



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

**Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas
situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Civil

AUTORAS:

Geovanna Paola Sánchez Guamán

CI: 0105952980

Adriana Priscila Sumba Naula

CI: 0105725170

DIRECTORA:

Ing. Karla Johanna Santacruz Reyes, PhD.

CI: 0301731394

Cuenca - Ecuador

Abril de 2019



RESUMEN

Cuenca y sus alrededores presentan una topografía típica de la región interandina, un terreno accidentado con pendientes pronunciadas y zonas planas; la formación geológica de los suelos es variable, desde depósitos fluviales nuevos hasta roca metamórfica del Mesozoico. Estas condiciones conjuntamente con agentes desencadenantes como actividad sísmica y pluviométrica, causan la inestabilidad del suelo. Es así que en la ciudad se han reportado algunos episodios significativos de inestabilidad, generando pérdidas humanas y daños materiales.

En el presente trabajo, se genera una base de datos confiable de diferentes parámetros geotécnicos para los sectores: Carmen de Guzho y Colegio Borja (Baños), los cuales presentan inestabilidad. Para el primer sector, la información es amplia y permite obtener niveles de confianza altos, para el segundo la falta de registro genera niveles de confianza menores.

Respecto a la clasificación de suelos, ambas zonas de estudio reflejan suelos arcillosos, limosos y en algunos casos orgánicos con un rango de contenido de materia orgánica de 5,7 – 7,9% para Guzho y 2,6 – 9,3% para Baños. Para los dos sectores la clasificación SUCS de los suelos es arcillas y limos de alta plasticidad. En el sector de Guzho la distribución granulométrica es de: arena 17,2 – 25,3% y finos 74,6 – 82,8%; en Baños se tiene: arena 8,0– 34,2% y finos 65,7 – 91,1%. La densidad seca para Guzho es de 1,344 – 1,597 g/cm^3 y para Baños se tiene 1,289 – 1,491 g/cm^3 . Dentro de las propiedades mecánicas el valor de cohesión está entre 45,7 – 93,4 kN/m^2 y 52,6 – 84,9 kN/m^2 para Guzho y Baños respectivamente.

Palabras Clave:

Inestabilidad. Deslizamiento. Caracterización geotécnica. Suelos finos.



ABSTRACT

Cuenca and its surroundings have a typical Highland topography, steep slopes and plains; geological structure of the soils is variable, since new fluvial deposits until Mesozoic metamorphic rock. These conditions, together with trigger agents such as seismic and pluviometric activity, cause soil instability. It is so some significant episodes of instability have been reported in the city, generating human losses and material damages.

In the present work, a reliable database of different geotechnical parameters is generated for the sectors: Carmen de Guzho and Borja High school (Baños), which have instability. In the first sector, the information is wide and allows obtaining high confidence levels, for the second the lack of registry generates low confidence levels.

Regarding the soils classification, both study areas evince clayey, silty soils and in some cases organic soils with a range of organic matter content 5,7 – 7,9% for Guzho and 2,6 – 9,3% for Baños. For both places SUCS soils classification is clays and silts of high plasticity. In Guzho the granulometric distribution is: sand 17,2 – 25,3% and fines 74,6 – 82,8%; in Baños is: sand 8,0– 34,2% and fines 65,7 – 91,1%. The dry density for Guzho is 1,344 – 1,597 g/cm^3 and for Baños is 1,289 – 1,491 g/cm^3 . Within the mechanical properties the cohesion value is between 45,7 – 93,4 kN/m^2 and 52,6 – 84,9 kN/m^2 for Guzho and Baños respectively.

Keywords:

Instability. Landslides. Geotechnical characterization. Fine soils.



Contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Justificación	19
1.2. Alcance	19
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Suelos y su inestabilidad	21
2.2. Factores de inestabilidad del suelo en laderas	23
2.3. Deslizamientos en laderas	24
2.4. Inestabilidad de suelos frente a macro-deslizamientos en Ecuador	26
2.5. Caracterización geológica aplicada a zonas de inestabilidad en la ciudad de Cuenca (PRECUPA, 1998)	26
2.6. Metodologías de evaluación de suelos	27
2.6.1. Identificación visual	28
2.6.2. Ensayos en el campo (Das, 2001)	29
2.3.3. Ensayos de laboratorio	31
2.4. Caracterización geotécnica de los suelos	32
2.4.1. Estratigrafía	32
2.4.2. Propiedades físicas	32
2.4.3. Clasificación del suelo	34
2.5. Propiedades mecánicas	39
2.6. Análisis estadístico	43
3. MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Análisis de zonas inestables	49
3.2. Información disponible en zonas de inestabilidad	50
3.3. Suelos de estudio	51
3.3.1. Carmen de Guzho:	52



3.3.1.	Sector Baños.....	53
3.4.	Información disponible.....	53
3.4.1.	Sector Carmen de Guzho.....	53
3.4.2.	Sector Colegio Borja - Baños.....	55
3.5.	Exploración y extracción de muestras.....	56
3.6.	Ensayos de laboratorio – Parámetros físicos.....	57
3.6.1.	Determinación de la densidad específica.....	58
3.6.2.	Análisis granulométrico.....	58
3.6.3.	Límites de Atterberg.....	59
3.6.4.	Contenido de materia orgánica.....	61
3.7.	Clasificación del suelo.....	62
3.7.1.	Clasificación AASHTO.....	62
3.7.2.	Clasificación SUCS.....	63
3.8.	Análisis estadístico.....	63
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
4.1.	Elección de suelos de estudio.....	66
4.2.	Historial y situación actual del suelo de estudio.....	67
4.3.	Información disponible.....	69
4.3.1.	Sector Carmen de Guzho.....	69
4.3.2.	Sector Colegio Borja - Baños.....	72
4.4.	Ubicación geográfica de zonas de extracción de muestras.....	73
4.4.1.	Sector Carmen de Guzho.....	73
4.4.2.	Sector Colegio Borja – Baños.....	73
4.5.	Ensayos de laboratorio.....	74
4.5.1.	Sector Carmen de Guzho.....	74
4.5.2.	Sector Colegio Borja – Baños.....	81
4.6.	Análisis cualitativo de la información de ensayos de elaboración propia.....	85
4.6.1.	Sector Carmen de Guzho.....	85
4.6.2.	Sector Colegio Borja.....	87
4.7.	Comparación espacial y análisis.....	89
4.7.1.	Sector Carmen de Guzho.....	89
4.7.2.	Sector Colegio Borja – Baños.....	93
4.8.	Análisis estadístico.....	96
4.8.1.	Sector Carmen de Guzho.....	97



4.8.2. Sector Baños..... 116

4.9. Resumen de resultados 129

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 132

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 135

7. ANEXOS 139

Anexo 1: Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras (AASHTO) 139

Anexo 2: Esquema simplificado del SUCS 140

Anexo 3: *Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (según ASTM, 1998)*..... 141

..... 141

Anexo 4: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos. 142

Anexo 5: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos. 144

Anexo 6: Información obtenida por la Dirección de Gestión de Riesgos (Ensayo SPT).. 145

Anexo 7: Información geotécnica de la Calicata 1 148

Anexo 8: Información geotécnica de la Calicata 2 149

Anexo 9: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos. 150

Anexo 10: Tabulación de datos (propiedades mecánicas) – cátedra de Mecánica de suelos 152

Anexo 11: Propiedades fundamentales pozos de exploración - Sector Carmen de Guzho 153

Anexo 12: Clasificación en pozos de exploración – Sector Carmen de Guzho 154

Anexo 13: Propiedades fundamentales pozos de exploración – Sector Baños..... 155

Anexo 14: Clasificación en pozos de exploración – Sector Baños..... 155

Anexo 15: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.10m- Sector Carmen de Guzho 156

Anexo 16: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho 157

Anexo 17: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho 158

Anexo 18: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 1.30m- Sector Carmen de Guzho 159

Anexo 19: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho 160

Anexo 20: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 1.90m- Sector Carmen de Guzho 161

Anexo 21: Clasificación del suelo- Pozo 4- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho 162



Anexo 22: Clasificación del suelo- Pozo 4- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho 163

Anexo 23: Clasificación del suelo- Pozo 5- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho 164

Anexo 24: Clasificación del suelo- Pozo 5- Profundidad 1.40m- Sector Carmen de Guzho 165

Anexo 25: Clasificación del suelo- Pozo 6- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho 166

Anexo 26: Clasificación del suelo- Pozo 6- Profundidad 2.00m- Sector Carmen de Guzho 167

Anexo 27: Clasificación del suelo- Pozo 7- Profundidad 0.40m- Sector Carmen de Guzho 168

Anexo 28: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 0.50m- Sector Baños 169

Anexo 29: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.00m- Sector Baños 170

Anexo 30: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 0.80m- Sector Baños 171

Anexo 31: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 0.80m- Sector Baños 172

Anexo 32: Zona de deslizamiento sector Carmen de Guzho 173

Anexo 33: Mapas generales de análisis espacial - Carmen de Guzho (5/5) 174

Anexo 34: Mapas generales de análisis espacial – Colegio Borja / Baños (4/4) 179



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del suelo, según su estructura.....	21
Tabla 2: Tipos de factores que afectan la estabilidad del suelo en laderas.....	23
Tabla 3: Principales deslizamientos en el Ecuador desde 1990	26
Tabla 4: Expresiones cualitativas y cuantitativas de la consistencia en arcillas	28
Tabla 5: Resumen de ensayo de laboratorio a ser aplicados.....	31
Tabla 6: Propiedades de suelos finos	34
Tabla 7: Tamaño de mallas estándar	35
Tabla 8: Valores referenciales del IP y del tipo de suelo	37
Tabla 9: Consistencia del suelo.....	38
Tabla 10: Potencial de expansión del suelo según el IP	38
Tabla 11: Grados de expansión del suelo.....	38
Tabla 12: Coeficientes de Variación de algunos parámetros geotécnicos.....	44
Tabla 13: Niveles de confianza Distribución Normal	46
Tabla 14: Zonificación de deslizamientos y actividad	50
Tabla 15: Ubicación de zonas de extracción para ensayos por estudiantes- Sector Carmen de Guzho.....	54
Tabla 16: Ubicación de pozos de exploración – Sector Carmen de Guzho.....	55
Tabla 17: Ubicación de zonas de extracción para ensayos por estudiantes- Sector Colegio Borja.....	56
Tabla 18: Ubicación de calicatas de extracción de muestras.....	57
Tabla 19: Serie de tamices para el análisis granulométrico	59
Tabla 20: Resumen de la metodología para el estudio	65
Tabla 21: Resumen de información obtenida mediante la cátedra Mecánica de Suelos	70
Tabla 22: Resumen de información por Dir. Gestión de Riesgos Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 23: Resumen de información obtenida mediante la cátedra Mecánica de Suelos	72
Tabla 24: Determinación de parámetros físicos de acuerdo al pozo y su profundidad	74
Tabla 25: Distribución granulométrica - Carmen de Guzho.....	75
Tabla 26: Determinación de parámetros físicos de acuerdo al pozo y su profundidad	81
Tabla 27: Distribución granulométrica	82
Tabla 28: Clasificación cualitativa del potencial y grado de expansividad del suelo – Sector Carmen de Guzho.....	86
Tabla 29: Clasificación cualitativa del potencial y grado de expansividad del suelo – Baños	88
Tabla 30: Análisis estadístico de la densidad húmeda	97
Tabla 31: Parámetros estadísticos de la densidad seca	98
Tabla 32: Parámetros estadísticos del límite plástico.....	100
Tabla 33: Parámetros estadísticos del límite líquido con contenido de materia orgánica ...	101
Tabla 34: Parámetros estadísticos del límite plástico.....	102
Tabla 35: Parámetros estadísticos del índice de plasticidad.....	103
Tabla 36: Parámetros estadísticos de contenido de materia orgánica	105
Tabla 37: Parámetros estadísticos de acuerdo a la distribución granulométrica previa al estudio.....	105



Tabla 38: Parámetros estadísticos de acuerdo a la distribución granulométrica de ensayos de elaboración propia	108
Tabla 39: Rango de distribución granulométrica - Sector Carmen Guzho.....	111
Tabla 40: Parámetros estadísticos de la cohesión en diferentes ensayos de laboratorio y de campo.....	112
Tabla 41: Parámetros estadísticos del ángulo de fricción	114
Tabla 42: Parámetros estadísticos de expansión del suelo	115
Tabla 43: Parámetros estadísticos de la densidad húmeda.....	116
Tabla 44: Parámetros estadísticos de la densidad seca	117
Tabla 45: Parámetros estadísticos del límite líquido	119
Tabla 46: Parámetros estadísticos del límite líquido con contenido de materia orgánica ...	119
Tabla 47: Parámetros estadísticos del límite plástico.....	120
Tabla 48: Parámetros estadísticos del índice de plasticidad.....	120
Tabla 49: Parámetros estadísticos del contenido de materia orgánica.....	121
Tabla 50: Parámetros estadísticos de la distribución granulométrica	122
Tabla 51: Rango de distribución granulométrica – Sector Baños	124
Tabla 52: Parámetros estadísticos de la cohesión en diferentes ensayos de laboratorio y de campo.....	126
Tabla 53: Parámetros estadísticos del ángulo de fricción	128
Tabla 54: Parámetros estadísticos de expansión del suelo	129
Tabla 55: Resumen de parámetros geotécnicos para el Sector Carmen de Guzho	129
Tabla 56: Resumen de parámetros geotécnicos para el Sector Colegio Borja (Baños).....	130



