	20.00	24.39	25.00	20.00		



### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

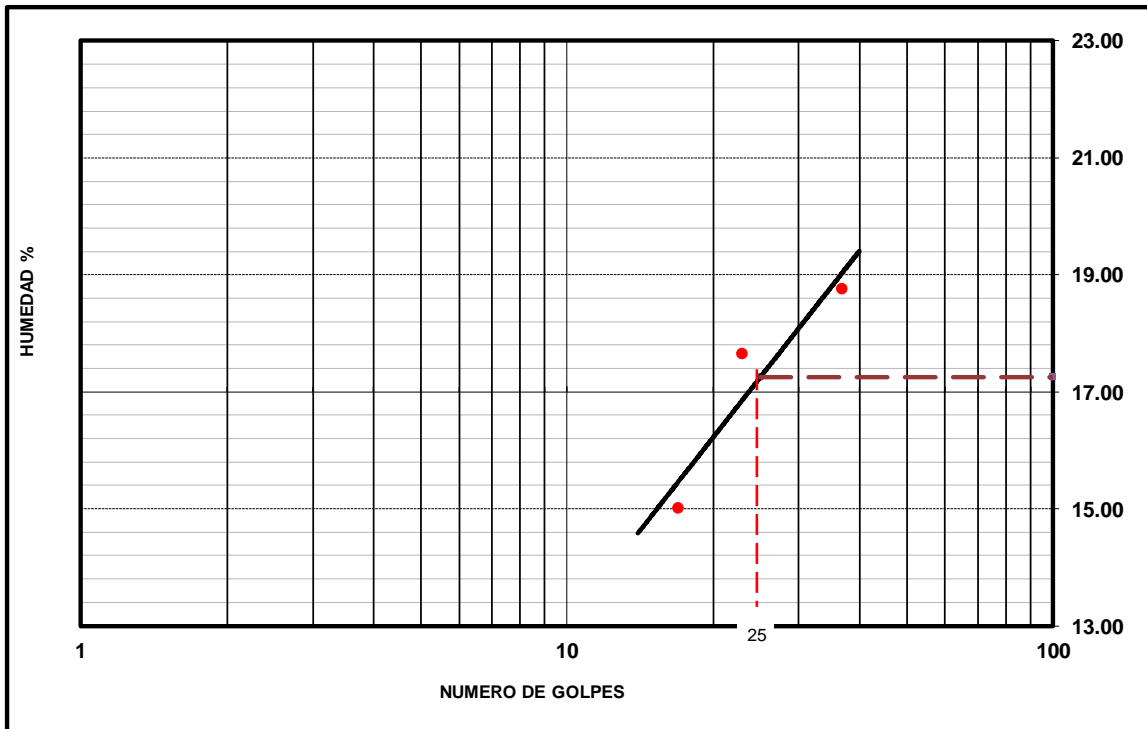
**MUESTRA** : C - 01 (ESTRATO 2)

**COORD. ESTE** : 307255

**COORD. NORTE** : 8006881

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°		17	23	37	-	-	-	Limite Liquido (%)	17.25
N° DE GOLPES		M-4	M-5	M-6	T-2	T-4	T-6	Limite Plastico (%)	15.60
N° TARA		4.00	4.00	4.00	11.10	11.00	4.00	Indice de Plasticidad (%)	1.65
PESO DE LA TARA	gr.	27.00	24.00	23.00	15.00	14.00	7.00		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	24.00	21.00	20.00	14.60	13.60	6.50		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	3.00	3.00	3.00	0.40	0.40	0.50		
PESO DEL AGUA	gr.	20.00	17.00	16.00	3.50	2.60	2.50		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	15.00	17.65	18.75	11.43	15.38	20.00		
HUMEDAD	%								



**LIMITES DE ATTERBERG**  
**ASTM D 4318, AASHTO T 89**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

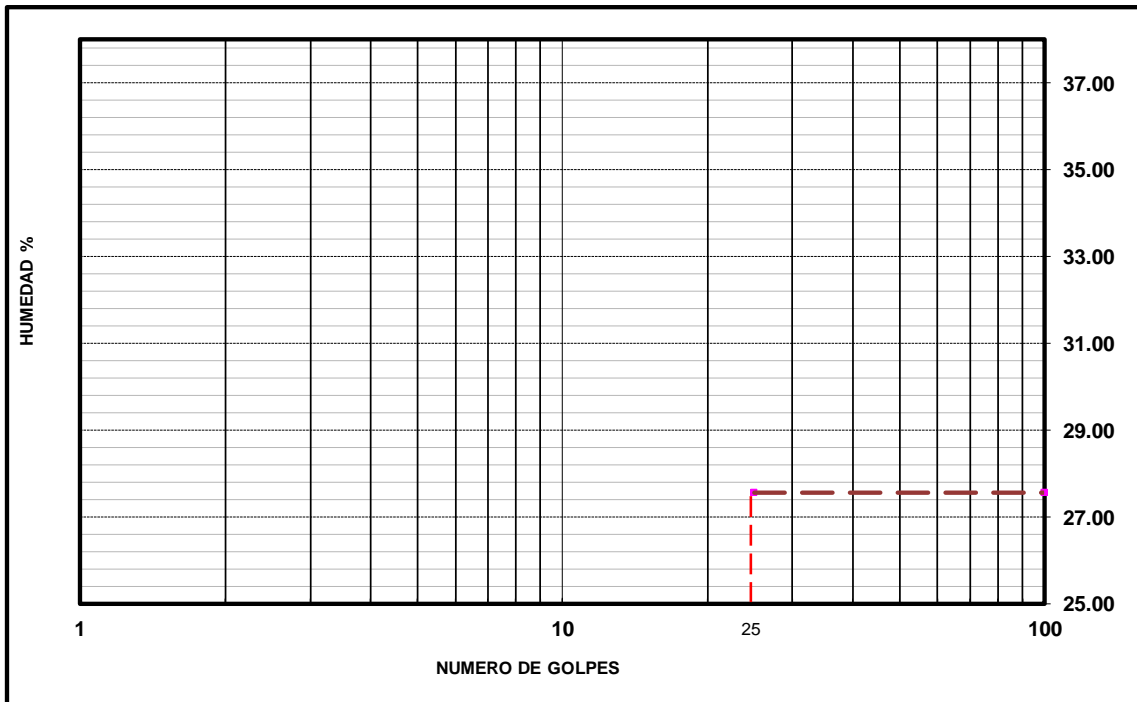
**MUESTRA** : C - 02

**COORD. ESTE** : 306728

**COORD. NORTE** : 8006518

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

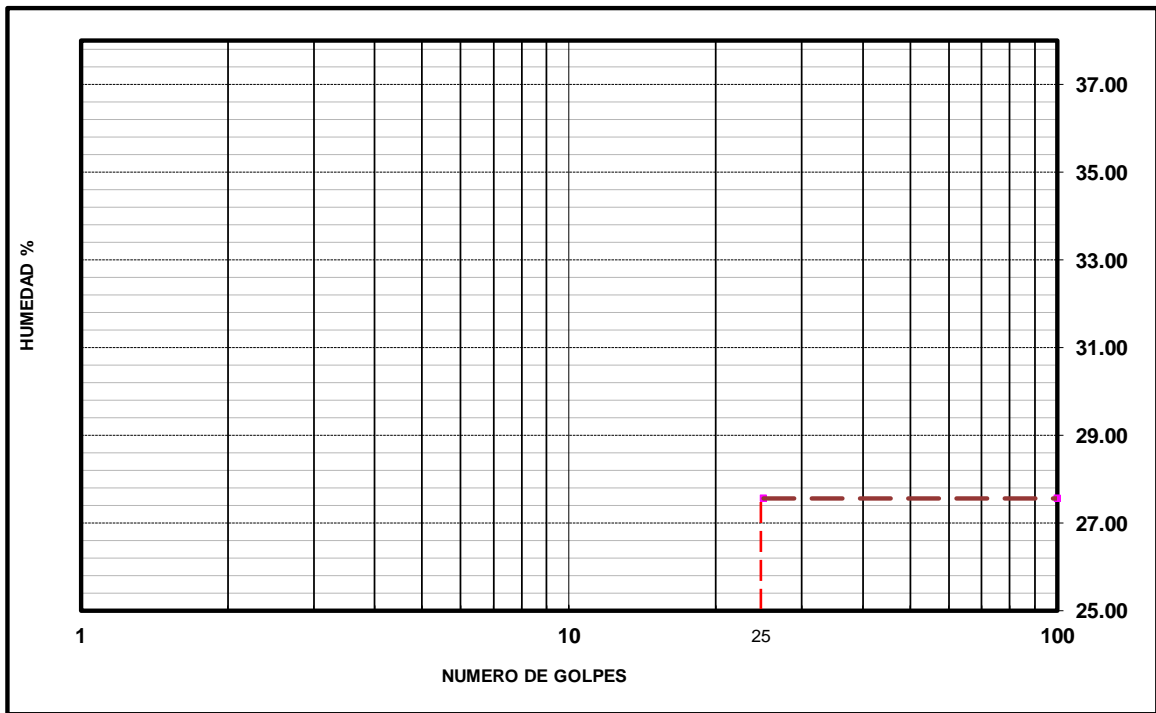
**MUESTRA** : C - 03 (ESTRATO 1)