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de suelos ubicados para la ciudad de Cuenca	23
Figura 2: Partes de un deslizamiento	24
Figura 3: Deslizamiento rotacional típico	25
Figura 4: Ejemplo de deslizamiento traslacional	25
Figura 5: Detalle del ensayo de veleta	30
Figura 6: (a) Elementos del suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo ..	33
Figura 7: Gráfica de plasticidad	36
Figura 8: Representación de límites de Atterberg	37
Figura 9: Envolvente de falla de Mohr y Criterio de falla de Mohr-Coulomb.....	40
Figura 10: Diagrama del equipo para prueba de corte directo	41
Figura 11: Diagrama del equipo de prueba triaxial	42
Figura 12: Distribución Normal y su relación con los parámetros μ y σ	45
Figura 13: Mapa de la ciudad de Cuenca y su área de influencia a amenazas.....	50
Figura 14: Geología de las zonas de estudio.....	52
Figura 15: Ubicación de las zonas de estudio	52
Figura 16: Distribución de ensayos realizados en la cátedra de mecánica de suelos - Sector Carmen de Guzho.....	54
Figura 17: Distribución de ensayos realizados en la cátedra de mecánica de suelos - Sector Colegio Borja, Baños	56
Figura 18: (a) Pozo de extracción en Baños (b) Suelo de análisis para Guzho	67
Figura 19: Afección en la infraestructura por el deslizamiento en Carmen de Guzho (1999)68	
Figura 20: Situación actual en las zonas de estudio.....	69
Figura 21: Ubicación geográfica de pozos de exploración DGR - Carmen de Guzho.....	71
Figura 22: Ubicación de pozos de extracción – Carmen de Guzho	73
Figura 23: Ubicación de pozos de extracción – Colegio Borja - Baños	74
Figura 24: Información Pozo 1	77
Figura 25: Información Pozo 2	77
Figura 26: Información Pozo 3	77
Figura 27: Información Pozo 4	77
Figura 28: Información Pozo 5	78
Figura 29: Información Pozo 6	78
Figura 30: Información Pozo 7	78
Figura 31: Curvas granulométricas para las zonas de estudio – Sector Carmen de Guzho.79	
Figura 32: Contenido de materia orgánica y variación del límite líquido	80
Figura 33: Valores de límite líquido con muestras obtenidas por diferentes procedimientos81	
Figura 34: Información Pozo 1	83
Figura 35: Información Pozo 2	83
Figura 36: Información Pozo 3	83
Figura 37: Contenido de materia orgánica y variación del límite líquido	84
Figura 38: Valores de límite líquido con muestras obtenidas por diferentes procedimientos84	
Figura 39: Relación de la densidad seca y el contenido de humedad - Guzho	85
Figura 40: Consistencia del suelo – Sector Carmen de Guzho.....	87
Figura 41: Relación de la densidad seca y el contenido de humedad - Baños	88



Figura 42: Consistencia del suelo, según el índice de consistencia89

Figura 43: Distribución espacial de la clasificación del suelo - Guzho90

Figura 44: Distribución espacial de la densidad seca - Guzho.....91

Figura 45: Distribución espacial de la humedad y nivel freático - Guzho.....92

Figura 46: Distribución espacial de límite líquido e índice plástico - Guzho93

Figura 47: Distribución espacial de la clasificación y potencia del suelo - Baños.....94

Figura 48: Distribución espacial de la densidad seca - Baños95

Figura 49: Distribución espacial de límite líquido e índice plástico - Baños.....96

Figura 50: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos previo al estudio97

Figura 51: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos de elaboración propia..98

Figura 52: Datos de densidad seca, correspondiente a ensayos previos al estudio99

Figura 53: Datos de densidad seca, correspondiente a ensayos de elaboración propia99

Figura 54: Datos de límite líquido correspondientes a ensayos previos al estudio100

Figura 55: Datos de límite líquido correspondientes a ensayos de elaboración propia.....100

Figura 56: Datos de límite líquido con contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia.....101

Figura 57: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos previos al estudio.....102

Figura 58: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos de elaboración propia103

Figura 59: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos previos al estudio.104

Figura 60: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos de elaboración propia104

Figura 61: Datos de contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia105

Figura 62: Relación entre la abertura de distintos tamices y el coeficiente de variación.....106

Figura 63: Datos de % tamiz #4 correspondientes a ensayos previos al estudio.....106

Figura 64: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos previos al estudio.....107

Figura 65: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos previos al estudio.....107

Figura 66: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos previos al estudio.....108

Figura 67 Relación entre la abertura de distintos tamices y el coeficiente de variación.....109

Figura 68: Datos de % tamiz #4 correspondientes a ensayos de elaboración propia109

Figura 69: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos de elaboración propia110

Figura 70: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos de elaboración propia110

Figura 71: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos de elaboración propia110

Figura 72: Nivel de confiabilidad de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo112

Figura 73: Intervalo de confianza de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo.....113

Figura 74: Datos de ángulo de fricción correspondientes a ensayos previos al estudio113

Figura 75: Nivel de confiabilidad del ángulo de fricción en distintos ensayos114

Figura 76: Intervalo de confianza del ángulo de fricción en distintos ensayos114

Figura 77: Datos de presión de hinchamiento correspondientes a ensayos previos al estudio115

Figura 78: Datos de hinchamiento libre correspondientes a ensayos previos al estudio115

Figura 79: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos previos al estudio.....116



Figura 80: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos de elaboración propia117

Figura 81: Datos de densidad seca correspondiente a ensayos previos al estudio 118

Figura 82: Datos de densidad seca correspondiente a ensayos de elaboración propia118

Figura 83: Datos de límite líquido con contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia.....119

Figura 84: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos de elaboración propia120

Figura 85: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos de elaboración propia121

Figura 86: Datos de contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia122

Figura 87: Relación de la variación de la abertura del tamiz y el coeficiente de variación..122

Figura 88: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos de elaboración propia123

Figura 89: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos de elaboración propia123

Figura 90: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos de elaboración propia124

Figura 91: Nivel de confiabilidad de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo126

Figura 92: Intervalo de confianza de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo.....127

Figura 93: Datos de ángulo de fricción correspondientes a ensayos previos al estudio127

Figura 94: Nivel de confiabilidad del ángulo de fricción en distintos ensayos128

Figura 95: Intervalo de confianza del ángulo de fricción en distintos ensayos128

Figura 96: Datos correspondientes a ensayos previos al estudio129



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Geovanna Paola Sánchez Guamán en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril de 2019

Geovanna Paola Sánchez Guamán

C.I: 0105952980



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Adriana Priscila Sumba Naula en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, abril de 2019

Adriana Priscila Sumba Naula

C.I.: 0105725170



Cláusula de Propiedad Intelectual

Geovanna Paola Sánchez Guamán, autora del trabajo de titulación "Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, abril de 2019

Geovanna Paola Sánchez Guamán

C.I: 0105952980



Cláusula de Propiedad Intelectual

Adriana Priscila Sumba Naula, autora del trabajo de titulación "Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, abril de 2019

Adriana Priscila Sumba Naula

C.I: 0105725170



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, Gustavo y Ana, que en todo momento han estado pendientes de mí, apoyándome y brindándome su amor incondicional. Agradezco a mi mami Aurora, Paty y Caro, por toda la confianza depositada en mí, su gran paciencia y cariño.

Un especial agradecimiento a la Ing. Karla Santacruz, quien nos brindaría su tiempo y acompañaría a lo largo de la realización de este trabajo de titulación, así como a nuestros revisores el Ing. Juan Avilés y el Ing. Alfredo Vásquez.

Agradezco a cada amigo que me ha alentado a alcanzar esta meta, mis amigas y hermanas del colegio; a los amigos que he realizado a lo largo de la carrera, no solo de la escuela de civil, sino de sistemas y eléctrica, ¡amigos, sin duda su apoyo me permite culminar esta etapa! Finalmente, a mi gran amiga y compañera de tesis Priscila, al final todo valió la pena. A todos ustedes, muchísimas gracias, que la vida les devuelva el doble de cosas buenas.

Paola Sánchez

Agradezco a Dios por brindarme su fortaleza durante mi vida universitaria. A mis padres por su apoyo y dedicación en todo momento, a mi hermano y a la pequeña Mili por animarme con sus ocurrencias.

Gracias a mi compañera de tesis Paola por su tiempo, dedicación y comprensión; a Mauricio, Pedro, Sebastián y Jasson quienes nos ayudaron con las salidas al campo de nuestra tesis.

Gracias a la Universidad de Cuenca por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos tanto académicos como humanos.

Priscila Sumba



DEDICATORIA

A mi mami Aurora y mi hermana Paty, por demostrarme a mí y a mi hermana Carolina, que el amor de la familia es tan incondicional a tal punto que una tía y prima pueden cuidarte y amarte como si fueses su verdadera hija y hermana; dedico este trabajo también a mis hermanos, Caro y Anthony.

A mis seres queridos que hoy no están. A *"Papito Adolfo"*, con quién en mi inocencia, tan solo pensaría que fue a unas largas vacaciones. Mi *tía Michi*, por su ejemplo de constancia, amor y orgullo con todos sus sobrinos; mis abuelitos y padrinos: *"Papito Arcesio y Mamita Rosa"*, quienes siempre serán el ejemplo de las grandes cosas que se pueden lograr con amor, perseverancia y entrega. A *Gladys*, por su valentía, llegando a ser ejemplo para toda la familia de una mujer guerrera, resiliente y aferrada a la vida. Y en especial quiero dedicar este logro a mi abuelita *"Mamita Carmelita"*, con quién tengo infinitos recuerdos maravillosos y de grandes enseñanzas, quién desde pequeña siempre me alentó a soñar y luchar por lo que quiero, ella es el mayor ejemplo de virtudes en una sola persona, y es quien me compartiría a su compañía de varios años, en mi mejor amigo peludo, Guardiancito.

Paola Sánchez

A mis padres Blanca y Julio, a mi hermano Andrés por ser los pilares de mi vida con su amor, confianza y apoyo, por alentarme a no rendirme en los momentos difíciles y a aceptar con humildad las metas cumplidas.

A mi tía Gladis, por estar siempre pendiente de mí y por ser mi segunda mamá. Aunque ya no estén conmigo a mis abuelos Mercedes y Miguel, por el más grande ejemplo de humildad, sabiduría y amor, por ser mis ángeles eternos.

A todos quienes con una sonrisa sincera formaron parte de esta aventura, gracias por creer en mí.

Priscila Sumba



Caracterización de suelos inestables frente a deslizamiento en dos laderas situadas en los alrededores de la ciudad de Cuenca

1. INTRODUCCIÓN

Los Andes son caracterizados por el levantamiento debido a la convergencia activa de la placa de Nazca (Van der Hammen, 1988); la cadena montañosa presenta un levantamiento promedio de un metro por cada mil años y una erosión rápida lo que ha resultado en una amplia existencia de terrenos inestables inclinados (Erikson, Ramirez, Concha, Tisnado, & Urquidí, 1989). Los Andes siempre han sido afectados por drásticos procesos climáticos, los cuales se relacionan directamente con los deslizamientos (Lozano, Bussmann, & Kueppers, 2016).

Los deslizamientos son movimientos de tierra que dependen de una serie de factores internos (características geológicas y geomecánicas) y ambientales externos como clima, topografía, acciones sísmicas y antropológicas. Uno de los desastres provocados por deslizamientos en la zona Austral del Ecuador sucedió el 29 de marzo de 1993; 30 millones de metros cúbicos de tierra se deslizaron del cerro Tamuga matando a más de 100 personas y represando al río Paute en el sector conocido como la Josefina a unos 22 km de la ciudad de Cuenca. La presa formada por el deslizamiento de tierra inundó 10 km aguas arriba con un volumen de 200 millones de metros cúbicos de agua. El 1 de mayo de 1993 la presa se derrumbó y falló, causando destrozos aguas abajo con una descarga pico estimada de 8300 m³/s. Más de 10000 personas fueron evacuadas y los daños a la propiedad fueron extensos, incluida la hidroeléctrica de Paute que produce más del 60% de electricidad del Ecuador. (Abril & Knight, 2004)

Los alrededores de la ciudad de Cuenca están expuestos a problemas de estabilidad por deslizamientos de laderas, lo que resulta en un problema cotidiano con el que la ciudadanía y autoridades han tenido que lidiar, otorgando soluciones puntuales y pasajeras en muchos casos. Los estudios presentados en zonas de inestabilidad no son equiparables o significativos con el número de sitios inestables; como consecuencia existen pocos registros de valores de parámetros geotécnicos para futuras investigaciones.

La construcción de infraestructura civil en las zonas de inestabilidad en Cuenca como Nulti, Carmen de Guzho, Baños, Miraflores y otros, presenta daños que van desde carácter leve a grave (PRECUPA, 1996), identificados en las diferentes etapas de la obra civil (evaluación, planificación, construcción y mantenimiento), por lo que existe un incremento en el presupuesto de obras. Es así que la correcta planificación territorial ligada a temas de inestabilidad de suelos frente a su uso se vuelve imprescindible, además de la determinación de medidas preventivas para evitar deslizamientos; por lo tanto, poseer e interpretar información geotécnica de suelos inestables ayuda a profundizar temas de planificación territorial para la ciudad.

En función de esta problemática, se han desarrollado algunos estudios generales de zonificación de la ciudad según su geología y geotecnia expuestos en el "*Mapa de influencia*



de Cuenca” (PRECUPA, 1996). Estos estudios buscan de cierta manera establecer un registro o base de datos que recolecte la información geológica/geotécnica de la ciudad.

Otro estudio realizado en el año 2002 por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), permitió dar una descripción geológica, análisis de las características y comportamiento mecánico de suelos a fin de mitigar deslizamientos mediante una investigación con perforaciones en la zona de Turi (Gapal y Totoras). (Espinoza Pineda & Valdiviezo Ortiz, 2002)

Se propone iniciar con una zonificación más detallada de la ciudad, poniendo énfasis en sitios con algún historial de inestabilidad, de donde se realizaría una caracterización de propiedades geotécnicas de los suelos presentes. Se inicia con dos laderas de Cuenca inestables frente a deslizamientos. Los dos sitios serán preseleccionados según su historial en problemas de estabilidad o según la complejidad de su suelo. La caracterización se basará en la realización de distintos ensayos físicos (densidad del suelo, granulometría y límites de Atterberg) y mecánicos (compresión simple, corte directo; según el caso).

El presente estudio tiene como objetivo iniciar con la generación de una base de datos detallada, que incluya parámetros geotécnicos de suelos inestables frente a deslizamientos de la ciudad de Cuenca. Esta base conformará un referente sólido y confiable para futuros proyectos, ya sean de carácter constructivo o planes de emergencia, mitigación y/o prevención de riesgos.