**COORD. ESTE** : 306768

**COORD. NORTE** : 8006368

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

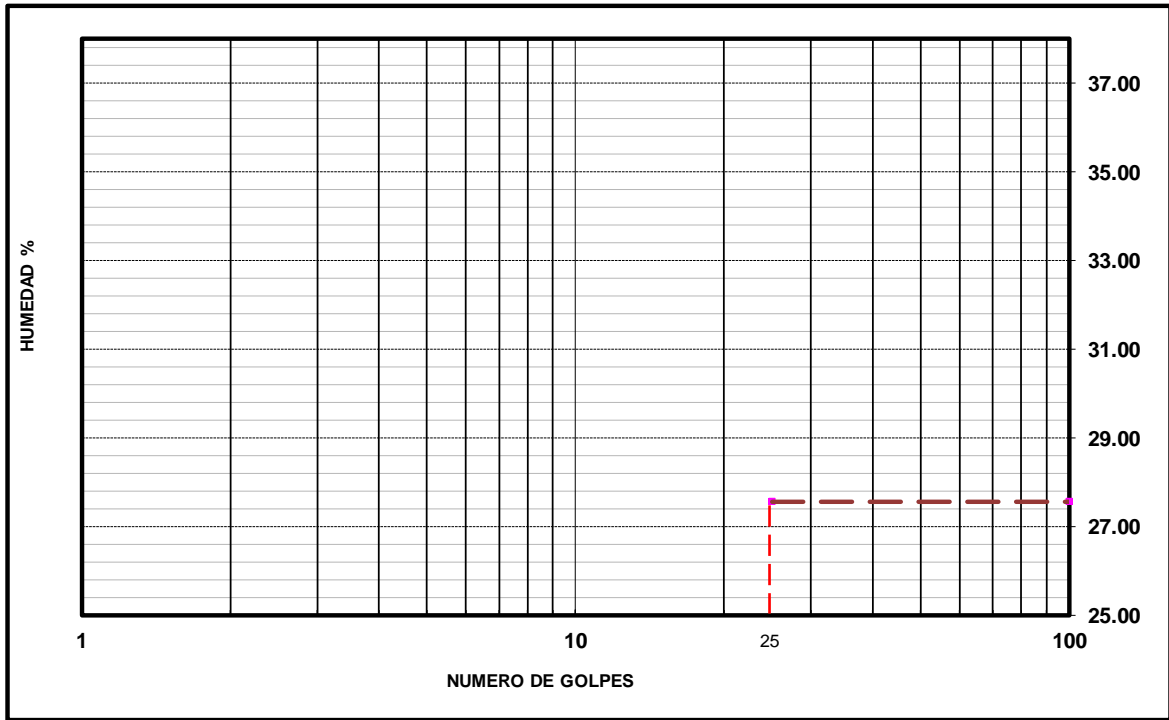
**MUESTRA** : C - 03 (ESTRATO 2)

**COORD. ESTE** : 306768

**COORD. NORTE** : 8006368

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : T - 01

**COORD. ESTE** : 306602

**COORD. NORTE** : 8006197

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



**LIMITES DE ATTERBERG**  
**ASTM D 4318, AASHTO T 89**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : T - 02

**COORD. ESTE** : 306506

**COORD. NORTE** : 8006057

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



**LIMITES DE ATTERBERG  
 ASTM D 4318, AASHTO T 89**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

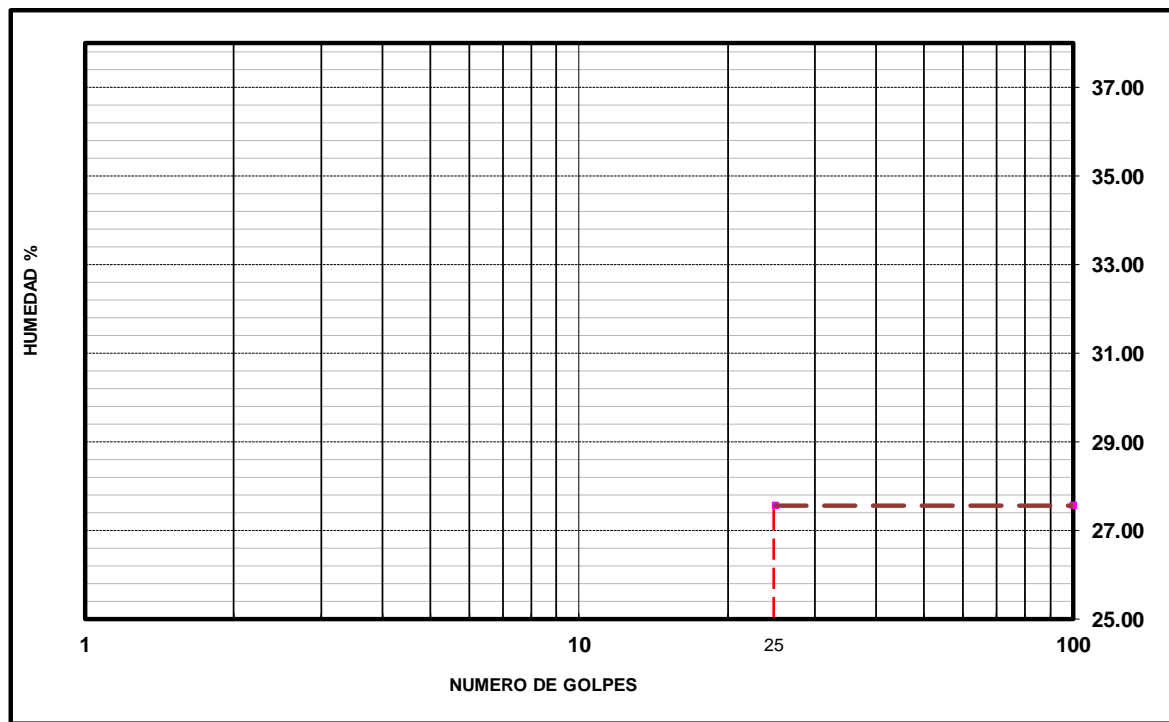
**MUESTRA** : T - 03

**COORD. ESTE** : 306361

**COORD. NORTE** : 8005529

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°									
N° DE GOLPES								Limite Liquido (%)	N.P.
N° TARA								Limite Plastico (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.							Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



### LIMITES DE ATTERBERG ASTM D 4318, AASHTO T 89

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

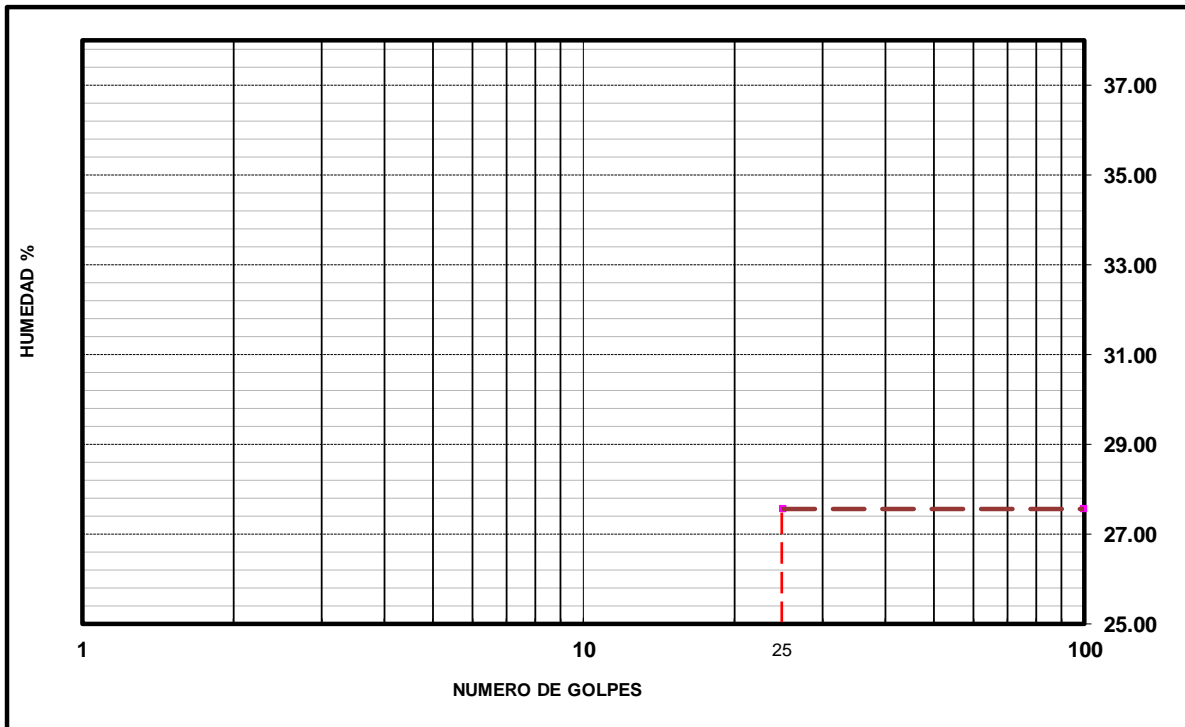
**MUESTRA** : T - 04

**COORD. ESTE** : 306282

**COORD. NORTE** : 8005408

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO			RESULTADOS	
		01	02	03	01	02	03		
ENSAYO N°								Limite Liquido (%)	N.P.
N° DE GOLPES								Limite Plastico (%)	N.P.
N° TARA								Indice de Plasticidad (%)	N.P.
PESO DE LA TARA	gr.								
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.								
PESO SUELO SECO + TARA	gr.								
PESO DEL AGUA	gr.								
PESO DEL SUELO SECO	gr.								
HUMEDAD	%								



## **HUMEDAD NATURAL**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 01  
**COORD. ESTE** : 307255 **COORD. NORTE** : 8006881 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		Z-02	Z-01	
PESO DE LA TARA	gr.	70.00	71.00	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	107.00	109.00	
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	105.00	108.00	
PESO DEL AGUA	gr.	2.00	1.00	
PESO DEL SUELO SECO	gr.	35.00	37.00	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	5.71	2.70	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 02  
**COORD. ESTE** : 306728 **COORD. NORTE** : 8006518 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		T - 01		
PESO DE LA TARA	gr.	10.90		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	19.90		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	19.00		
PESO DEL AGUA	gr.	0.90		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	8.10		
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	11.11		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 03  
**COORD. ESTE** : 306728      **COORD. NORTE** : 8006368      **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		Z - 01	T - 02	
PESO DE LA TARA	gr.	71.00	11.00	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	106.00	18.00	
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	105.50	17.70	
PESO DEL AGUA	gr.	0.50	0.30	
PESO DEL SUELO SECO	gr.	34.50	6.70	
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.45	4.48	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 01  
**COORD. ESTE** : 306602      **COORD. NORTE** : 8006197      **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		Z-01		
PESO DE LA TARA	gr.	71.00		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	75.40		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	75.00		
PESO DEL AGUA	gr.	0.40		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	4.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	10.00		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 02  
**COORD. ESTE** : 306506      **COORD. NORTE** : 8006057      **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		T-02		
PESO DE LA TARA	gr.	11.10		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	15.50		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	15.00		
PESO DEL AGUA	gr.	0.50		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	3.90		
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	12.82		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 03  
**COORD. ESTE** : 306361      **COORD. NORTE** : 8005529      **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		Z-02		
PESO DE LA TARA	gr.	70.00		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	80.50		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	80.00		
PESO DEL AGUA	gr.	0.50		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	10.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	5.00		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**HUMEDAD NATURAL**  
**ASTM D 2216**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 04  
**COORD. ESTE** : 306282      **COORD. NORTE** : 8005408      **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
TARA Nº		T-01		
PESO DE LA TARA	gr.	10.90		
PESO SUELO HUMEDO + TARA	gr.	15.70		
PESO SUELO SECO + TARA	gr.	15.40		
PESO DEL AGUA	gr.	0.30		
PESO DEL SUELO SECO	gr.	4.50		
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	6.67		

**PESOS UNITARIOS**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 01  
**COORD. ESTE** : 307255 **COORD. NORTE** : 8006881 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		C - 01 (ESTRATO 1)					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11957	11977	11945	12490	12502	12500
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4767	4787	4755	5300	5312	5310
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.610	1.617	1.606	1.791	1.795	1.794
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.611</b>			<b>1.793</b>		

MUESTRA		C - 01 (ESTRATO 2)					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
N° DE ENSAYO		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	12181	12197	12231	12678	12747	12797
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4991	5007	5041	5488	5557	5607
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.686	1.692	1.703	1.854	1.877	1.894
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.694</b>			<b>1.875</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 02  
**COORD. ESTE** : 306728 **COORD. NORTE** : 8006518 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		C- 02					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11967	11902	11984	12271	12471	12436
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4777	4712	4794	5081	5281	5246
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.614	1.592	1.620	1.717	1.784	1.772
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.608</b>			<b>1.758</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 03  
**COORD. ESTE** : 306768 **COORD. NORTE** : 8006368 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		C - 03 (ESTRATO 1)					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	13033	13080	13052	13385	13285	13385
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	5843	5890	5862	6195	6095	6195
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.974	1.990	1.980	2.093	2.059	2.093
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.981</b>			<b>2.082</b>		

MUESTRA		C - 03 (ESTRATO 2)					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
N° DE ENSAYO		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	12389	12391	12389	12848	12858	12862
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	5199	5201	5199	5658	5668	5672
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.756	1.757	1.756	1.912	1.915	1.916
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.757</b>			<b>1.914</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 01  
**COORD. ESTE** : 306602 **COORD. NORTE** : 8006197 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		T - 01					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11512	11508	11514	12042	12050	12040
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4322	4318	4324	4852	4860	4850
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.460	1.459	1.461	1.639	1.642	1.639
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.460</b>			<b>1.640</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 02  
**COORD. ESTE** : 306506 **COORD. NORTE** : 8006057 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		T - 02					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11542	11562	11587	12052	12075	12107
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4352	4372	4397	4862	4885	4917
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.470	1.477	1.485	1.643	1.650	1.661
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.478</b>			<b>1.651</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 03  
**COORD. ESTE** : 306361 **COORD. NORTE** : 8005529 **FECHA** : MARZO 2019

MUESTRA		T - 03					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11507	11510	11507	12041	12042	12041
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4317	4320	4317	4851	4852	4851
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.458	1.459	1.458	1.639	1.639	1.639
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.459</b>			<b>1.639</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESOS UNITARIOS**  
**ASTM C 29**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 04  
**COORD. ESTE** : 306282                      **COORD. NORTE** : 8005408                      **FECHA** : MARZO 2019

<b>MUESTRA</b>		<b>T - 04</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	MINIMA			MAXIMA		
ENSAYO N°		01	02	03	01	02	03
PESO DEL MOLDE	gr.	7190	7190	7190	7190	7190	7190
VOLUMEN DEL MOLDE	cc.	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97	2959.97
PESO MOLDE + MUESTRA	gr.	11510	11507	11509	12038	12040	12040
PESO DE MUESTRA NETA	gr.	4320	4317	4319	4848	4850	4850
PESOS UNITARIOS	gr./cc.	1.459	1.458	1.459	1.638	1.639	1.639
<b>PESO UNITARIO PROMEDIO</b>	<b>gr./cc.</b>	<b>1.459</b>			<b>1.638</b>		

## **PESO ESPECÍFICO**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**PESO ESPECIFICO DE FRACCION GRUESA**

**ASTM C 127**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 03  
**COORD. ESTE** : 306768 **COORD. NORTE** : 8006368 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
Peso muestra seca en el aire	A gr	1217.00	645.00	
Peso muestra saturada superficialmente seca (SSS)	B gr.	1800.00	1450.00	
Peso muestra SSS sumergida en el agua	C gr	1232.00	652.00	
<b>PESO ESPECIFICO DE MASA (Pem)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>2.143</b>	<b>92.143</b>	
<b>PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADA (PeSSS)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>3.169</b>	<b>1.817</b>	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE (Pea)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>2.143</b>	<b>0.808</b>	
<b>ABSORCION (Ab)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>0.479</b>	<b>1.248</b>	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS**

**ASTM C-128**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : C - 01  
**COORD. ESTE** : 307255 **COORD. NORTE** : 8006881 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	509.00	517.00	
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00	654.00	
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1163.00	1171.00	
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	970.00	933.00	
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	193.00	238.00	
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	495.00	435.00	
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	179.00	156.00	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.565</b>	<b>1.828</b>	
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.637</b>	<b>2.172</b>	
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.765</b>	<b>2.788</b>	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA				
<b>ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS</b> <b>ASTM C-128</b>				
<b>PROYECTO</b> : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"				
<b>UBICACIÓN</b> : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA				
<b>MUESTRA</b> : C - 02				
<b>COORD. ESTE</b> : 306728		<b>COORD. NORTE</b> : 8006518		<b>FECHA</b> : MARZO 2019
DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	501.00		
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00		
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1155.00		
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	966.00		
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	189.00		
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	495.00		
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	183.00		
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.619</b>		
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.651</b>		
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.705</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA				
<b>ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS</b> <b>ASTM C-128</b>				
<b>PROYECTO</b> : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"				
<b>UBICACIÓN</b> : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA				
<b>MUESTRA</b> : C - 03				
<b>COORD. ESTE</b> : 306768		<b>COORD. NORTE</b> : 8006368		<b>FECHA</b> : MARZO 2019
DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	503.00	501.00	
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00	654.00	
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1157.00	1155.00	
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	974.00	969.00	
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	183.00	186.00	
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	513.00	491.00	
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	193.00	176.00	
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.803</b>	<b>2.640</b>	
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.749</b>	<b>2.694</b>	
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.658</b>	<b>2.790</b>	