1.1. Justificación

Este estudio, se contextualiza principalmente en la problemática de diversas laderas y zonas, sujetas a diferentes tipos de inestabilidades ubicadas dentro y fuera de la ciudad de Cuenca. La inestabilidad aborda diferentes problemas, estos pueden ser de carácter social, económico y cultural, dadas las pérdidas humanas y de materiales que se producen en un deslizamiento de tierra o flujo de lodos.

En Cuenca, las medidas tomadas por el Departamento de Gestión de Riesgos y la Dirección Municipal de avalúos y catastros, deben ser acompañadas de diversos estudios geológicos y geotécnicos para que se proponga una solución clara en cuanto a temas de ordenamiento territorial y recomendaciones para la construcción de obras civiles, en las zonas con problemas de inestabilidad.

La importancia de este trabajo radica en obtener rangos de parámetros geotécnicos para diferentes tipos de suelos que se encuentren comprendidos en áreas sensibles a inestabilidad, donde la falta de información y poca preocupación de las comunidades afectadas han constituido grandes pérdidas. La información obtenida no solo pretende ser cuantitativa sino cualitativa al expresar características del tipo de suelo.

1.2. Alcance

La presente investigación busca analizar dos zonas susceptibles a deslizamientos de acuerdo al Mapa Área de Influencia de la ciudad de Cuenca (Proyecto PRECUPA, 1998), para las cuales se tiene información previa con la que se puede ampliar la base de datos geotécnicos.



La facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, dentro de la materia de Mecánica de Suelos, cada año genera resultados de ensayos de laboratorio para diferentes suelos de la ciudad de Cuenca. Estos resultados podrían resultar una referencia para trabajos geotécnicos en la ciudad, sin embargo, se considera necesario analizar la validez de los mismos. En el presente trabajo se realiza una caracterización a detalle de dos sectores de la ciudad obteniendo muestras de suelo de diferentes sitios dentro del sector de análisis, se realizan pozos que permiten determinar la potencia del suelo en estudio y además tomar muestras a profundidad. A más de obtener una caracterización del suelo y valores cualitativos de parámetros geotécnicos se realiza un análisis comparativo entre propiedades físicas y mecánicas, que permitan obtener patrones de comportamiento ante la variación de ciertas características. Además, se comparan resultados obtenidos a través del presente trabajo, con los resultados recolectados de varios años de reportes de ensayos en estos suelos, en la materia de Mecánica de Suelos.

El suelo de estudio es analizado a diferentes niveles de profundidad y en cambios de estrato, lo que permitirá hacer una comparación de resultados según la profundidad y el tipo de material. Inicialmente, se analizarán características físicas del suelo como densidad, granulometría, límite líquido, límite plástico y contenido de materia orgánica. El ensayo de límite líquido se realizará con muestras obtenidas mediante secado al horno y al ambiente, lo cual conjuntamente con un análisis de materia orgánica permitirá determinar su influencia. Posteriormente, se someterá las muestras o especímenes inalterados al ensayo de compresión simple sometido a una velocidad constante y controlada.

Finalmente, una vez realizada la caracterización geotécnica para cada zona, se procederá al análisis estadístico que permita obtener un rango de valores cuantitativos para cada parámetro geotécnico. Con la finalidad, de ser un referente sólido y confiable de información geotécnica para la toma de decisiones y/o soluciones en proyectos de construcción, reparación o rehabilitación de obras civiles en zonas de susceptibilidad frente a deslizamientos. Además, de comparar con los datos recopilados y determinar su grado de confiabilidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Iniciar con la generación de una base de datos detallada, que incluya parámetros geotécnicos de suelos inestables del cantón Cuenca.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Analizar la geología de las zonas donde se ubican los suelos objeto del presente trabajo.
- ✓ Delimitar las zonas donde afloran los dos suelos estudiados.
- ✓ Recopilación de información de ensayos existentes de los suelos en estudio.



- ✓ Realizar varios ensayos de laboratorio para complementar la información disponible y lograr información estadísticamente representativa.
- ✓ Analizar los resultados recolectados y obtenidos para determinar valores cualitativos y/o cuantitativos de parámetros geotécnicos de los dos suelos estudiados.
- ✓ Revisar la variación de resultados según el tiempo y la ubicación de las zonas de estudio

2. MARCO TEÓRICO

A lo largo del capítulo se pretende dar definiciones y conceptos que permitan al lector entender y analizar las distintas características de los suelos y su influencia en la construcción y/o mantenimiento de obras civiles. Inicialmente se considera conceptos de los parámetros de caracterización geotécnica del suelo y posteriormente las metodologías y avances que se han realizado para clasificar los suelos.

2.1. Suelos y su inestabilidad

Existen diversas clasificaciones o agrupaciones para los suelos según su origen, sus propiedades, el tamaño de sus granos, etc. Una de las clasificaciones más representativas puede ser de acuerdo a la estructura del suelo, su clasificación y características se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1: Clasificación del suelo, según su estructura
Fuente: (Crespo V, 2004)

Tipo de suelo	Características
Suelos arenosos	No retienen agua
	Poca materia orgánica
	Contenido de suelos fino menor al 20%. Cohesión baja
Suelos calizos	Alta composición de sales calcáreas
	Suelos secos y áridos
	Coloración blanca
Suelos humíferos	Abundante materia orgánica en descomposición
	Buena retención de agua
	Coloración oscura (tierra negra)
Suelos arcillosos	Contenido de arcillas mayor al 50%.
	Granos finos de coloración amarillenta
	Suelos cohesivos y con buena plasticidad
Suelos pedregosos	Variedad de tamaños de rocas
	No retienen agua
Suelos francos	Contenido de elementos finos intermedio entre los anteriores
	Características físicas y químicas intermedias
	Suelos equilibrados, buena textura y fertilidad

De acuerdo a la Tabla 1, tenemos una clasificación para la cual algunos términos son utilizados generalmente, como para el caso de suelos arenosos y arcillosos; parte de los



criterios para su clasificación es el grado de permeabilidad y su contenido de materia orgánica, para estudios dentro del campo de agricultura es recomendada esta clasificación.

Por otro lado, de acuerdo al estudio: “Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador”, los suelos se pueden agrupar de acuerdo a los materiales sobre los que se desarrollan, estos son: suelos aluviales, suelos sobre cenizas volcánicas y suelos sobre rocas antiguas. Los primeros están compuestos de material sedimentario reciente, y pueden encontrarse en un medio fluvio-marino o un medio fluvial. Los estudios en suelos sobre ceniza volcánica son de gran relevancia en Ecuador; por su gran extensión, cubriendo más del 30% del suelo ecuatoriano y su vínculo con la agronomía. La evolución de este tipo de suelos depende de la naturaleza y edad de los materiales. Para el caso de los suelos sobre rocas antiguas, presentes en 2/3 del Ecuador continental (Región Amazónica peri-andina, la zona costanera y parte de la región andina). Las rocas pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; dependiendo el clima, la roca madre y topografía. (Zebrowski & Sourdat, 1997)

De acuerdo a la Figura 1, para la zona de Cuenca se tiene se tiene presencia del suelo tipo V_w , que corresponde a un material de origen de depósitos coluviales de materiales detríticos antiguos de origen volcánico, así mismo, este suelo presenta coloración oscura, y en su mayoría constituido de material arcilloso, que en acción de humedad son considerados pesados y en estado seco son duros. Su profundidad es variable, y en su mayoría alto contenido de carbonato de calcio (CO_3Ca).

A pesar de que la información anteriormente expuesta es relevante, se debe considerar información y mapas actualizados locales, pues, proporcionan un análisis más minucioso y detallado del tema. Por esta razón, de acuerdo a los mapas geológicos del proyecto PRECUPA (1988), en un apartado posterior se analiza la geología y geotecnia de formaciones localizadas en las áreas de estudio.

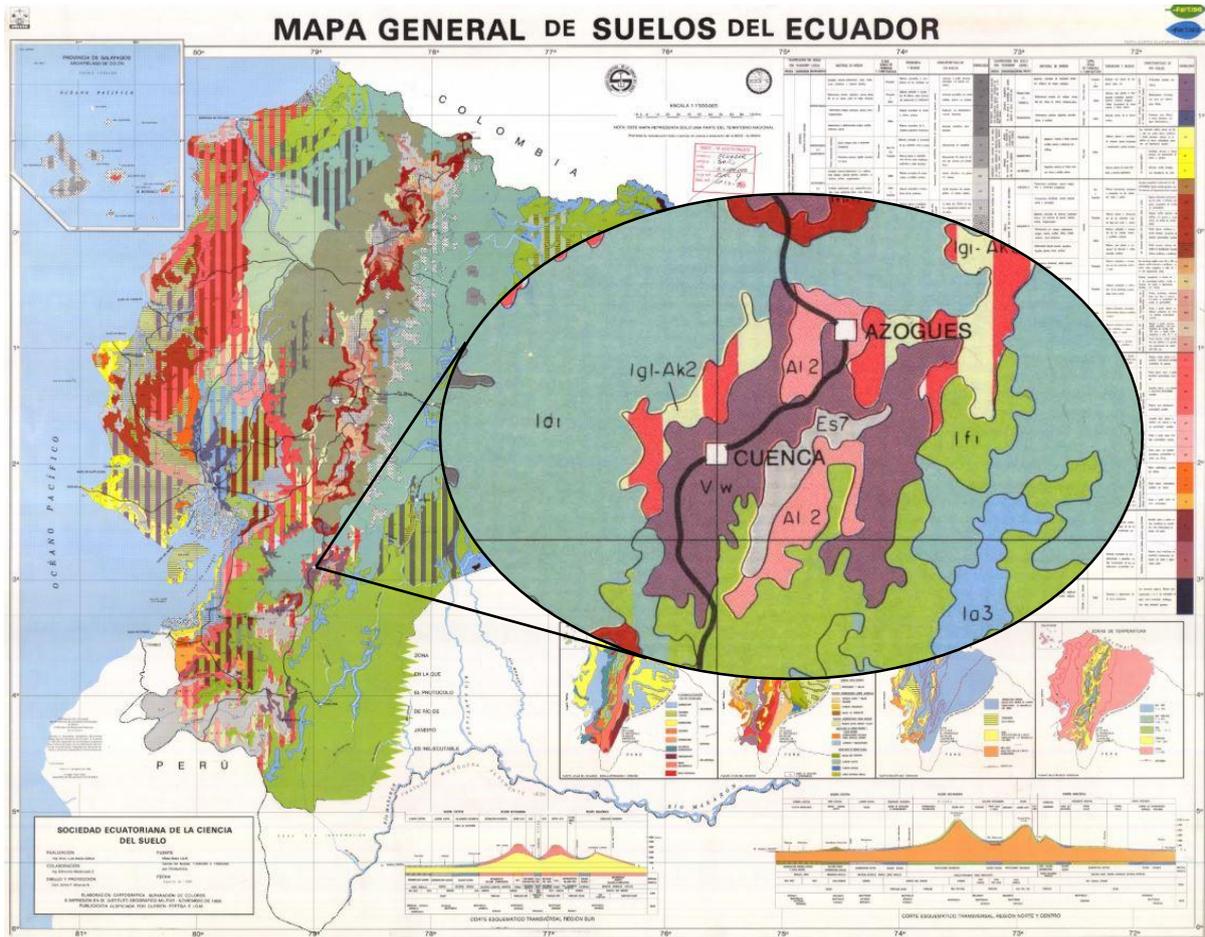


Figura 1: Tipos de suelos ubicados para la ciudad de Cuenca
Fuente: (Geoportal GifeX, 1986)

Al realizar un análisis del tipo de suelo presente en cada zona, es posible obtener información previa del comportamiento geotécnico de suelos y sus posibles problemas de inestabilidad dependiendo de la zona en la que se ubica, su topografía, acción de agua en el suelo y el material que compone el suelo principalmente. Es por esto que resulta importante detallar factores y/o condiciones que no favorecen a la estabilidad de un suelo.

2.2. Factores de inestabilidad del suelo en laderas

La estabilidad de un terreno puede verse afectada por diversos factores que pueden mantenerse constantes o de poca variabilidad en el tiempo y otros, que varían de acuerdo a ciertos periodos. Dicho esto y enfocado a laderas de acuerdo al tema de investigación, los factores pueden clasificarse en constantes y variables, de acuerdo a la siguiente tabla (Técnico Profesional, 2012).

Tabla 2: Tipos de factores que afectan la estabilidad del suelo en laderas
Fuente: (Técnico Profesional, 2012)

Factores Constantes	Factores Variables
Naturaleza de los materiales	Climatología
Relación estructura-ladera	Meteorización
Pendiente topográfica y morfología de la ladera	Agua

Vegetación

Erosión fluvial y costera

Sismicidad de la zona

Acciones Antrópicas

Entre los factores más influyentes según varias fuentes, se encuentra: la naturaleza de los materiales, la acción del agua en el suelo y las acciones antrópicas. La relación entre estos factores puede potenciar la inestabilidad de un suelo; por ejemplo, los deslizamientos por saturación del terreno, baja permeabilidad que reduce la salida de aguas infiltradas, diferencias marcadas en la resistencia de los estratos. Dentro de las acciones antrópicas, especialmente para la ciudad de Cuenca se tiene, la obstrucción o cambio del curso del agua, cortes verticales de taludes, obras de drenaje ineficientes y especialmente la construcción de infraestructura menor sobre quebradas (Cordero, s/f), además de la ubicación de la ciudad en una zona de alta actividad sísmica de acuerdo a la *NEC – SE – S Peligro sísmico*.

2.3. Deslizamientos en laderas

Entre las inestabilidades predominantes tenemos los deslizamientos, definidos como movimientos o desplazamientos externos de masas en sentido descendente (Escobar Potes & Duque Escobar, 2016). Zonas montañosas o la presencia de laderas o taludes, son altamente susceptibles a problemas de deslizamientos pudiendo generar riesgos para el ser humano y su infraestructura (Suarez Díaz, 1998).