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS  
 ASTM C-128**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : T - 01

**COORD. ESTE** : 306602

**COORD. NORTE** : 8006197

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	509.00		
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00		
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1163.00		
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	970.00		
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	193.00		
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	495.00		
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	179.00		
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.565</b>		
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.637</b>		
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.765</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS  
 ASTM C-128**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"

**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA

**MUESTRA** : T - 02

**COORD. ESTE** : 306506

**COORD. NORTE** : 8006057

**FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	500.00		
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00		
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1154.00		
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	963.00		
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	191.00		
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	502.00		
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	193.00		
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.628</b>		
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.618</b>		
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.601</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS  
 ASTM C-128**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 03  
**COORD. ESTE** : 306361 **COORD. NORTE** : 8005529 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	509.00		
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00		
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1163.00		
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	970.00		
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	193.00		
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	495.00		
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	179.00		
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.565</b>		
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.637</b>		
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.765</b>		

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, ARQUITECTURA Y GEOTECNIA  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA- GEOTECNIA

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO DE FINOS  
 ASTM C-128**

**PROYECTO** : "DETERMINACION DEL NIVEL DE RIESGO ANTE OCURRENCIA DE FLUJO DE LODO EN LA QUEBRADA SIN NOMBRE, DISTRITO SAMA LAS YARAS- REGION TACNA"  
**UBICACIÓN** : DISTRITO SAMA LAS YARAS - PROVINCIA TACNA - REGION TACNA  
**MUESTRA** : T - 04  
**COORD. ESTE** : 306282 **COORD. NORTE** : 8005408 **FECHA** : MARZO 2019

DESCRIPCION	UNIDAD	ESTRATO		
		1	2	3
PESO MATERIAL SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	gr.	509.00		
PESO FIOLA + AGUA	gr.	654.00		
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL	gr.	1163.00		
PESO DEL MAT. + AGUA EN LA FIOLA	gr.	970.00		
VOL. DE MASA + VOL. DE VACIOS	gr.	193.00		
PESO DE MATERIAL SECO EN ESTUFA	gr/cc.	495.00		
VOLUMEN DE MASA	gr/cc.	179.00		
<b>PESO ESPECIFICO APARENTE</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.565</b>		
<b>PESO ESPECIFICO NOMINAL</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.637</b>		
<b>ABSORCION</b>	<b>gr/cc.</b>	<b>2.765</b>		

## **HIDROLOGIA**

## Registro de precipitaciones de la Estación Ite

**Cod. Estac:** 117012  
**Parámetro :** Precipitación max. 24 horas (mm)

**Longitud :** 70°57'6.1" W  
**Latitud :** 17°51'36.3 S  
**Altitud :** 166 m.s.n.m.

**Dpto.** TACNA  
**Prov.** JORGE BASADRE  
**Dist.** ITE

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MÁX.	TOTAL
1965	0	0	0.1	0	0.1	0.2	2.4	13.6	17	0.4	0	0.2	17.0	34.0
1966	0	0	0.5	0.5	0	0.1	0.1	2.3	0	0.1	0.3	0	2.3	3.9
1967	0	0	0	0	0.1	0	1.2	3.9	1.2	6.6	0	0	6.6	13.0
1968	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1	5.7	0.1	0	5.7	7.5
1969	0	0	0.1	0.1	0.1	13.3	4.5	1.9	8.9	0.6	0.2	0	13.3	29.7
1970	0	0	0	0	0	0.1	7.5	0	5.5	0	0	0	7.5	13.1
1971	0	0	0	0	0.7	0	0	25.8	0.1	0	0	0	25.8	26.6
1972	0	0	0	0	0	0	31.5	2.5	12.2	33	5	0.9	33.0	85.1
1973	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1
1974	0.1	0	0	0	0	0	0.1	7.7	0.1	0	0	0	7.7	8.0
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.1	0.2
1976	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.6	2.1	0.1	1.6	0	0	0	2.1	4.8
1977	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	1.3	1.3	2.6
1978	0	5.2	0	0	0	0.5	0	3.5	0	1.6	0.4	0	5.2	11.2
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0.5	1.0
1980	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0	2.0
1981	1.5	0	0	0	0	0	0	1.5	1	0	0	0	1.5	4.0
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9	0	5.2	24.6	24.6	34.7
1983	30.2	2.4	0	0	10.2	2.3	4.4	11.5	3.4	0.5	0	0	30.2	64.9
1984	0	0	0	0	0	1.1	0	3.5	0	2.1	0	0	3.5	6.7
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0.4	0	0	3.3	3.7
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8	0	0	0	5.8	5.8
1987	0	0	0	0	0	0	9.9	0	0	0	0	0	9.9	9.9
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	8.5	0	0	1.1	8.5	9.6
1989	0	0	0	0	0	0	0	3.2	2.6	0	0.5	1.1	3.2	7.4
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.7	6.7	6.7
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	1.3	1.7	3.0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
1993	0	0	0	0	12.5	10.1	7.1	1.2	0	0	0	0	12.5	30.9
1994	0	0	0	0	0	0.4	0.1	0.9	1.8	1.6	0	0	1.8	4.8
1995	0	0	1.3	0	0	0	0	0	6.2	0	0	0	6.2	7.5
1996	0	0	0	0	0	0	0	3.9	0	0	0	0	3.9	3.9
1997	0.3	1	0	0	2.5	0.2	7.1	4.3	33.1	0	2.2	1.6	33.1	52.3
1998	41.9	0	0	0	0	0	0	2.2	0	0.5	0	0.2	41.9	44.8
1999	0	0	0.1	0	0	S/D	0	S/D	0.2	0.4	1.5	0	1.5	2.2
2000	0.2	0	0.1	0	0	S/D	0	1.4	S/D	2.3	0	S/D	2.3	4.0
2001	0.8	0	0	0	0	0	0	0.8	6.2	0	S/D	0	6.2	7.8
2002	0	0	0.2	0.4	0	S/D	18.5	4	1.3	0.2	0	0.1	18.5	24.7
2003	0.2	0	S/D	S/D	1.2	0	0.7	2.1	5.2	0.9	0	0	5.2	10.3
2004	0	0	0	0	0	0	4	2.8	0	0.5	0	0	4.0	7.3
2005	0	0	0	0	0	0	0	1.3	4.1	0	0	0	4.1	5.4
2006	0	0	1.1	0	0	1.1	0	5.1	1	0	0	2.6	5.1	10.9
2007	0	0	0	0	0	0	0	7.2	5.5	0	0	0	7.2	12.7
2008	2.8	0	0	0	0	0.9	0	1.6	2.9	0.8	0	0	2.9	9.0
2009	0	0	0	0	0.2	0	3.4	0	3.1	1.5	3.4	0.1	3.4	11.7
2010	0	0	0	0	0.9	1.7	0	0	0.7	0	0	0	1.7	3.3
2011	0.3	0	0	0	0	2.8	8.1	3.9	1.1	0.1	0	0	8.1	16.3
2012	1.3	0	0	0.3	0	0	0	4.2	2	1.3	0.7	0	4.2	12.5
2013	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1.9	0	0	0.4	1.9	2.6
2014	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.3	3.1	2.1	0.8	2.8	3.1	9.1
2015	0	0.2	0	0	0	0	2.5	6.2	2.5	7.6	0	0	7.6	19.0
2016	1.4	0.2	0	0.6	0	0.8	2.2	0.2	0	0.8	0	0	2.2	6.2
2017	0.4	0	0	0	2.5	0	11.7	0.5	8.7	0.5	4.4	0	11.7	28.7
2018	0	0.6	0	0	0	1	3.2	0	0.7	5.5	0	0	5.5	11.0
2019	0.7	0.2	0	0	0	0	9.2	0.1	16.8	2.1	0.9	0	16.8	30.0
<b>PROM.</b>	1.5	0.2	0.1	0.1	0.6	0.7	2.7	2.5	3.4	1.5	0.5	0.9	8.2	14.3
<b>DESV.</b>	6.9	0.8	0.2	0.3	2.2	2.3	5.5	4.3	5.7	4.6	1.2	3.5	9.4	16.7
<b>MAX.</b>	41.9	5.2	1.3	2.0	12.5	13.3	31.5	25.8	33.1	33.0	5.2	24.6	41.9	85.1
<b>MIN.</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