Un deslizamiento es un tipo de movimiento de tierra que presencia corte en una o más superficies (Figura 2). La masa móvil puede ser una o estar compuesta de varios cuerpos con comportamiento semi-independiente. Sus causas están vinculadas a los factores expuestos en la Tabla 2, con énfasis en factores constantes y las acciones antrópicas, tales como cortes, rellenos, deforestación entre otros (Suarez Díaz, 1998).

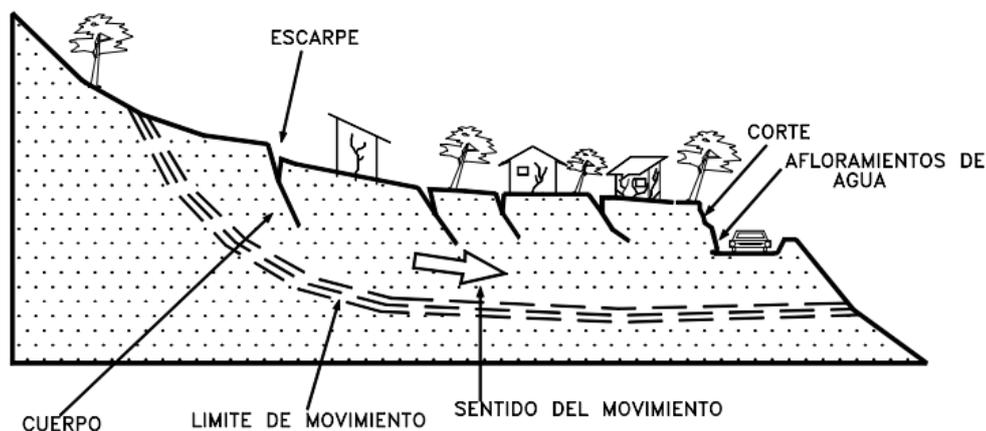


Figura 2: Partes de un deslizamiento
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

Existen dos tipos de deslizamientos: rotacionales y traslacionales. Cada uno se diferencia por el sentido de movimiento, su análisis y su estabilización. El primero mantiene una superficie curva de falla, donde su centro de giro se encuentra sobre el centro de gravedad de la masa en movimiento. La dirección del movimiento se encuentra marcada por agrietamientos

concéntricos y cóncavos; cuando se tiene material de resistencia al corte variable en profundidad, el movimiento del terreno no es circular sino mantiene una forma curvilínea (Figura 3). La superficie de falla responde a las discontinuidades, juntas y planos de estratificación que presenta el terreno. Es importante mencionar que este tipo de deslizamientos se encuentra en suelos homogéneos, y debido a la facilidad de análisis existen varios estudios sobre estos.

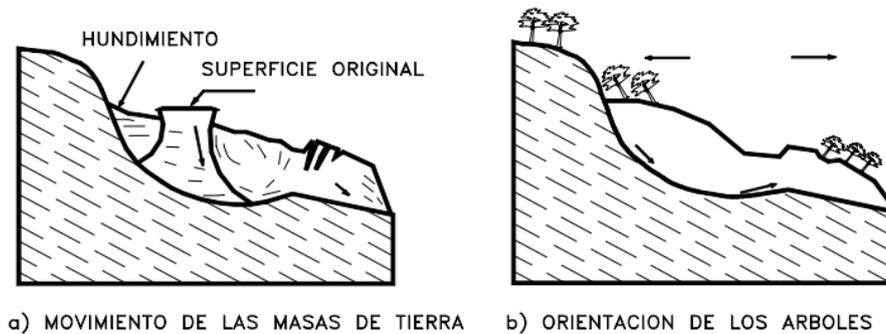


Figura 3: Deslizamiento rotacional típico
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

El siguiente tipo de deslizamiento es traslacional y corresponde a un movimiento a lo largo de una superficie plana o ligeramente ondulada con un mínimo movimiento de rotación o volteo (Figura 4). Generalmente, se encuentra en zonas con presencia de fallas, juntas, fracturas, planos de estratificación y zonas meteorizadas, es decir, donde se produzcan cambios del valor de resistencia al corte. Es importante mencionar que en varias ocasiones si la masa se deforma y/o rompe puede convertirse en flujo, lo cual implica mayores problemas y donde el riesgo aumenta significativamente. Dependiendo del número o tipo de superficie sobre el que ocurre el deslizamiento, se divide en (Suarez Díaz, 1998):

- Deslizamiento del bloque, ocurre sobre discontinuidades sencillas en roca.
- Deslizamiento de cuña, se desarrolla a lo largo de dos discontinuidades
- Falla en escalera, sobre varios niveles de una familia de discontinuidades.

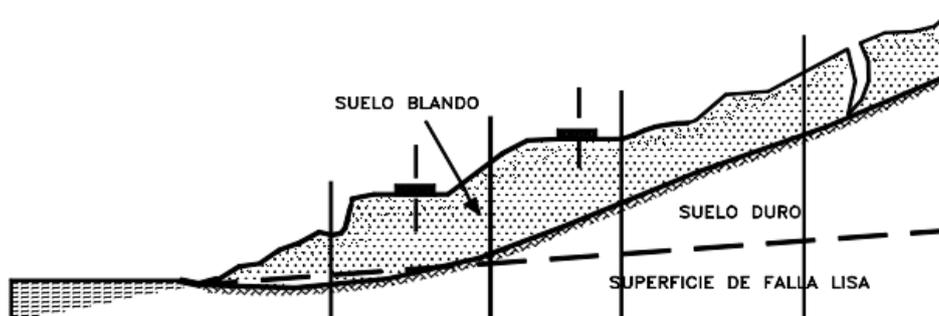


Figura 4: Ejemplo de deslizamiento traslacional
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

La clasificación de deslizamientos de acuerdo a su estado de actividad divide en tres tipos, según la UNESCO (1993), los cuales son:

- Deslizamientos activos: presenta evidencia visible del movimiento del terreno.

- Deslizamientos latentes: se presentan indicios de movimientos, sin embargo, pueden ser reactivados por deficiencias en propiedades geomecánicas del terreno, por diversos factores.
- Deslizamientos relictos: actualmente se encuentran en estado inactivo, pero se desarrollaron en condiciones hidrometeorológicas y geomorfológicas diferentes a las condiciones actuales.

2.4. Inestabilidad de suelos frente a macro-deslizamientos en Ecuador

Se debe entender que un deslizamiento comprende dos partes involucradas que son el fenómeno causante y la población. El crecimiento poblacional involucra el aumento del área afectada, lo que implica un mayor riesgo a desastres más graves y costosos. De acuerdo a la ubicación geográfica y su formación geológica, Ecuador es un país altamente vulnerable en tema de sismos, procesos volcánicos y deslizamientos (Castillo I, s/f). En los últimos 30 años, se han registrados deslizamientos importantes a escala regional y nacional, a manera informativa se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3: Principales deslizamientos en el Ecuador desde 1990
Fuente: (Castillo I, s/f)

Fecha	Provincia	Lugar	Coordenadas		Daños
			Latitud	Longitud	
02/01/1990	Pichincha	El Pisque	00° 00' 36"	78° 18' 35"	Pérdidas materiales, represamiento del río Pisque con 5'068.111 m ³ de agua durante 24 días
29/03/1993	Azuay	La Josefina	02° 50' 51"	78° 50' 33"	35 muertos, 60 desaparecidos, 200 millones de dólares en pérdidas directas, represamiento del río Paute durante 32 días con 191 × 10 ⁶ m ³ de agua
03/04/1999	Chimborazo	Huigra	02° 16' 03"	78° 52' 26"	Dstrucción de 2 Km de la línea férrea Riobamba-Bucay hasta la actualidad
08/02/2000	Chimborazo	Guasuntos	02° 13' 59"	78° 48' 37"	Dstrucción de 8 viviendas, 7 muertos y represamiento del río Guasuntos durante 22 días

2.5. Caracterización geológica aplicada a zonas de inestabilidad en la ciudad de Cuenca (PRECUPA, 1998)

Debido a la importancia que tiene la geología en todo proyecto geotécnico y para establecer de mejor manera los sitios en estudio, a continuación, se desarrolla la interpretación geológica/geotécnica de formaciones que tienen mayor influencia en zonas de riesgo:

- Terrazas aluviales (Qt_{1-5})

Son depósitos de origen aluvial. En la zona de Cuenca cubren en extensas áreas planas con cinco diferentes niveles de terrazas, compuestas por potentes capas conglomeráticas de matriz areno-arcillosa distribuida en las márgenes de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui, desde Sayausí hasta el Descanso.

En general presentan niveles freáticos de poco a medianamente profundos. Su suelo es usado como base de carreteras, material de lastre de vías y áridos de hormigón pobre. Son depósitos competentes, permeables, aptos para la construcción y buen terreno de cimentación; es así que sus los deslizamientos producidos pueden ser de causas geológicas o morfológicas.

Los taludes en estado natural son estables hasta los 29° de inclinación; se puede producir socavación y dar inicio a la inestabilidad con caída de bloques y desprendimientos

- Depósitos coluviales (Q_c)

Son depósitos que han sufrido poco transporte, la heterogeneidad depende la zona u originado por deslizamientos, derrumbes, flujos, etc. Compuesto en su mayoría de material angular o subangular de matriz limo arcillosa. Puede ser utilizado como material de subbase en vías.

Para depósitos antiguos (compactados y de permeabilidad media a baja) se tiene una susceptibilidad de moderada a alta si se mantiene pendientes naturales de entre 15-25°, para depósitos jóvenes en la mayoría de casos esta es alta. La reactivación en taludes potencialmente inestables se debe a variaciones de condiciones intrínsecas, desencadenantes y antrópicas. En pendientes naturales de entre 15° y 25°, la susceptibilidad de estos depósitos esta entre moderada y alta.

- Formación Turi (M_{TU})

Es parte de la serie más joven de la cuenca sedimentaria de Cuenca, su litología es variada: conglomerados de base, arenas, arcillas, tobas y brechas bien estratificadas.

Ante pendientes fuertes es común la caída de bloques; son poco permeables con niveles freáticos profundos y puede ser usado como material de relleno.

- Formación Mangán (M_M)

Secuencia de limolitas, lutitas y areniscas; es la primera formación de la serie más joven de la cuenca sedimentaria de Cuenca. Al estar expuestas puede sufrir erosión (a causa del lavado de material fino) y movimientos del terreno. Generalmente el nivel freático es poco profundo.

La alternancia de estratos competentes e incompetentes favorece el desarrollo de superficies débiles que junto a la mala utilización y cortes inadecuados de terreno pueden generar problemas de inestabilidad.

2.6. Metodologías de evaluación de suelos

Existen diferentes metodologías para la evaluación del suelo, dependiendo la envergadura de la obra civil a construir se puede elegir un método con respecto a otro, según su aplicabilidad y sensibilidad en sus resultados, lo cual repercute significativamente en el ámbito económico.

Existen diferentes clasificaciones y métodos, donde el costo jugará un papel importante para determinar la factibilidad de un método u otro, la facilidad de aplicación y resultados también dependerán de la magnitud de la obra. Las siguientes metodologías son comúnmente usadas en diversos proyectos geotécnicos para estudios preliminares.

2.6.1. Identificación visual

El primer acercamiento para una zona de estudio puede ser la identificación tacto – visual, que nos da una idea general cualitativa y descriptiva de la zona de estudio. Donde se registran datos de color, tamaño, forma y distribución de partículas. En caso de suelos finos, se lo puede diferenciar de acuerdo a la dilatancia, tenacidad y resistencia en seco (Angelone, 2007).

Una identificación tacto - visual, nos puede dar una idea general de la consistencia del tipo de suelo así como su resistencia a la compresión simple (q_u). La siguiente tabla resume lo anteriormente expuesto de acuerdo a la identificación en campo de acuerdo a tacto para suelos arcillosos.

Tabla 4: Expresiones cualitativas y cuantitativas de la consistencia en arcillas
Fuente: (García Trejo & Ramírez López, 2006)

Expresiones cualitativas y cuantitativas de la consistencia de las arcillas			
Consistencia	Características	Identificación en campo	Resistencia a la compresión simple (q_u) (kg_f/cm^2)
Muy blanda	Arcillas de formación reciente, arcillas normalmente consolidadas.	El puño puede penetrar en ella con mucha facilidad varios centímetros.	Menos de 0,25
Blanda		El pulgar puede penetrar en ella con mucha facilidad varios centímetros.	0,25 a 0,50
Media	Arcillas preconsolidadas resecadas o cementadas	El pulgar con esfuerzo moderado puede penetrar en ella con mucha facilidad varios centímetros.	0,50 a 1,00
Firme		El pulgar se encaja fácilmente pero éste solo penetra aplicando un gran esfuerzo.	1,00 a 2,00
Muy firme	Arcillas sobreconsolidadas	La uña del pulgar se encaja fácilmente.	2,00 a 4,00



Dura

La uña del pulgar entra con mucha dificultad.

Mayor de 4,00

2.6.2. Ensayos en el campo (Das, 2001)

Se utiliza generalmente para construcciones y excavaciones y cuando se contempla adiciones o alteraciones de estructuras ya existentes. Esta exploración se utiliza para obtener la siguiente información:

1. Seleccionar el tipo y profundidad adecuada.
2. Evaluar la capacidad de carga.
3. Estimar el asentamiento probable.
4. Determinar problemas potenciales de la cimentación.
5. Determinar el nivel freático.
6. Predecir la presión lateral de tierra, y
7. Establecer métodos de construcción en condiciones cambiantes.

Es importante mencionar que los ensayos en campo para obtener la resistencia a cortante son bastante útiles, debido a las siguientes razones (Suarez Díaz, 1998):

1. Eliminación de posibles alteraciones en las etapas de muestreo, transporte y almacenamiento.
2. El tamaño de la muestra es mayor y representativo.

Los siguientes procedimientos se utilizan para hallar propiedades mecánicas del suelo.

- CPT: conocida como la prueba de penetración de cono. Es un método variable que permite determinar los materiales presentes en un perfil de suelo y estimar sus propiedades, incluye la resistencia del cono (q_c) y la resistencia por fricción (f_c). Para su medición generalmente se utilizan dos tipos de penetrómetros: de cono de fricción mecánica y de cono eléctrico de fricción. En el primer caso, la punta se conecta a las barras internas, donde la fuerza aplicada es igual a la suma de las fuerzas verticales sobre el cono y el mango, y su resistencia lateral se obtiene restando la fuerza aplicada de la fuerza sobre el cono; mientras, que para el segundo tipo de penetrómetro se poseen alambres pasados por el centro de las barras dando resultados continuos de las resistencias de cono y lateral.

$$F_r = \frac{\text{resistencia por fricción}}{\text{resistencia de cono}} = \frac{f_c}{q_c} \quad \text{Ecuación 1}$$

Además, la literatura expresa que mediante el valor de resistencia de la penetración del cono, se obtiene el ángulo de fricción o cohesión, para ello existen diversas correlaciones; de igual forma con información de la resistencia de cono (q_c), y la razón de fricción (F_r), definida como se observa en la Ecuación 1. Este ensayo se realiza de acuerdo a la normativa (ASTM D3441-10, 2016) y (ASTM D5778 -12, 2012).

- Veleta: usado durante la operación de la barrena in situ, donde se obtiene la resistencia de corte no drenado de suelos arcillosos, este ensayo es recomendado únicamente para suelos finos. Se realiza conforme a la normativa (ASTM D2573 / D2573M-18, 2018)

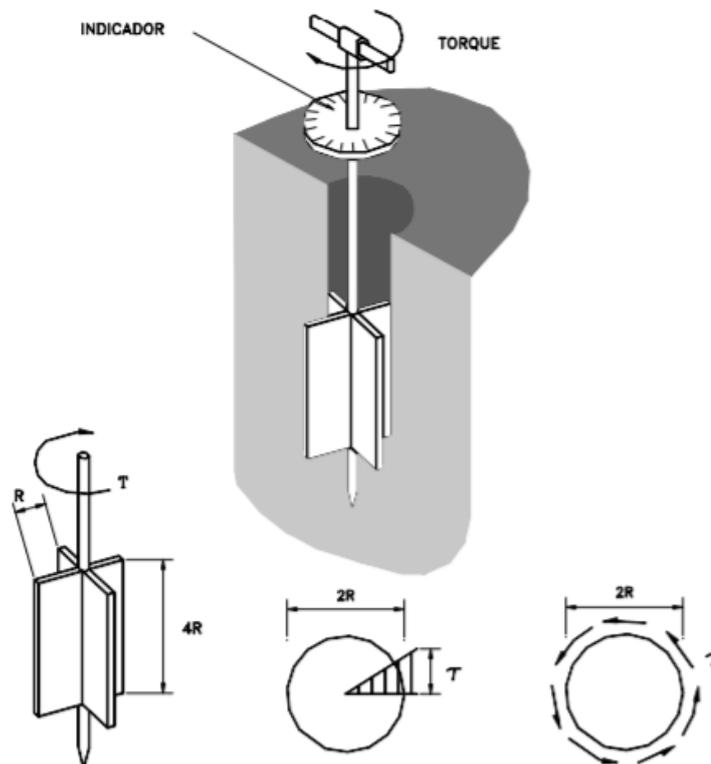


Figura 5: Detalle del ensayo de veleta
Fuente: (Suarez Díaz, 1998)

Su principio se basa en la aplicación de un torque a fin de producir una falla a lo largo de una superficie cilíndrica. La resistencia al cortante depende de la geometría de la veleta y la forma de sus alas, o con la relación diámetro altura, en caso de considerar una veleta de relación 1:2 de altura respecto al diámetro, se tiene la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{6}{7} \left(\frac{M}{\pi D^3} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$



Dónde:

M = Torque

D = Diámetro de la veleta

- SPT: el ensayo de penetración estándar es empleado para tomar muestras inalteradas y analizar la consistencia del suelo. De acuerdo a la normativa (ASTM D 1586 / D1586M-18, 2018) se utiliza un tubo partido, que será hincado 300 mm, con la acción de un martillo de 63 kg cayendo a una altura de 750 mm. El número de golpes empleados se denomina N de penetración estándar, y con ello se puede estimar el valor del ángulo de fricción interna (ϕ) en arenas. Por lo tanto, este ensayo es recomendado para diversos suelos, sin embargo, para arcillas blandas o limos no es recomendable

2.3.3. Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio son métodos más exactos que permiten evaluar las diferentes propiedades del suelo. Aunque se requieren equipos simples o sofisticados estos permiten poseer información amplia del suelo que se analiza que en muchos casos es incompleta con métodos visuales o ensayos in situ de la obra.

En la siguiente tabla se detallan ensayos de laboratorio a utilizarse para el análisis de este estudio, así como los parámetros e información a obtener.

Tabla 5: Resumen de ensayo de laboratorio a ser aplicados
Fuente: (Das, 2010)

Ensayo de laboratorio	Datos a obtener	Norma aplicativa
Determinación de peso específico	Peso específico húmedo y seco	(ASTM D2167-15, 2015)
Análisis granulométrico por cribado con mallas	% material retenido en cada malla, curva granulométrica	(ASTM D422-63, 2007)
Límites de Atterberg	Límite líquido y límite plástico para el cálculo de índices	(ASTM D4318-17e1, 2017)
Ensayo de contenido de materia orgánica	Contenido de materia orgánica	(AASHTO T267-86, 2008)
Ensayo de resistencia a compresión simple	Resistencia a la compresión simple y ángulo de fricción	(ASTM D2166, 2016)

2.4. Caracterización geotécnica de los suelos

En todo proyecto geotécnico se requiere del estudio e interpretación de valores de propiedades y parámetros del subsuelo. La identificación de riesgos para países sísmicos es de suma importancia debido al comportamiento que tiene el suelo ante ondas sísmicas. El estudio geotécnico debe ser imprescindible en zonas con características de inestabilidad, dado que es un referente sólido para el análisis de riesgos para el ser humano. El conocimiento del comportamiento del subsuelo permite tomar medidas de seguridad ante construcciones de obras civiles en la zona, mediante la creación de modelos geotécnicos. Los suelos hallados en la superficie pueden diferir con los estratos que se encuentran por debajo, los mismo que reciben las cimentaciones de futuras construcciones, por lo que la correcta clasificación del suelo orienta a una determinada cimentación dependiendo del suelo portante específico (Quesada, s/f).

La caracterización geotécnica comprende la determinación de la composición y propiedades físicas, mecánicas e hídricas de los estratos que conforman el subsuelo y sean influenciados por fenómenos naturales u obras civiles (Duque & Escobar, 2016).

2.4.1. Estratigrafía

La estratigrafía permite definir niveles de distribución y material que conforma el suelo, según distintas características o cualidades (Salvador & Ortiz, 2001). La estratificación que se forma en el perfil estratigráfico es de acuerdo al modo de sedimentación de materiales, formando una serie de capas más o menos paralelas que se denominan estratos. El perfil estratigráfico se realiza de acuerdo a datos obtenidos de estudios de perforaciones, datos de prospección geofísica o cortes naturales que muestren el material contenido en el terreno (Pasotti, s/f).

2.4.2. Propiedades físicas

“La condición física del suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes.” (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004). En la Figura 6, se muestra de manera gráfica diferentes relaciones entre la densidad, relación de vacíos y contenido de agua para un volumen que comprende las tres fases del elemento suelo. A continuación, se detallan diferentes conceptos que comprenden características físicas importantes para el estudio de suelos, tales como:

- *Textura del suelo:* Es la proporción relativa de los tamaños de partículas que constituyen el suelo. Para ello el suelo debe ser evaluado en sus tres fases (sólidos, agua y aire).
- *Estructura del suelo:* De acuerdo a la forma en que las partículas se unen para formar agregados. Esta estructura puede ser: subangular, laminar, prismática y granular (FAO, 2017)

- **Porosidad del suelo:** De acuerdo a las definiciones anteriores, esta propiedad es consecuencia de la textura y estructura del suelo, donde los poros o vacíos se pueden expresar relacionando el volumen de vacíos y el total de la muestra.
- **Color del suelo:** Esta propiedad se asocia a los componentes del suelo, como óxidos, minerales o materia orgánica, también puede variar según la humedad del suelo, o malas condiciones de aireación entre otros.

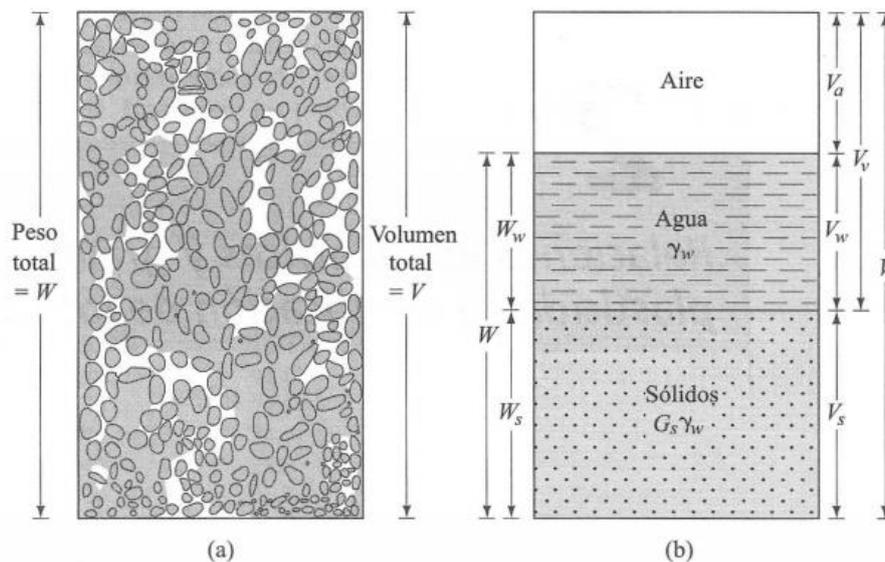


Figura 6: (a) Elementos del suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo
Fuente: (Das, 2001)

- **Densidad o Peso específico**

Se refiere a la cantidad de materia sólida (W) en un volumen definido (V), se puede analizar en estado húmedo (γ) o seco (γ_d), para este último caso se debe conocer el contenido de humedad de la muestra (w). Las siguientes expresiones permiten obtener su valor para cada condición (Nieto & Zambrano, 2018).

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad \text{Ecuación 4}$$

De acuerdo a los valores obtenidos mediante la Ecuación 4, se puede asociar a la consistencia de diversos suelos finos y otras propiedades como la humedad y el índice de vacíos, como se detalla en la Tabla 6.

Tabla 6: Propiedades de suelos finos
Fuente: (González de Vallejo, Ingeniería Geológica, 2004)

Suelos finos	Densidad seca γ_d (g/cm ³)	Humedad w (%)
Muy blandos	<1,40	>55
Blandos	1,40-1,55	40-55
Consistencia media	1,55-1,70	25-40
Duros	1,70-1,80	15-25
Muy duros	>1,80	<15

- Fricción interna

La fricción interna geoméricamente corresponde al ángulo de fricción, el cual se encuentra definido como:

$$f = \tan(\phi)$$

Ecuación 5

Dónde:

f = coeficiente de fricción interna

ϕ = ángulo de fricción interna

Existen diversos factores que afectan el valor del ángulo de fricción, pero principalmente se tiene (Suarez Díaz, 1998):

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

- Cohesión

Para este caso se encuentra considerada como una medida de adherencia entre las partículas que conforman el suelo. De acuerdo a la mecánica de suelos, el valor de cohesión nos permite representar la resistencia al cortante producida por la adherencia de partículas. Para el caso de suelos granulares no se tiene adherencia lo que implica que el valor de cohesión es igual a 0, y pueden ser llamados suelos no cohesivos. La cohesión aparente en suelos no saturados comprende la presión negativa o fuerzas capilares, que desaparecen con la saturación (Suarez Díaz, 1998).

2.4.3. Clasificación del suelo

Los distintos tipos de materiales que componen el suelo para su evaluación general o completa, de acuerdo a diferentes propiedades analizadas u obtenidas, pueden ser clasificadas de acuerdo al sistema de clasificación AASHTO y al sistema unificado de clasificación de suelos SUCS. Para ello, es necesario conocer las siguientes características del suelo y finalmente se explicarán los sistemas de clasificación mencionados.

- *Distribución granulométrica* (Das, 2012).

La distribución granulométrica corresponde al tamaño de los granos de suelo y el porcentaje que cada tamaño conforma. Realizar inicialmente este análisis permite conocer previamente el posible comportamiento del suelo junto con su plasticidad (Bañon Blázquez & Bevia García, 2000). Su análisis se puede realizar a través de mallas para suelos de grano grueso y en el caso de suelos de grano fino se recomienda el análisis del hidrómetro.

La distribución granulométrica analizada con mallas requiere que una muestra de suelo pase a través de un conjunto de tamices estandarizados ordenados de mayor a menor abertura (Tabla 7). Donde su resultado se expresa como el porcentaje del peso total del material retenido en cada malla; para este análisis se utiliza la normativa (ASTM D422-63, 2007).

Tabla 7: Tamaño de mallas estándar
Fuente: (Das, 2001)

Malla No.	Abertura [mm]
N° 4	4,75
N° 6	3,350
N° 8	2,360
N° 10	2,000
N° 16	1,180
N° 20	0,850
N° 30	0,600
N° 40	0,425
N° 50	0,300
N° 60	0,250
N° 80	0,180
N° 100	0,150
N° 140	0,106
N° 170	0,088
N° 200	0,075

La forma más representativa del análisis por mallas o hidrómetro, corresponde a la gráfica semilogarítmica de la curva de distribución granulométrica. El diámetro de las partículas se grafica en escala logarítmica versus el porcentaje en escala aritmética de material que pasa. Mediante este análisis se obtiene el porcentaje de grava, arena, limo y arcilla presente en la muestra de suelo. Los tamaños límite para cada uno están de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, como se detalla a continuación.