S/D: Sin datos  
 Fuente: SENAMHI

## Análisis de datos dudosos

Nº	AÑO			ORDEN	P24	log(P24)
1	1965	8	1	8	17.0	1.2304
2	1966	40	1	40	2.3	0.3617
3	1967	21	1	21	6.6	0.8195
4	1968	25	1	25	5.7	0.7559
5	1969	10	1	10	13.3	1.1239
6	1970	18	1	18	7.5	0.8751
7	1971	5	1	5	25.8	1.4116
8	1972	3	1	3	33.0	1.5185
9	1973	53	1	53	0.1	(1.0000)
10	1974	16	1	16	7.7	0.8865
11	1975	53	2	54	0.1	(1.0000)
12	1976	43	1	43	2.1	0.3222
13	1977	51	1	51	1.3	0.1139
14	1978	27	1	27	5.2	0.7160
15	1979	52	1	52	0.5	(0.3010)
16	1980	44	1	44	2.0	0.3010
17	1981	49	1	49	1.5	0.1761
18	1982	6	1	6	24.6	1.3909
19	1983	4	1	4	30.2	1.4800
20	1984	34	1	34	3.5	0.5441
21	1985	36	1	36	3.3	0.5185
22	1986	24	1	24	5.8	0.7634
23	1987	13	1	13	9.9	0.9956
24	1988	14	1	14	8.5	0.9294
25	1989	37	1	37	3.2	0.5051
26	1990	20	1	20	6.7	0.8261
27	1991	47	1	47	1.7	0.2304
28	1992	55	1	55	<b>0.0</b>	-
29	1993	11	1	11	12.5	1.0969
30	1994	46	1	46	1.8	0.2553
31	1995	22	1	22	6.2	0.7924
32	1996	33	1	33	3.9	0.5911
33	1997	2	1	2	33.1	1.5198
34	1998	1	1	1	41.9	1.6222
35	1999	49	2	50	1.5	0.1761
36	2000	40	2	41	2.3	0.3617
37	2001	22	2	23	6.2	0.7924
38	2002	7	1	7	18.5	1.2672
39	2003	27	2	28	5.2	0.7160
40	2004	32	1	32	4.0	0.6021
41	2005	31	1	31	4.1	0.6128
42	2006	29	1	29	5.1	0.7076
43	2007	19	1	19	7.2	0.8573
44	2008	39	1	39	2.9	0.4624
45	2009	35	1	35	3.4	0.5315
46	2010	47	2	48	1.7	0.2304

47	2011	15	1	15	8.1	0.9085
48	2012	30	1	30	4.2	0.6232
49	2013	45	1	45	1.9	0.2788
50	2014	38	1	38	3.1	0.4914
51	2015	17	1	17	7.6	0.8808
52	2016	42	1	42	2.2	0.3424
53	2017	12	1	12	11.7	1.0682
54	2018	26	1	26	5.5	0.7404
55	2019	9	1	9	16.8	1.2253

<b>Numero de datos (n)</b>	55.00	55.00
<b>Suma</b>	451.70	36.25
<b>Máximo</b>	41.90	1.62
<b>Mínimo</b>	0.00	-1.00
<b>Promedio <math>\bar{x}</math></b>	8.21	0.66
<b>Desviación estándar (s)</b>	9.40	0.53
<b>Coficiente asimetría (Cs)</b>	1.98	-0.85
<b>k = Cs/6</b>	0.33	-0.14

**PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)**

$$n = 55$$

$$Kn = 2.804^*$$

*Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)*

**Datos dudosos altos ( $x_H$ : unid. logarítmicas)**

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s \quad x_H = 2.1519$$

Precipitación máxima

$$PH = 10^{x_H} \quad PH = 141.9 \quad \text{mm}$$

**Datos dudosos bajos ( $x_L$ : unid. logarítmicas)**

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s \quad x_L = -0.833722$$

Precipitación mínima

$$PL = 10^{x_L} \quad PL = 0.1 \quad \text{mm}$$

## Prueba de Bondad de Ajuste

	<b>P24</b>	<b>log(P24)</b>
Numero de datos: <b>n</b>	55	
Promedio: <b>x</b>	8.21	0.66
Desviación estándar: <b>s</b>	9.40	0.53
Coefficiente asimetría: <b>Cs</b>	1.98	-0.85
Cs/6: <b>k</b>	0.33	-0.14

ESTACION ITE														
N	T	P(X≤xT)	VALOR OBS.		NORMAL		GUMBEL		LOGNORMAL		PEARSON III		LOGPEARSON III	
			P24	log(P24)	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO	K <sub>T</sub>	ESPERADO
1	56.00	1.79%	41.9	1.62	2.10	28.0	2.68	33.4	2.10	59.9	3.01	36.5	1.61	32.7
2	28.00	3.57%	33.1	1.52	1.80	25.2	2.13	28.3	1.80	41.6	2.31	29.9	1.46	27.3
3	18.67	5.36%	33.0	1.52	1.61	23.4	1.81	25.2	1.61	32.9	1.90	26.1	1.35	24.0
4	14.00	7.14%	30.2	1.48	1.47	22.0	1.58	23.1	1.47	27.5	1.62	23.4	1.27	21.6
5	11.20	8.93%	25.8	1.41	1.35	20.9	1.40	21.3	1.35	23.7	1.40	21.3	1.20	19.8
6	9.33	10.71%	24.6	1.39	1.24	19.9	1.25	19.9	1.24	20.9	1.22	19.6	1.13	18.2
7	8.00	12.50%	18.5	1.27	1.15	19.0	1.12	18.7	1.15	18.7	1.06	18.2	1.07	16.9
8	7.00	14.29%	17.0	1.23	1.07	18.2	1.01	17.7	1.07	16.9	0.93	17.0	1.01	15.8
9	6.22	16.07%	16.8	1.23	0.99	17.5	0.91	16.7	0.99	15.4	0.82	15.9	0.96	14.8
10	5.60	17.86%	13.3	1.12	0.92	16.9	0.82	15.9	0.92	14.1	0.72	14.9	0.91	13.9

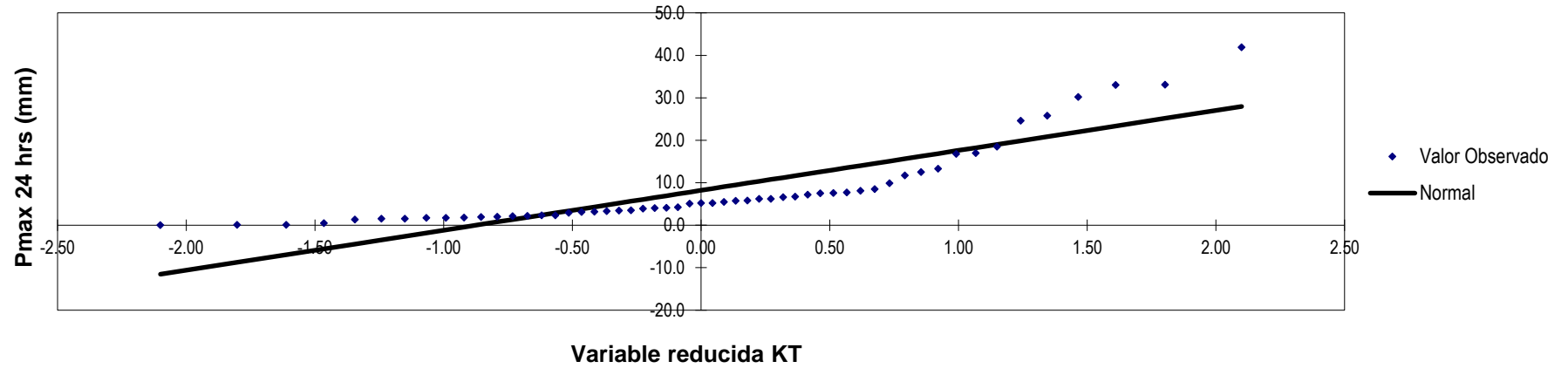
11	5.09	19.64%	12.5	1.10	0.85	16.2	0.74	15.1	0.85	13.0	0.62	14.1	0.86	13.1
12	4.67	21.43%	11.7	1.07	0.79	15.7	0.66	14.4	0.79	12.0	0.54	13.3	0.82	12.4
13	4.31	23.21%	9.9	1.00	0.73	15.1	0.59	13.7	0.73	11.2	0.46	12.5	0.77	11.7
14	4.00	25.00%	8.5	0.93	0.67	14.6	0.52	13.1	0.67	10.4	0.39	11.9	0.73	11.1
15	3.73	26.79%	8.1	0.91	0.62	14.0	0.46	12.5	0.62	9.7	0.32	11.2	0.68	10.5
16	3.50	28.57%	7.7	0.89	0.57	13.5	0.40	12.0	0.57	9.1	0.26	10.6	0.64	10.0
17	3.29	30.36%	7.6	0.88	0.51	13.0	0.34	11.4	0.51	8.6	0.20	10.1	0.60	9.5
18	3.11	32.14%	7.5	0.88	0.46	12.6	0.29	10.9	0.46	8.1	0.14	9.5	0.55	9.0
19	2.95	33.93%	7.2	0.86	0.41	12.1	0.24	10.4	0.41	7.6	0.09	9.1	0.51	8.6
20	2.80	35.71%	6.7	0.83	0.37	11.7	0.19	10.0	0.37	7.1	0.04	8.6	0.47	8.1
21	2.67	37.50%	6.6	0.82	0.32	11.2	0.14	9.5	0.32	6.7	-0.01	8.1	0.43	7.7
22	2.55	39.29%	6.2	0.79	0.27	10.8	0.09	9.1	0.27	6.4	-0.05	7.7	0.39	7.4
23	2.43	41.07%	6.2	0.79	0.23	10.3	0.05	8.7	0.23	6.0	-0.10	7.3	0.35	7.0
24	2.33	42.86%	5.8	0.76	0.18	9.9	0.00	8.2	0.18	5.7	-0.14	6.9	0.31	6.6
25	2.24	44.64%	5.7	0.76	0.13	9.5	-0.04	7.8	0.13	5.4	-0.18	6.5	0.27	6.3
26	2.15	46.43%	5.5	0.74	0.09	9.1	-0.08	7.4	0.09	5.1	-0.22	6.2	0.22	6.0
27	2.07	48.21%	5.2	0.72	0.04	8.6	-0.12	7.0	0.04	4.8	-0.26	5.8	0.18	5.7
28	2.00	50.00%	5.2	0.72	0.00	8.2	-0.16	6.7	0.00	4.6	-0.29	5.5	0.14	5.4
29	1.93	51.79%	5.1	0.71	-0.04	7.8	-0.20	6.3	-0.04	4.3	-0.33	5.1	0.09	5.1
30	1.87	53.57%	4.2	0.62	-0.09	7.4	-0.24	5.9	-0.09	4.1	-0.36	4.8	0.05	4.9
31	1.81	55.36%	4.1	0.61	-0.13	6.9	-0.28	5.6	-0.13	3.9	-0.39	4.5	0.01	4.6
32	1.75	57.14%	4.0	0.60	-0.18	6.5	-0.32	5.2	-0.18	3.7	-0.43	4.2	-0.04	4.3
33	1.70	58.93%	3.9	0.59	-0.23	6.1	-0.36	4.8	-0.23	3.5	-0.46	3.9	-0.09	4.1
34	1.65	60.71%	3.5	0.54	-0.27	5.7	-0.40	4.5	-0.27	3.3	-0.49	3.6	-0.13	3.9
35	1.60	62.50%	3.4	0.53	-0.32	5.2	-0.43	4.1	-0.32	3.1	-0.52	3.4	-0.18	3.6
36	1.56	64.29%	3.3	0.52	-0.37	4.8	-0.47	3.8	-0.37	2.9	-0.55	3.1	-0.23	3.4
37	1.51	66.07%	3.2	0.51	-0.41	4.3	-0.51	3.4	-0.41	2.7	-0.57	2.8	-0.28	3.2

38	1.47	67.86%	3.1	0.49	-0.46	3.9	-0.55	3.1	-0.46	2.6	-0.60	2.6	-0.34	3.0
39	1.44	69.64%	2.9	0.46	-0.51	3.4	-0.59	2.7	-0.51	2.4	-0.63	2.3	-0.39	2.8
40	1.40	71.43%	2.3	0.36	-0.57	2.9	-0.63	2.3	-0.57	2.3	-0.65	2.1	-0.45	2.6
41	1.37	73.21%	2.3	0.36	-0.62	2.4	-0.66	2.0	-0.62	2.1	-0.68	1.8	-0.51	2.4
42	1.33	75.00%	2.2	0.34	-0.67	1.9	-0.70	1.6	-0.67	2.0	-0.71	1.6	-0.57	2.3
43	1.30	76.79%	2.1	0.32	-0.73	1.3	-0.75	1.2	-0.73	1.9	-0.73	1.3	-0.64	2.1
44	1.27	78.57%	2.0	0.30	-0.79	0.8	-0.79	0.8	-0.79	1.7	-0.75	1.1	-0.71	1.9
45	1.24	80.36%	1.9	0.28	-0.85	0.2	-0.83	0.4	-0.85	1.6	-0.78	0.9	-0.79	1.7
46	1.22	82.14%	1.8	0.26	-0.92	-0.4	-0.87	0.0	-0.92	1.5	-0.80	0.7	-0.87	1.6
47	1.19	83.93%	1.7	0.23	-0.99	-1.1	-0.92	-0.4	-0.99	1.4	-0.83	0.4	-0.96	1.4
48	1.17	85.71%	1.7	0.23	-1.07	-1.8	-0.97	-0.9	-1.07	1.2	-0.85	0.2	-1.05	1.3
49	1.14	87.50%	1.5	0.18	-1.15	-2.6	-1.02	-1.4	-1.15	1.1	-0.87	0.0	-1.16	1.1
50	1.12	89.29%	1.5	0.18	-1.24	-3.5	-1.08	-1.9	-1.24	1.0	-0.89	-0.2	-1.28	0.9
51	1.10	91.07%	1.3	0.11	-1.35	-4.4	-1.14	-2.5	-1.35	0.9	-0.92	-0.4	-1.42	0.8
52	1.08	92.86%	0.5	-0.30	-1.47	-5.6	-1.21	-3.1	-1.47	0.8	-0.94	-0.6	-1.59	0.7
53	1.06	94.64%	0.1	-1.00	-1.61	-6.9	-1.29	-3.9	-1.61	0.6	-0.96	-0.8	-1.80	0.5
54	1.04	96.43%	0.1	-1.00	-1.80	-8.7	-1.39	-4.8	-1.80	0.5	-0.98	-1.0	-2.08	0.4
55	1.02	98.21%	0.0	0.00	-2.10	-11.5	-1.54	-6.2	-2.10	0.3	-1.00	-1.2	-2.55	0.2