- Grava → límite de tamaño: mayores que 4,75 mm
 - Arena → límites de tamaño: entre 4,75 y 0,075 mm
 - Limo y arcilla → límite de tamaño: menores que 0,075 mm
- Carta de plasticidad

La carta de plasticidad responde a los estudios realizados por Casagrande, donde se halla la relación entre el índice de plasticidad y el límite líquido, que permite clasificar al suelo de acuerdo a su plasticidad y compresibilidad. De acuerdo a la Carta de Plasticidad se puede clasificar a los suelos en dos grupos: de baja a media compresibilidad cuando su límite líquido es menor al 50% y en caso de que sea mayor al 50% se define de alta compresibilidad (Juárez Badillo & Rico Rodriguez, 2005). Es importante recalcar que la carta de plasticidad permite realizar la clasificación del suelo mediante el análisis por el método del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

La línea A mostrada en la Figura 7, corresponde a la Ecuación 6 y permite separar las arcillas inorgánicas (sobre la línea A) de los limos inorgánicos (debajo de la línea A). Los limos orgánicos se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de compresibilidad media (debajo de la línea A y $30 < LL < 50$); para el caso de las arcillas inorgánicas estas se grafican en la misma región que los limos inorgánicos de alta compresibilidad (debajo la línea A y $LL > 50$).

$$PI = 0,73(LL - 20)$$

Ecuación 6

La línea denominada U, obedece a la Ecuación 7. Corresponde al límite superior del índice de plasticidad respecto al límite líquido y es utilizada en el análisis de cualquier tipo de suelo (Das, 2001).

$$PI = 0,9(LL - 8)$$

Ecuación 7

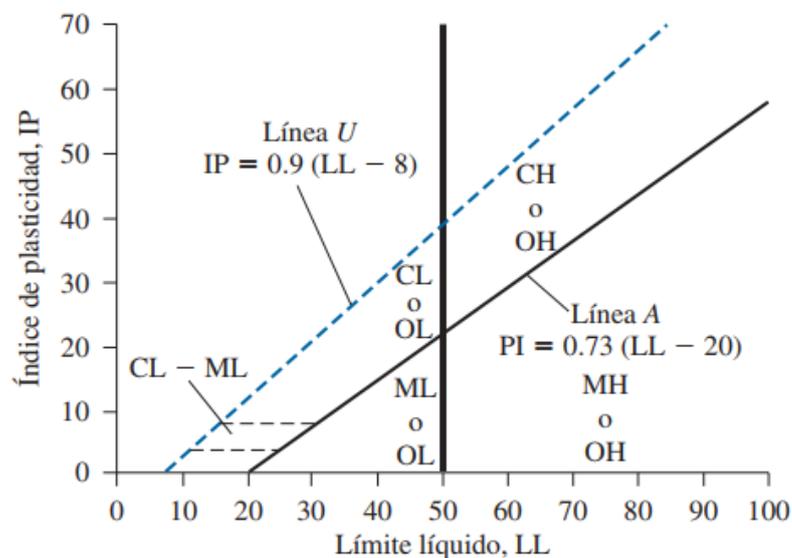


Figura 7: Gráfica de plasticidad
Fuente: (Das, 2012)

- Límites de Atterberg

Conocido también como límites de consistencia, su teoría fue desarrollada por el científico sueco Albert Atterberg y se basa en la naturaleza del material y el comportamiento de suelos finos pasados por el tamiz No. 40 con diferente contenido de agua. Como resultado se puede tener un suelo en estado sólido, semisólido, plástico y líquido. Estos límites se utilizan para identificar y clasificar el suelo. (Puy Santín, 2005)

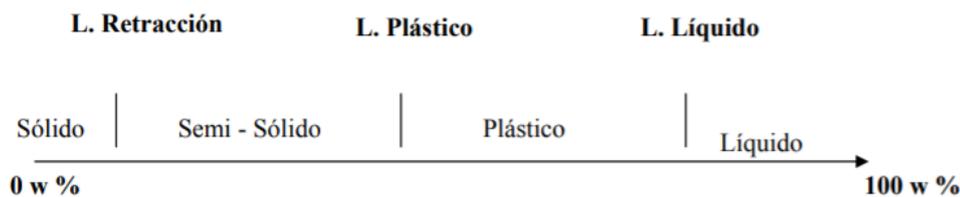


Figura 8: Representación de límites de Atterberg
Fuente: (Puy Santín, 2005)

El análisis de consistencia del suelo, permite tener una idea del tipo de suelo que se analiza, así como sus propiedades; conjuntamente con el análisis granulométrico conlleva a la identificación y clasificación de la muestra de suelo. Los límites de consistencia más utilizados se detallan a continuación, así como los índices que se pueden obtener.

- Límite líquido

Según lo definido por Atterberg, su obtención ha sufrido variaciones a lo largo del tiempo. Es por esto que, en 1927, Casagrande desarrolló un dispositivo mecánico que eliminaría significativamente el error por parte del operador para obtener el límite líquido, gracias a una sugerencia de Terzaghi.

El límite líquido se definiría como el contenido de agua en porcentaje, que permite que el suelo que la resistencia a cortante del suelo sea de 25 g/cm^2 (Das, 2001).

- Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de agua, que permite la formación de rollitos que se desmoronen o fisuren con un diámetro de 3,2 mm (Das, 2001).

- Índice de plasticidad (IP)

Se denomina a la diferencia entre el límite líquido y plástico, el cual representa un grado satisfactorio de plasticidad del suelo, y que permitiese distinguir los materiales que conforman un tipo de suelo (Tabla 8).

Tabla 8: Valores referenciales del IP y del tipo de suelo
Fuente: (Puy Santín, 2005).

Tipo de suelo	Valores del índice de plasticidad (IP)
Suelos desmenuzables	$IP < 1$
Suelos débilmente plásticos	$1 \leq IP < 7$
Suelos medianamente plásticos	$7 \leq IP < 15$
Suelos altamente plásticos	$IP \geq 15$

- Índice de Consistencia

A partir de los límites de Atterberg se puede obtener el índice de consistencia (IC), el cual indica la firmeza del suelo y los cambios en el contenido de agua causantes de los estados: sólida, plástica, suave, viscosas y consistencia líquida (Garroux G & et al, 2018). El índice de consistencia se calcula con la Ecuación 8, que está en función del límite líquido (LL), límite plástico (LP) y contenido de humedad del suelo (W).

$$IC = \frac{LL - W}{LL - LP}$$

Ecuación 8

De acuerdo al valor de (*IC*) es suelo puede tener diferentes consistencia como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Consistencia del suelo
Fuente: (Holtz & Kovacs, 1981)

Índice de consistencia	Consistencia del suelo
$IC > 1$	Media dura, sólida
$0,75 < IC < 1$	Plástica
$0,5 < IC < 0,75$	Suave
$0 < IC < 0,5$	Viscosa
$IC \leq 0$	Líquida

Los límites de Atterberg constituyen un método indirecto para determinar el potencial expansivo del suelo de manera cualitativa, ya que las características plásticas y el hinchamiento de los suelos se relacionan por la cantidad de agua que el suelo absorbe. La Tabla 10 presenta la clasificación de suelos expansivos según Kansas Highway Commission (Meza, 2005), la cual relaciona el índice plasticidad con el potencial de expansión en suelos.

Tabla 10: Potencial de expansión del suelo según el IP
Fuente: (Meza, 2005)

IP	Clasificación del potencial de expansión
<15	Bajo a nulo
15-35	Medio
>35	Alto

Otro parámetro de plasticidad que se utiliza para evaluar la expansividad del suelo es el límite líquido *LL* (González de Vallejo, Ingeniería Geológica, 2004), la Tabla 11 presenta los grados de expansión.

Tabla 11: Grados de expansión del suelo
Fuente: (González de Vallejo, Ingeniería Geológica, 2004)

Grado	Expansividad	Finos (%)	Límite líquido	Presión de hinchamiento (kPa)	Hinchamiento libre (%)
I	Baja	<30	<35	<25	<1
II	Baja a media	30 – 60	35 – 50	25 – 125	1 – 4
III	Media a alta	60 – 95	50 – 65	125 – 300	4 – 10
IV	Muy alta	>95	>65	>300	>10

2.4.3.1. Sistema de clasificación AASHTO (1945)

Este sistema es generalmente utilizado por los principales departamentos de caminos estatales, para ello clasifica al suelo en siete grupos mayores: A-1 al A-7. Los primeros tres grupos lo conforman material granular, donde 35% o menos pasa por el tamiz #200; los siguientes grupos están conformados por suelos de más de un 35% que pasa el tamiz #200 y generalmente está formado por materiales tipo limo y arcilla, el criterio de selección para cada grupo se presenta en el Anexo 1 (Das, 2001).

2.4.3.2. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (1945)

El sistema SUCS se torna relevante si se analizan parámetros asociados al comportamiento fundamental de suelos granulares. El análisis se basa en la granulometría y en los límites de Atterberg de los suelos. Comparado al sistema anterior su diferencia está en la consideración del contenido de finos donde corresponde a partículas de diámetro equivalente menor a 0,075 mm, pasante del tamiz #200; si menos del 50% del peso del suelo pasa este tamiz, el suelo es "grueso" y puede ser arena o grava usando el tamiz #4; caso contrario es suelo "fino", un limo o arcilla de acuerdo al límite de plasticidad. Un esquema general del sistema SUCS, se presenta en el Anexo 2 (Narsilio & Santamarina, 2016).

2.5. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son ampliamente utilizadas en el campo de la ingeniería civil dado la importancia en el diseño de las estructuras gracias al estudio empírico y teórico. Las principales propiedades son:

- Resistencia al corte (Das, 2001)

Asociado a la resistencia del material antes de fracturarse. Se valora en función de las fuerzas cortantes en Newtons por metro cuadrado (N/m^2) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). Este valor depende de la naturaleza del suelo, el tipo de muestra y velocidad bajo el cual se hace la medición.

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los materiales. Dicha teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante y no solamente por la presencia de los valores máximos de alguno de ellos. La relación de estos esfuerzos se presenta en la Ecuación 9.

Ecuación 9

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Donde:

τ_f = *esfuerzo cortante sobre el plano de falla*

$f(\sigma)$ = *esfuerzo normal sobre el plano de falla*

La expresión anterior representa la envolvente de falla la cual es una línea curva, que permite situar el valor límite de τ_f para un valor $f(\sigma)$. Una aproximación al esfuerzo a cortante puede determinarse por la Ecuación 10 (Criterio de falla de Mohr-Coulomb). Al realizar un análisis de la Figura 9, si el esfuerzo normal se encuentra debajo la línea de la envolvente, entonces, no ocurre una falla a cortante; si su valor se encuentra sobre la línea de la envolvente, la falla se extenderá a lo largo de ese plano. Un valor mayor al obtenido por la envolvente no existe, porque la falla a cortante ya ocurrió antes de poder alcanzar este valor.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Ecuación 10

Dónde:

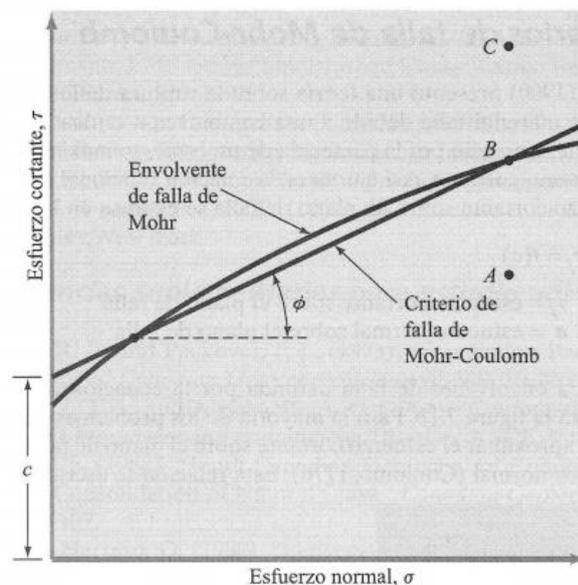
 $c = \text{cohesión}$ $\phi = \text{ángulo de fricción interna}$ 

Figura 9: Envolvente de falla de Mohr y Criterio de falla de Mohr-Coulomb
Fuente: (Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2001)

Para obtener estos resultados de resistencia y fricción, se pueden realizar los siguientes ensayos: resistencia a compresión simple, corte directo y ensayo de triaxial. Estos ensayos se diferencian por la precisión de resultados que se obtiene, así como las condiciones en las que se realiza cada ensayo. Para el ensayo de compresión simple, se asume que el ángulo de fricción es igual a 0° ; el ensayo de corte directo de antemano ya señala un plano de falla, el cual varía el valor de resistencia. En el caso del ensayo triaxial, el resultado es el más aproximado al real, pues, permite que se obtenga el ángulo de fricción sin condicionantes previas, así como la formación del plano de falla verdadero.

- Corte directo (Das, 2001)

Comprende uno de los ensayos más antiguos y simples. En la Figura 10 se presenta el esquema del equipo utilizado para este ensayo, el mismo está compuesto de una caja metálica dividida horizontalmente en dos. Este ensayo dependiendo de la tecnología del equipo, puede ejecutarse con esfuerzo controlado o con deformación unitaria controlada; para el primer caso, la fuerza cortante aumenta gradual y de manera controlada hasta que el espécimen falle, donde además se registra el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja y el movimiento vertical para medir el cambio de altura del espécimen, a través de micrómetros.