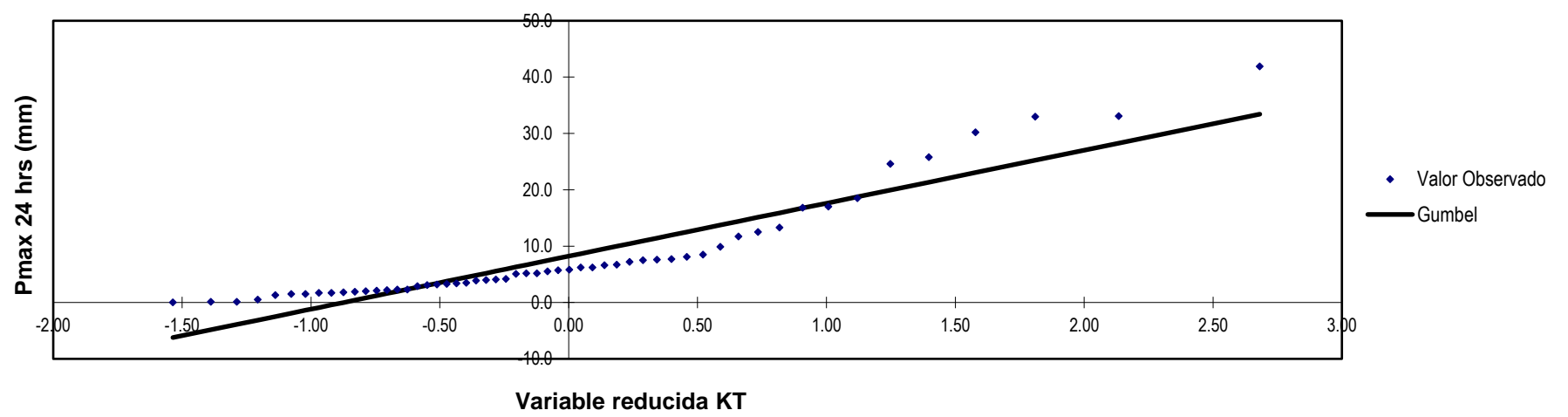
T: *Periodo de retorno en años*

P: *Probabilidad de ocurrencia*

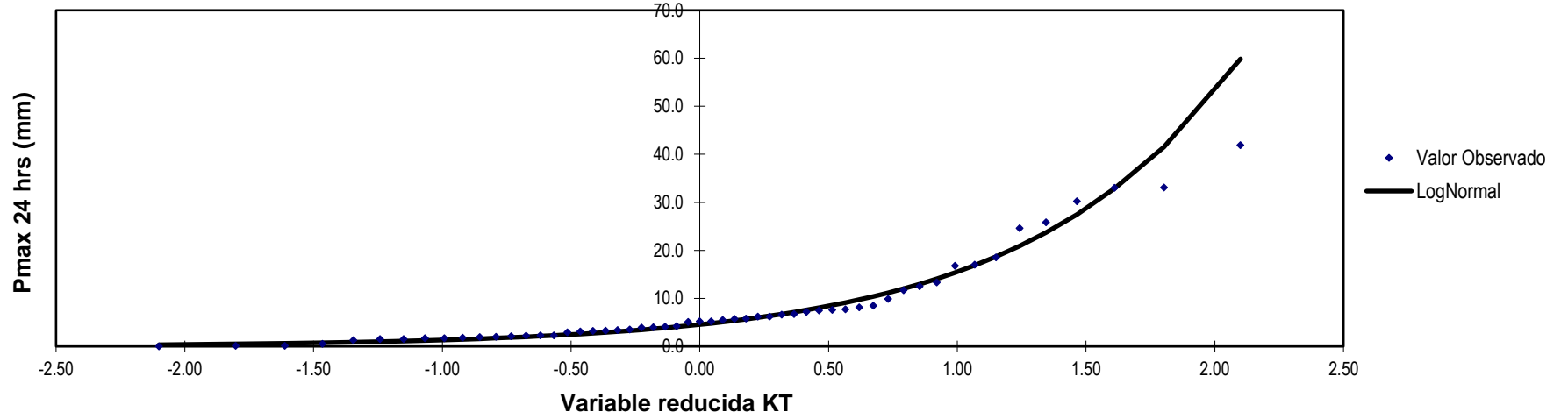
**AJUSTE ESTADISTICO - NORMAL**



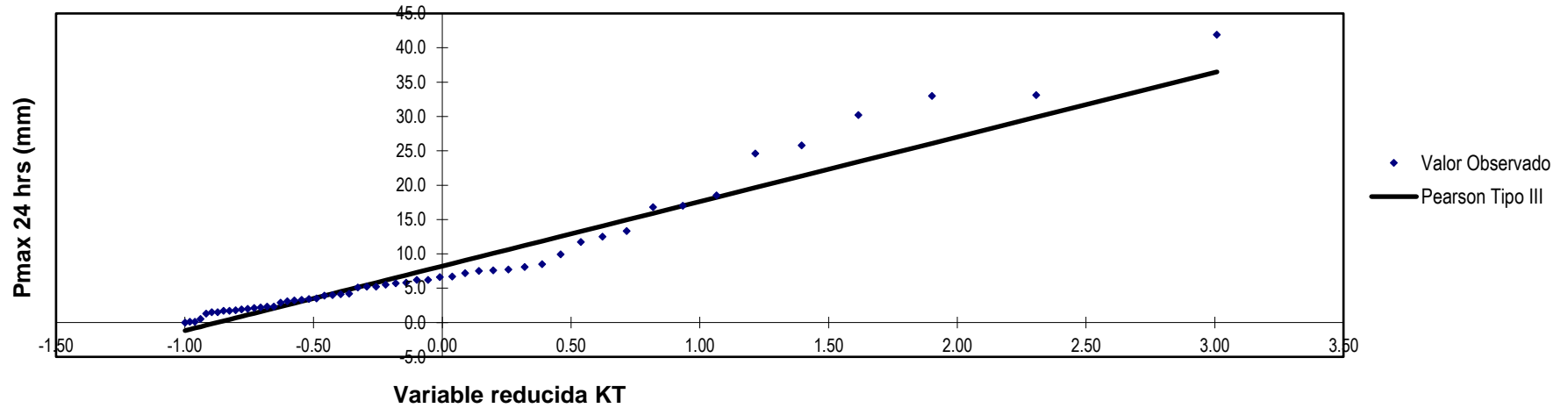
**AJUSTE ESTADISTICO - GUMBEL**



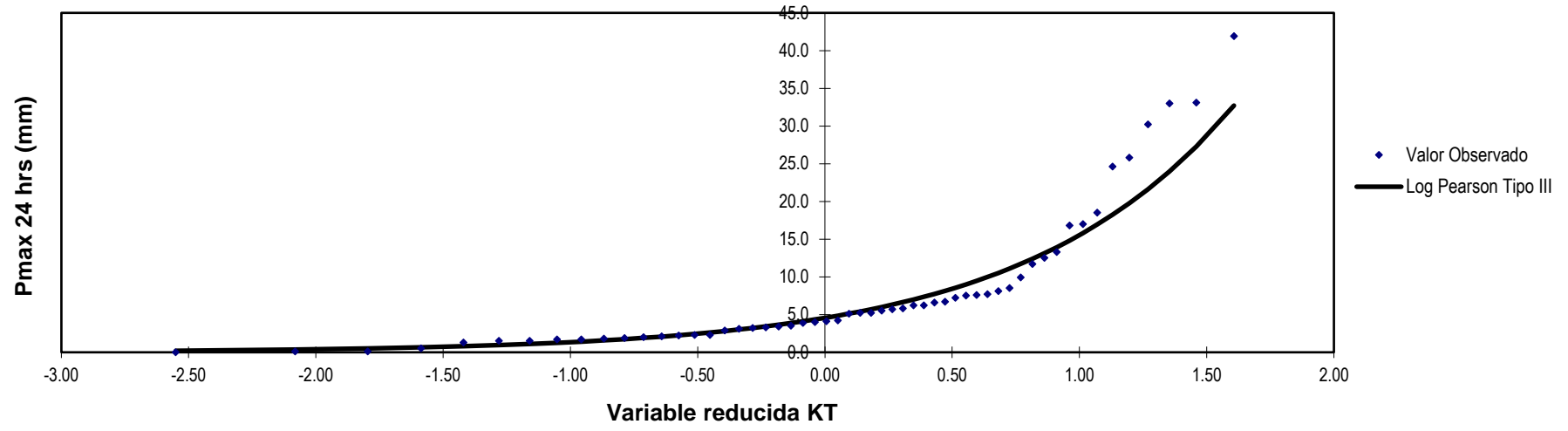
AJUSTE ESTADISTICO - LOG NORMAL



AJUSTE ESTADISTICO - PEARSON TIPO III



### AJUSTE ESTADISTICO - LOG PEARSON TIPO III



### Prueba de Bondad de Ajuste Kolmogorov- Smirnov

m	$x_m$	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ GUMBEL	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ GUMBEL
1	41.90	0.9821	0.9998	0.0177	0.9740	0.008	0.981	0.0016	0.9791	0.0030	0.994	0.012
2	33.10	0.9643	0.9959	0.0317	0.9596	0.005	0.976	0.0119	0.9574	0.0069	0.981	0.017
3	33.00	0.9464	0.9958	0.0494	0.9594	0.013	0.950	0.0035	0.9569	0.0105	0.981	0.035
4	30.20	0.9286	0.9903	0.0618	0.9525	0.024	0.940	0.0113	0.9535	0.0249	0.972	0.044
5	25.80	0.9107	0.9693	0.0586	0.9380	0.027	0.932	0.0210	0.9523	0.0416	0.950	0.040
6	24.60	0.8929	0.9594	0.0665	0.9329	0.040	0.930	0.0372	0.9391	0.0462	0.942	0.049
7	18.50	0.8750	0.8631	0.0119	0.8961	0.021	0.923	0.0477	0.9273	0.0523	0.871	0.004
8	17.00	0.8571	0.8251	0.0321	0.8828	0.026	0.911	0.0534	0.8602	0.0031	0.844	0.013
9	16.80	0.8393	0.8195	0.0198	0.8808	0.042	0.849	0.0094	0.8478	0.0085	0.840	0.001
10	13.30	0.8214	0.7058	0.1156	0.8374	0.016	0.824	0.0030	0.8227	0.0013	0.755	0.066
11	12.50	0.8036	0.6758	0.1277	0.8243	0.021	0.809	0.0058	0.7533	0.0503	0.731	0.072
12	11.70	0.7857	0.6447	0.1410	0.8097	0.024	0.793	0.0077	0.7484	0.0373	0.705	0.080
13	9.90	0.7679	0.5712	0.1966	0.7694	0.002	0.781	0.0130	0.7484	0.0195	0.640	0.128
14	8.50	0.7500	0.5122	0.2378	0.7289	0.021	0.740	0.0099	0.7202	0.0298	0.583	0.167
15	8.10	0.7321	0.4952	0.2369	0.7154	0.017	0.740	0.0079	0.6428	0.0893	0.565	0.167
16	7.70	0.7143	0.4782	0.2360	0.7009	0.013	0.740	0.0258	0.6200	0.0943	0.548	0.167
17	7.60	0.6964	0.4740	0.2224	0.6970	0.001	0.689	0.0070	0.6162	0.0802	0.543	0.153
18	7.50	0.6786	0.4698	0.2088	0.6932	0.015	0.689	0.0109	0.5956	0.0830	0.539	0.140
19	7.20	0.6607	0.4571	0.2036	0.6811	0.020	0.645	0.0155	0.5956	0.0651	0.525	0.136
20	6.70	0.6429	0.4361	0.2068	0.6593	0.016	0.573	0.0695	0.5955	0.0474	0.501	0.141
21	6.60	0.6250	0.4319	0.1931	0.6547	0.030	0.573	0.0516	0.5822	0.0428	0.497	0.128