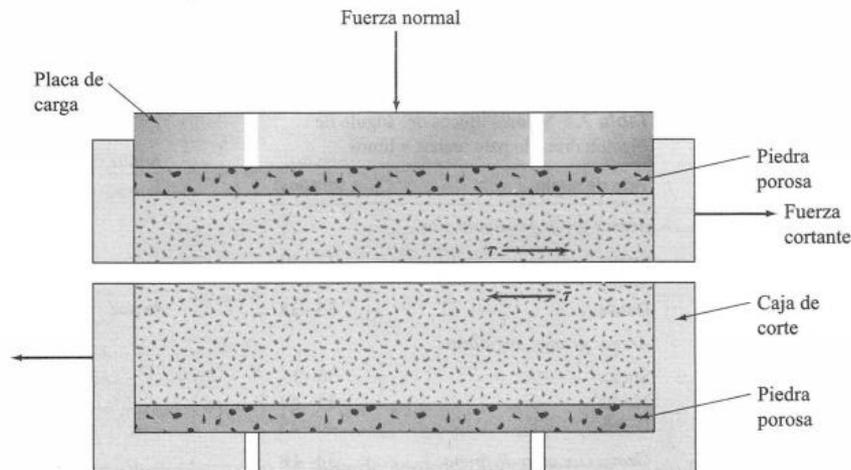


Figura 10: Diagrama del equipo para prueba de corte directo
Fuente: (Das, Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2001)

En el caso del ensayo controlando la deformación unitaria, este se aplica con una velocidad constante aplicada a una mitad de la caja del espécimen. El cambio de volumen producido se obtiene como anteriormente se expuso para el ensayo de esfuerzo controlado. Este ensayo es bastante aplicado para arenas densas, pero, su máxima resistencia a cortante obtenida es un valor aproximado, dado que la falla se da en un nivel de esfuerzo situado entre el incremento de carga de pre-falla y el incremento de carga de falla; además de que se obliga al suelo a fallar por un plano horizontal, no necesariamente su más desfavorable. Una prueba de esfuerzo controlado representa de mejor manera la situación en campo que la prueba controlada por deformación.

- Expansión libre y controlada

La importancia de este ensayo radica en la aplicabilidad en campo para el control de efectos negativos que un suelo expansivo podría presentar a la infraestructura. Obras construidas sobre un suelo expansivo, en contacto con agua, podrían verse expuestas a presión de expansión, que sometería a la obra a esfuerzos para los que no fue diseñada pudiendo generar su colapso. El ensayo de expansión libre se usa para determinar el carácter expansivo de los suelos y está normado en (AASHTO T 258-81, 2018).

La presión de expansión se puede medir mediante el equipo desarrollado por Lambe, el cual hace que el espécimen quede sumergido en agua por distintos tiempos, obteniendo su potencial de cambio volumétrico; este valor también se puede obtener a partir del índice de plasticidad y del límite de contracción (Holtz & Kovacs, 1981).

- Prueba triaxial de corte (Das, 2001)

Esta prueba es la más recomendada para el análisis de parámetros de la resistencia a cortante, aunque el costo de este ensayo es alto en comparación a otros, sus resultados son los más confiables y justifican su costo. Los resultados corresponden a las siguientes razones:

- ✓ Información completa del comportamiento esfuerzo-deformación unitaria del suelo.
- ✓ Uniformidad en las condiciones de esfuerzos, los cuales se encuentran concentrados a lo largo del verdadero plano de falla.
- ✓ Más flexibilidad en términos de la trayectoria de carga.

Para este ensayo se utiliza un espécimen de suelo cilíndrico, que queda encerrado por una membrana delgada, colocado dentro de la cámara de plástico que es llenada generalmente de agua. Obteniéndose, una presión de confinamiento por compresión del fluido en la cámara (Figura 11).

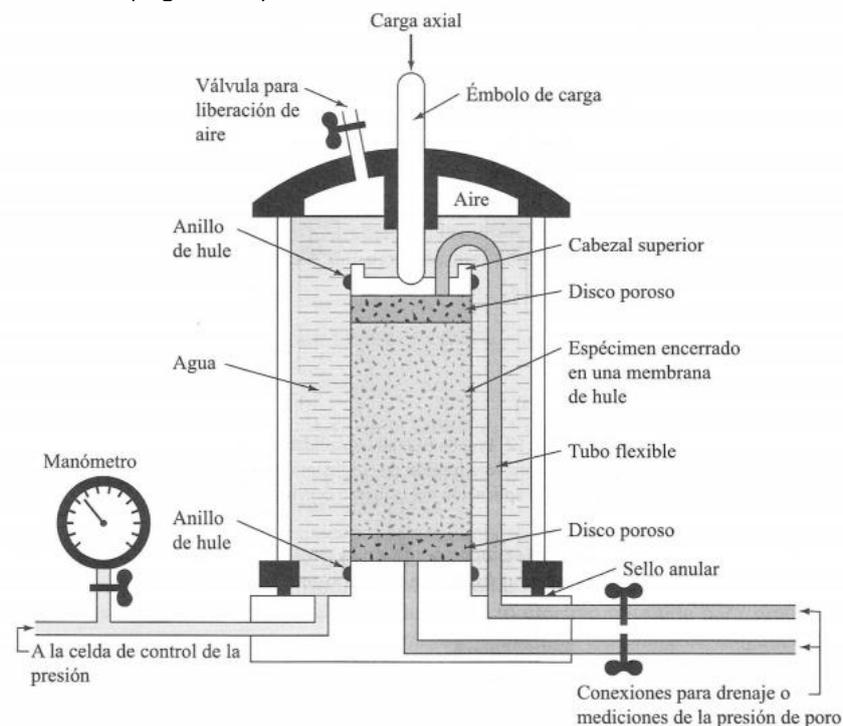


Figura 11: Diagrama del equipo de prueba triaxial
Fuente: (Das, 2001)

El ensayo de triaxial, además permite la medición del drenaje hacia dentro o fuera del espécimen, considerando tres tipos de pruebas estándar, como:

1. Prueba consolidada – drenada o prueba drenada.
2. Prueba consolidada – no drenada.
3. Prueba no consolidada - no drenada o prueba no drenada.

- Resistencia a compresión simple

Para evaluar esta propiedad, es necesario realizar un ensayo de compresión simple si se evalúa una sola dirección de deformación. Generalmente, este ensayo es utilizado en suelo no cohesivos y para determinar su valor de la resistencia no drenada (c_u). En la mayor parte de casos se supone una relación de la resistencia (c_u) igual a la mitad del valor de la resistencia inconfiada (q_u) (Ecuación 11).

$$c_u = \frac{1}{2} q_u$$

Ecuación 11

Este ensayo se debe utilizar como un estimado aproximado de la resistencia del suelo, debido a diversas incertidumbres que ocurren durante el ensayo (Suarez Díaz, 1998).

- Ensayos de resistencia

Los parámetros de resistencia presentan diferentes valores de acuerdo al tipo de ensayo utilizado para su determinación. En los ensayos triaxiales el ángulo de fricción tiene valores mayores en el ensayo consolidado, mientras que en el ensayo no consolidado sus valores son mínimos. Los valores de resistencia obtenidos en ensayos de corte directo resultan mayores a los obtenidos en ensayos triaxiales debido a que en el primer ensayo existe una superficie de falla predefinida y no depende de las propiedades del suelo. (Suarez)

2.6. Análisis estadístico

La utilización de la estadística como herramienta de análisis de datos empíricos constituye una práctica común y eficiente. La estadística inferencial permite obtener valores de estadísticos muestrales, los cuales conjuntamente con el error estándar conducen a inferir los estadísticos de la población en estudio.

La geotecnia es una disciplina en la cual está presente de manera notoria la incertidumbre. Según (Baecher & Christian, 2003) se identifican tres clases de incertidumbre dentro de ingeniería geotecnia: variabilidad natural, incertidumbre epistemática e incertidumbre en los modelos de decisión. La primera se relaciona con la variación temporal, variación espacial o la combinación de ambas; se aproxima mediante modelos matemáticos simplificados o modelos físicos.

Por otra parte, la incertidumbre epistemática se asocia a la falta de datos e información de eventos o procesos, así como también a la falta de entendimiento de leyes físicas necesarias para realizar la modelación. Dentro de esta categoría se encuentra la incertidumbre en la caracterización del sitio, la cual depende de una apropiada interpretación de la geología sub-superficial. Esta incertidumbre abarca errores de medición, inconsistencia y heterogeneidad de los datos, errores de manipulación y transcripción de datos, inadecuada representatividad de muestreo y limitaciones económicas para exploración y muestreo.

Dentro de las fuentes de incertidumbre al obtener parámetros geotécnicos (Hidalgo & Pacheco de Assis, 2011) enlistan las siguientes:

- Error estadístico: ocasionado por la cantidad insuficiente de ensayos o mediciones; a menor número de ensayos mayor es la probabilidad de obtener valores estimados de parámetros diferentes a los reales en campo.
- Datos tendenciosos (sesgos): se atribuyen al comportamiento real alterado por los ensayos.
- Errores de ensayo (ruidos): relacionados a la precisión de calibración y mediciones; para minimizarlos es importante la adecuada funcionalidad y especificación de equipos y personal correctamente capacitado.
- Variabilidad espacial de los parámetros: variación en las características del suelo a causa de diferencias de composición, meteorización e historia de tensiones entre diferentes lugares.
- El error sistemático está conformado por el error estadístico y los datos tendenciosos, este actúa independientemente de la posición y volumen de la muestra afectando directamente a la media. Por otro lado, los errores de ensayo y la variabilidad espacial causan la dispersión de los datos.
- Se han realizados varios estudios sobre la variabilidad de los parámetros geotécnicos, en la Tabla 12 se presentan rangos típicos de coeficientes de variación según diferentes autores.

Tabla 12: Coeficientes de Variación de algunos parámetros geotécnicos
Fuente: Varias

Propiedad	Tipo de suelo	Coeficiente de Variación (COV)		Referencia
		Rango	Media	
γ	Fino	3-20	9	(Phoon & Kulhawy, 1999)
γ_d	Fino	2-13	7	(Phoon & Kulhawy, 1999)
LL	Fino	7-39	18	(Phoon & Kulhawy, 1999)
	Arcilla	3-20		(Lacasse & Nadim, 1996)
LP	Fino	6-34	16	(Phoon & Kulhawy, 1999)
	Arcilla	3-20		(Lacasse & Nadim, 1996)
IP	Fino	9-57	29	(Phoon & Kulhawy, 1999)
Cu	Fino	20-55		(Onyejekwe, 2012)
Cu (Ensayo de compresión no confinado)	Fino	6-56	33	(Phoon & Kulhawy, 1999)
Cu (Ensayo triaxial)	Arcilla	5-20		(Lacasse & Nadim, 1996)
Cu (Ensayo de laboratorio)	Arcilla	6-80	32	(Phoon & Kulhawy, 1999)
Φ	Arcilla, limo	10-56	21	(Phoon & Kulhawy, 1999)

A continuación, se definen algunos conceptos importantes que serán necesarios para el análisis y validación de los datos de parámetros geotécnicos.

- **Media:** representa el promedio o valor esperado de una característica de una población (μ) o de una muestra (\bar{x}), es la suma de los valores observados en la muestra (x_i) divididos para el tamaño de la muestra (n) (ASTM E456-13A-e2, 2017). Es una medida de tendencia central de una distribución de observaciones, la cual es afectada por valores extremos; se puede expresar con la Ecuación 12 (ASTM E2586-18, 2018).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Ecuación 12}$$

- **Varianza:** es el cuadrado de la desviación estándar de la población (σ^2) o de la muestra (s^2) (ASTM E456-13A-e2, 2017). Es una medida de variación entre una muestra de tamaño (n). Es la suma de las desviaciones cuadradas del valor (x_i) respecto a su media (\bar{x}), dividida para uno menos que la cantidad de observaciones; la Ecuación 13 se usa en su cálculo (ASTM E2586-18, 2018).

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad \text{Ecuación 13}$$

- **Desviación estándar:** es la raíz cuadrada positiva de la varianza de la población (σ) o de la muestra (s) (ASTM E456-13A-e2, 2017). Se utiliza para caracterizar la probable dispersión del conjunto de datos, depende de la forma de la distribución. Para la distribución normal se puede aplicar la regla que expresa que el 68% de los datos estarán dentro de una desviación estándar de la media, el 95% dentro de dos desviaciones estándar y casi todas (99.7%) dentro de tres desviaciones estándar (ASTM E2586-18, 2018).

La Figura 12 muestra la relación de los parámetros de media y desviación estándar en una distribución normal.

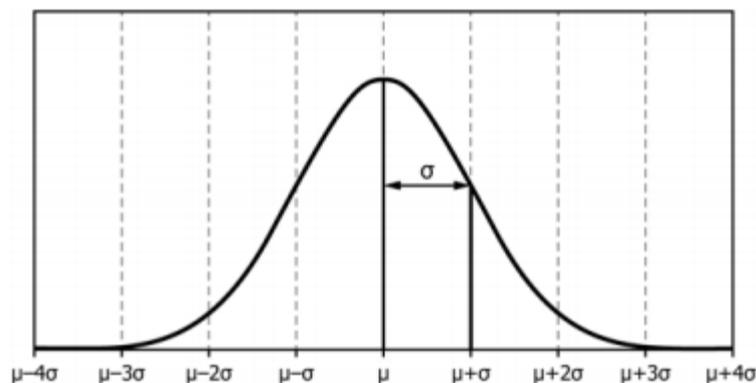


Figura 12: Distribución Normal y su relación con los parámetros μ y σ .
Fuente: (ASTM E2586-18, 2018)

- Nivel de confianza: es el valor $1-\alpha$ expresado en porcentaje, el cual asocia la probabilidad con el intervalo de confianza, representa el área bajo la curva de distribución (ASTM E456-13A-e2, 2017).
- Intervalo de confianza: intervalo estimado de un parámetro para un nivel de confianza dado (ASTM E456-13A-e2, 2017). La Tabla 13 muestra los intervalos de confianza para diferentes niveles de confianza de una distribución normal.