22	6.20	0.6071	0.4152	0.1919	0.6352	0.028	0.573	0.0337	0.5272	0.0799	0.478	0.130
23	6.20	0.5893	0.4152	0.1741	0.6352	0.046	0.510	0.0795	0.5021	0.0872	0.478	0.112
24	5.80	0.5714	0.3987	0.1727	0.6141	0.043	0.497	0.0746	0.5020	0.0694	0.458	0.113
25	5.70	0.5536	0.3946	0.1590	0.6085	0.055	0.444	0.1093	0.5020	0.0516	0.453	0.100
26	5.50	0.5357	0.3864	0.1493	0.5970	0.061	0.444	0.0914	0.4915	0.0442	0.444	0.092
27	5.20	0.5179	0.3743	0.1436	0.5787	0.061	0.444	0.0736	0.4858	0.0321	0.429	0.089
28	5.20	0.5000	0.3743	0.1257	0.5787	0.079	0.425	0.0755	0.4365	0.0635	0.429	0.071
29	5.10	0.4821	0.3703	0.1119	0.5723	0.090	0.379	0.1036	0.4190	0.0631	0.424	0.058
30	4.20	0.4643	0.3347	0.1296	0.5080	0.044	0.379	0.0857	0.4127	0.0516	0.379	0.085
31	4.10	0.4464	0.3309	0.1156	0.4999	0.054	0.379	0.0679	0.3886	0.0578	0.374	0.073
32	4.00	0.4286	0.3270	0.1016	0.4917	0.063	0.353	0.0760	0.3820	0.0466	0.369	0.060
33	3.90	0.4107	0.3232	0.0875	0.2464	0.164	0.321	0.0900	0.3627	0.0480	0.364	0.047
34	3.50	0.3929	0.3081	0.0848	0.2342	0.159	0.314	0.0785	0.3569	0.0360	0.344	0.049
35	3.40	0.3750	0.3043	0.0707	0.2310	0.144	0.314	0.0606	0.3501	0.0249	0.339	0.036
36	3.30	0.3571	0.3006	0.0565	0.2277	0.129	0.314	0.0427	0.3437	0.0134	0.334	0.023
37	3.20	0.3393	0.2969	0.0424	0.2243	0.115	0.314	0.0249	0.3169	0.0224	0.329	0.011
38	3.10	0.3214	0.2932	0.0282	0.2209	0.101	0.296	0.0257	0.2891	0.0323	0.324	0.002
39	2.90	0.3036	0.2860	0.0176	0.2138	0.090	0.242	0.0614	0.2891	0.0145	0.314	0.010
40	2.30	0.2857	0.2647	0.0210	0.1901	0.096	0.236	0.0493	0.2604	0.0253	0.284	0.002
41	2.30	0.2679	0.2647	0.0032	0.1901	0.078	0.209	0.0590	0.2380	0.0299	0.284	0.016
42	2.20	0.2500	0.2612	0.0112	0.1857	0.064	0.198	0.0518	0.2169	0.0331	0.279	0.029
43	2.10	0.2321	0.2577	0.0256	0.1813	0.051	0.198	0.0339	0.1790	0.0531	0.274	0.042
44	2.00	0.2143	0.2543	0.0400	0.1766	0.038	0.198	0.0160	0.1790	0.0353	0.270	0.055
45	1.90	0.1964	0.2509	0.0545	0.1718	0.025	0.198	0.0018	0.1408	0.0556	0.265	0.068
46	1.80	0.1786	0.2476	0.0690	0.1669	0.012	0.173	0.0057	0.1243	0.0543	0.260	0.081
47	1.70	0.1607	0.2442	0.0835	0.1617	0.001	0.149	0.0114	0.1018	0.0589	0.255	0.095
48	1.70	0.1429	0.2442	0.1013	0.1617	0.019	0.149	0.0065	0.1018	0.0411	0.255	0.112
49	1.50	0.1250	0.2376	0.1126	0.1509	0.026	0.149	0.0243	0.0642	0.0608	0.246	0.121
50	1.50	0.1071	0.2376	0.1304	0.1509	0.044	0.149	0.0422	0.0429	0.0642	0.246	0.139
51	1.30	0.0893	0.2310	0.1418	0.1390	0.050	0.049	0.0405	0.0429	0.0464	0.236	0.147
52	0.50	0.0714	0.2060	0.1345	0.0761	0.005	0.039	0.0328	0.0037	0.0677	0.200	0.129

53	0.10	0.0536	0.1940	0.1405	0.0219	0.032	0.033	0.0203	0.0010	0.0526	0.183	0.129
54	0.10	0.0357	0.1940	0.1583	0.0219	0.014	0.033	0.0024	0.0010	0.0347	0.183	0.147
55	0.00	0.0179	0.1911	0.1733	0.1190	0.101	0.033	0.0154	0.0010	0.0169	0.179	0.161
X	8.21											
S	9.40											
CS	1.981											
n	55		$\Delta_{\text{máx}}$	0.23781		0.16428		0.10927		0.09429		0.16719
$\alpha$	0.05		$\Delta_{\text{crítico}} > \Delta_{\text{máx}}$	No se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta
$\Delta_{\text{crítico}}$	0.18690		Mejor Ajuste	5		3		2		1		4

## Precipitaciones con duración menor a 24 horas

DURACION		PERIODO DE RETORNO				
Hora	min	25	50	100	200	500
0.17	10.00	8.61	10.39	12.07	13.66	15.57
0.33	20.00	10.23	12.35	14.36	16.24	18.52
0.50	30.00	11.33	13.67	15.89	17.97	20.49
0.67	40.00	12.17	14.69	17.08	19.31	22.02
0.83	50.00	12.87	15.53	18.06	20.42	23.29
1.00	60.00	13.47	16.26	18.90	21.37	24.37
1.50	90.00	14.90	17.99	20.91	23.65	26.97
2.00	120.00	16.02	19.33	22.47	25.42	28.98
4.00	240.00	19.05	22.99	26.73	30.22	34.47
6.00	360.00	21.08	25.44	29.58	33.45	38.14
7.00	420.00	21.91	26.44	30.74	34.76	39.64
8.00	480.00	22.65	27.34	31.78	35.94	40.99
10.00	600.00	23.95	28.91	33.60	38.00	43.34
11.00	660.00	24.53	29.61	34.42	38.92	44.39
12.00	720.00	25.07	30.26	35.17	39.78	45.36
24.00	1440.00	29.81	35.98	41.83	47.30	53.94

## Intensidades con duración menor a 24 horas (mm/hr)

DURACION		PERIODO DE RETORNO				
Hora	min	25	50	100	200	500
0.17	10.00	51.63	62.32	72.45	81.93	93.44
0.33	20.00	30.70	37.06	43.08	48.72	55.56
0.50	30.00	22.65	27.34	31.78	35.94	40.99
0.67	40.00	18.25	22.03	25.61	28.97	33.03
0.83	50.00	15.44	18.64	21.67	24.50	27.94
1.00	60.00	13.47	16.26	18.90	21.37	24.37
1.50	90.00	9.94	11.99	13.94	15.77	17.98
2.00	120.00	8.01	9.67	11.24	12.71	14.49
4.00	240.00	4.76	5.75	6.68	7.56	8.62
6.00	360.00	3.51	4.24	4.93	5.57	6.36
7.00	420.00	3.13	3.78	4.39	4.97	5.66
8.00	480.00	2.83	3.42	3.97	4.49	5.12
10.00	600.00	2.39	2.89	3.36	3.80	4.33
11.00	660.00	2.23	2.69	3.13	3.54	4.04
12.00	720.00	2.09	2.52	2.93	3.31	3.78
24.00	1440.00	1.24	1.50	1.74	1.97	2.25

## **PANEL FOTOGRAFICO**



FOTO 01: Ensayo de Densidad In situ



FOTO 02: Ensayo de Cuarteo



FOTO 03: Ensayo de Análisis Granulométrico



FOTO 04: Ensayo de Límite líquido



FOTO 05: Ensayo de Peso Específico de Ag fino



FOTO 06: Ensayo de Peso Unitario suelto