Tabla 13: Niveles de confianza Distribución Normal
Fuente: (ASTM E2586-18, 2018)

Intervalo	Área	Nivel de confianza
$\mu \pm 0.674\sigma$	0.50	50%
$\mu \pm 1.645\sigma$	0.90	90%
$\mu \pm 1.960\sigma$	0.95	95%
$\mu \pm 2.576\sigma$	0.99	99%

- Error estándar: desviación estándar de la población de valores de una muestra estadística en muestreo repetido, o una estimación de la misma (ASTM E456-13A-e2, 2017).
- Coeficiente de variación: es una característica no negativa (CV), es la relación entre la desviación estándar y la media de una población o muestra (ASTM E456-13A-e2, 2017).
- Distribución normal: llamada también distribución Gaussiana, es de gran importancia en el campo de la investigación ya que un gran número de fenómenos reales se pueden modelar con ella. Es una distribución de variable continua que está en función de dos parámetros: la media y la desviación de la distribución (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012).
- Distribución normal estándar: es la distribución de una variable aleatoria normal, donde su media es 0 y la varianza 1; los valores de cada valor de la muestra se transforman a una variable aleatoria normal (Z) con medio 0 y varianza 1 mediante la Ecuación 14 (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012).

$$Z = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 14

- Prueba de normalidad Shapiro Wilk: es importante verificar la normalidad de los datos antes de realizar cualquier análisis estadístico; si los datos siguen la distribución normal entonces se pueden utilizar métodos paramétricos, empleados en estadística inferencial, en su análisis. Dentro de las múltiples pruebas para verificar la normalidad de los datos se encuentra la prueba Shapiro Wilk, utilizada para muestras de tamaño igual o menor a 50 (Segnini, 2018).

La hipótesis de la prueba es H_0 : La variable aleatoria no tiene una distribución normal, la misma que será aceptada si el estadístico de prueba (W_c) es menor o igual al valor tabulado ($W_{(1-\alpha;n)}$). El estadístico de prueba se calcula con la Ecuación 15.

$$W_c = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde el término b se calcula como se muestra en la Ecuación 16, con el valor de un coeficiente (a_i) que se encuentra tabulado para cada tamaño de muestra y posición (i) de cada observación. El término grande se obtiene de restas sucesivas al restar los valores en orden ascendente de los valores en orden descendente.

$$b = \sum_{i=1}^k a_i [x_{(n-i+1)} - x_i] \quad \text{Ecuación 16}$$

- Distribución t Student (Welch): es un método paramétrico que pertenece a la teoría de muestreo exacto empleado en muestras pequeñas. Es útil cuando se requiere comparar una variable continua entre dos grupos diferentes. La hipótesis de prueba o nula es H_0 : No existe diferencia entre las medias de las dos muestras.

Para dos muestras independientes con varianza distinta la comparación debe ser tanto en términos de valor medio como de la variabilidad de las muestras. En este caso se utiliza una modificación conocida como test de Welch (Berry & Armitage, 1994), de manera que el estadístico se calcula con la Ecuación 17.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad \text{Ecuación 17}$$

El test Welch sigue siendo una distribución t Student en donde los grados de libertad están dados por la Ecuación 18.

$$f = \frac{\left[\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right]^2}{\frac{1}{n_1 + 1} \left[\frac{s_1^2}{n_1} \right]^2 + \frac{1}{n_2 + 1} \left[\frac{s_2^2}{n_2} \right]^2} - 2 \quad \text{Ecuación 18}$$

Se compara el estadístico de prueba y el estadístico tabulado de la misma manera que en la prueba de normalidad como se muestra en la Ecuación 19.

$$\text{Zona de aceptación de } H_0 = \{W/W_{\text{calculado}} \leq W_{(1-\alpha;n)}\} \quad \text{Ecuación 19}$$

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de este capítulo se indicarán los materiales utilizados para la realización de los diferentes ensayos propuestos, además se detalla el método seguido para su eficaz y efectivo desarrollo.

La consecución de los objetivos planteados en el presente trabajo, requiere de un análisis profundo de la información disponible, de una exploración en campo y el establecimiento de sitios/suelos específicos a ser analizados; además de la realización de varios ensayos en laboratorio y su posterior análisis. A continuación, se detalla la metodología elegida para conseguir los objetivos propuestos en el presente trabajo.

- Establecer los sitios más adecuados para desarrollar el proceso de caracterización de su o sus materiales.

a) Analizar la literatura existente y determinar las zonas donde suelos inestables están presentes: Revisar la literatura disponible, estudios realizados, herramientas de gestión municipales e historial de deslizamientos en el cantón Cuenca.

b) Definir los suelos a ser evaluados: Seleccionar los suelos para estudio en función de su información disponible, estudios realizados y riesgo de inestabilidad.

- Analizar la geología de las zonas donde se ubican los suelos objeto del presente trabajo.

a) Realizar un análisis geológico de las zonas donde se ubican los suelos a estudiar: Analizar la litología y descripción geológica del sector.

- Delimitar las zonas donde afloran los dos suelos estudiados.

a) Delimitar espacialmente el área donde afloran los suelos estudiados: Realizar excavaciones en la posible área de estudio para delimitar el área definitiva de estudio.

- Recopilar información de ensayos existentes de los suelos en estudio.

a) Identificar y tabular la información de los parámetros geotécnicos de los ensayos existentes: Se revisará los parámetros geotécnicos que fueron ensayados, tanto para la clasificación de suelos, así como para la determinación de la resistencia de los suelos. Se puede encontrar que para algún tipo de suelo no se disponga de datos de determinados parámetros geotécnico.

- Realizar varios ensayos de laboratorio para complementar la información disponible y lograr información estadísticamente representativa.

a) Obtener muestra de suelos mediante calicatas a cielo abierto: Se identificará sitios apropiados libres de vegetación o daños permanentes causados por el hombre. La extracción de las muestras de suelo se realizará mediante calicatas a cielo abierto de un diámetro aproximado de 30 cm y profundidad variable de hasta 2 m. El muestreo se

realizará en un suelo que presente las mejores condiciones para estudio, es decir sin materia vegetal o animal, sin capa de humus o sin meteorización.

b) Realizar ensayos de clasificación de suelos: Para la clasificación de suelos se ejecutarán dos ensayos: análisis granulométrico y determinación del índice de plasticidad. Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca y se llevará un registro de actividad de cada ensayo. Todos los ensayos se realizarán siguiendo las respectivas normas INEN y ASTM.

- *Analizar los resultados recolectados y obtenidos para determinar valores cualitativos y/o cuantitativos de parámetros geotécnicos de los dos suelos estudiados.*

a) Procesar la información obtenida en los ensayos para obtener valores cualitativos y/o cuantitativos de los parámetros geotécnicos: Los datos obtenidos en los ensayos serán analizados para encontrar valores específicos de cada parámetro, el cual puede ser cualitativo y/o cuantitativo.

b) Comparar y validar los resultados de los ensayos existentes con los resultados de los ensayos realizados: Los valores específicos del punto anterior servirán para comparar y validar los parámetros geomecánicos de cada suelo en estudio, lo que permitirá una mejor confiabilidad del estudio.

c) Realizar el análisis estadístico de los resultados: Utilizar los resultados validados para realizar el análisis estadístico de los parámetros geomecánicos obtenidos.

3.1. Análisis de zonas inestables

El análisis de zonas inestables ha sido un tema de importancia a estudiarse en proyectos como PRECUPA u otros desarrollados por parte del Municipio de la ciudad de Cuenca y la Dirección de Gestión de Riesgos. Haciendo una revisión de literatura de deslizamientos ocurridos en Cuenca, los más representativos son: “el macrodeslizamiento de la Josefina (1993), el de Paccha (1993), Santa María del Vergel (1996), Turi Gapal (1998), El Guzho (1999), y el último el del cerro Bazhúm (2000), en conclusión el Cantón Cuenca, tiene afectadas 12 parroquias y más de 26 Barrios, con más de 252 viviendas destruidas y 457 a reparar, así como daños cuantiosos a la infraestructura sanitaria y vial, como la vía Cuenca–Molleturo-Naranjal y la Autopista Cuenca- Azogues” (Castillo I, s/f).

De acuerdo al estudio de “Conflictos de uso del suelo de la ciudad de Cuenca”, el autor señala que la información acerca de los deslizamientos producidos en Carmen de Guzho y Nulti es escasa y concierne únicamente a su delimitación cartográfica y señalamiento de las causas serían diversos fenómenos de orden geológico-estructural (Cordero , s/f).

En la Tabla 14, de detalla parte de la información presentada por el Proyecto PRECUPA (1998), el cual zonifica diferentes sectores de la ciudad de acuerdo a la velocidad de desplazamiento del terreno, esto puede clasificarse en activos o latentes.

Tabla 14: Zonificación de deslizamientos y actividad
Fuente: (PRECUPA, 1998)

Zonificación de deslizamientos	
ACTIVO	LATENTE
> 10 cm/año	2 - 10 cm/año
Loma el Carmen	Nulti
Chaullabamba [terrazza aluvial 4]	Los Naranjos
Sidcay	Guaguazhumi
Santa Cecilia	Cochapamba
Zhucay	Callagsi
Viola	Asunción
Turi	Baños
Guzho	

En la siguiente imagen se puede observar zonas susceptibles a daños, desarrolladas a partir de proyectos o levantamiento de información necesarios, considerando que son zonas pobladas y con infraestructura vulnerable.

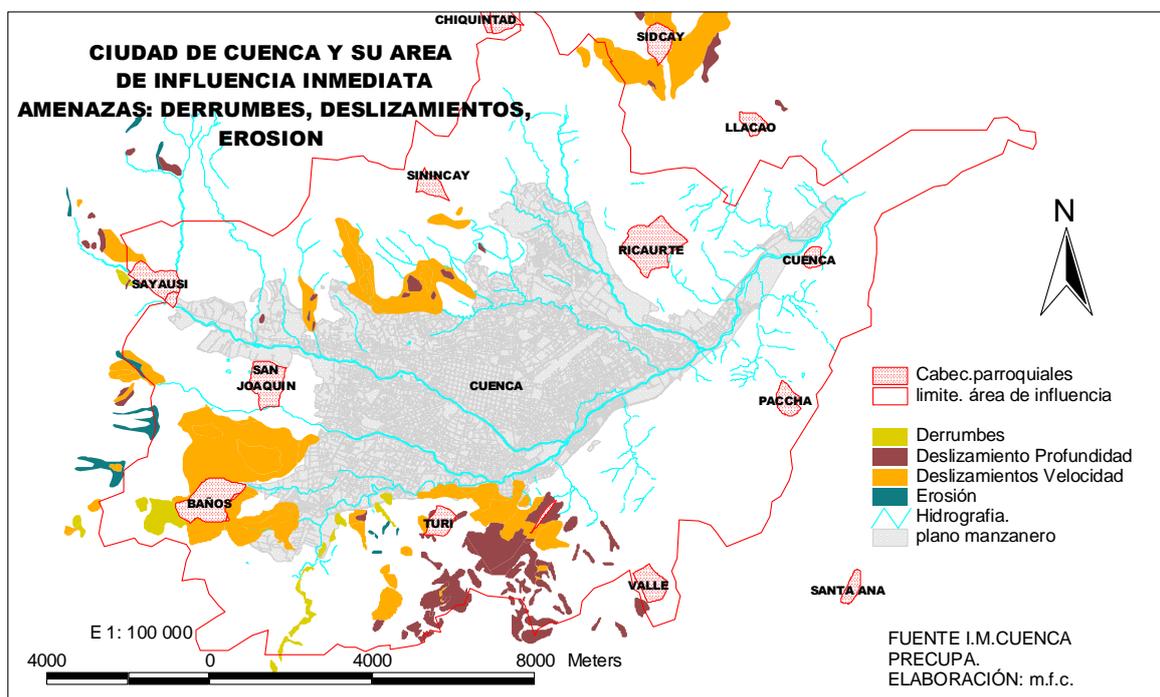


Figura 13: Mapa de la ciudad de Cuenca y su área de influencia a amenazas

Fuente: (PRECUPA e Ilustre Municipalidad de Cuenca)

3.2. Información disponible en zonas de inestabilidad

Dentro de los principales objetivos del presente trabajo, está la recopilación de información disponible respecto a las propiedades físicas y mecánicas de suelos con historial de inestabilidad en la ciudad de Cuenca. Las fuentes de datos son de diferentes instituciones

que han realizado diversos estudios en zonas de inestabilidad, con el fin de obtener la mayor cantidad de información disponible, estas son:

- Estudios geotécnicos de los principales parámetros de resistencia de diversos suelos de la ciudad de Cuenca (Carmen de Guzho, Miraflores, Baños y Gapal) realizados por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca. En la última década, los estudiantes de ingeniería civil de la Universidad de Cuenca, han desarrollado ensayos de laboratorio dentro de la cátedra de Mecánica de Suelos. La información obtenida por este medio, es significativa de acuerdo a la cantidad de muestras, por lo tanto, se considera una fuente válida para ser analizada e incorporada en el presente trabajo.
- Estudios geotécnicos e historial de deslizamientos proporcionados por la Dirección de Gestión de Riesgos de la Municipalidad de Cuenca. Entre los principales sitios de los que se obtuvo información están Carmen de Guzho, Nulti, Miraflores, Baños y Turi. A lo largo de los años, la Municipalidad de Cuenca se ha visto enfrentada a varios problemas de inestabilidad que afectaban a la ciudad. A medida que se debía solucionar los problemas generados, la Municipalidad contrataba o ejecutaba proyectos de estudio y remediación de taludes o zonas inestables, generando información importante al momento de analizar las condiciones de los suelos y su comportamiento frente a sistemas particulares de carga.

Por otro lado, la información geológica de la ciudad de Cuenca es un parámetro de innegable interés al momento de realizar cualquier estudio geotécnico en el lugar. Por lo tanto, se considera necesario incluir fuentes con información geológica que aporten al desarrollo del presente trabajo. En esta dirección, se ha investigado:

- Mapas geológicos de la cuenca del Río Paute proporcionados por la Red Sísmica del Austro.
- Informes parciales y definitivos del Proyecto PRECUPA Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute y mapas de zonificación y deslizamientos.

Toda la información recopilada mencionada anteriormente constituye un referente clave en la selección de los suelos inestables para el presente estudio y análisis geotécnico.

3.3. Suelos de estudio

A partir de la información geotécnica y geológica recolectada fueron seleccionados dos tipos de suelos para el estudio; esta selección se realizó de acuerdo a la cantidad de información encontrada para cada sitio, lo cual hace representativo y confiable este estudio.

Los sitios de interés para el estudio se muestran en la Figura 14 y Figura 15, la primera muestra la configuración geológica de las zonas de estudio y en la segunda figura se aprecia la ubicación de las zonas de estudio.

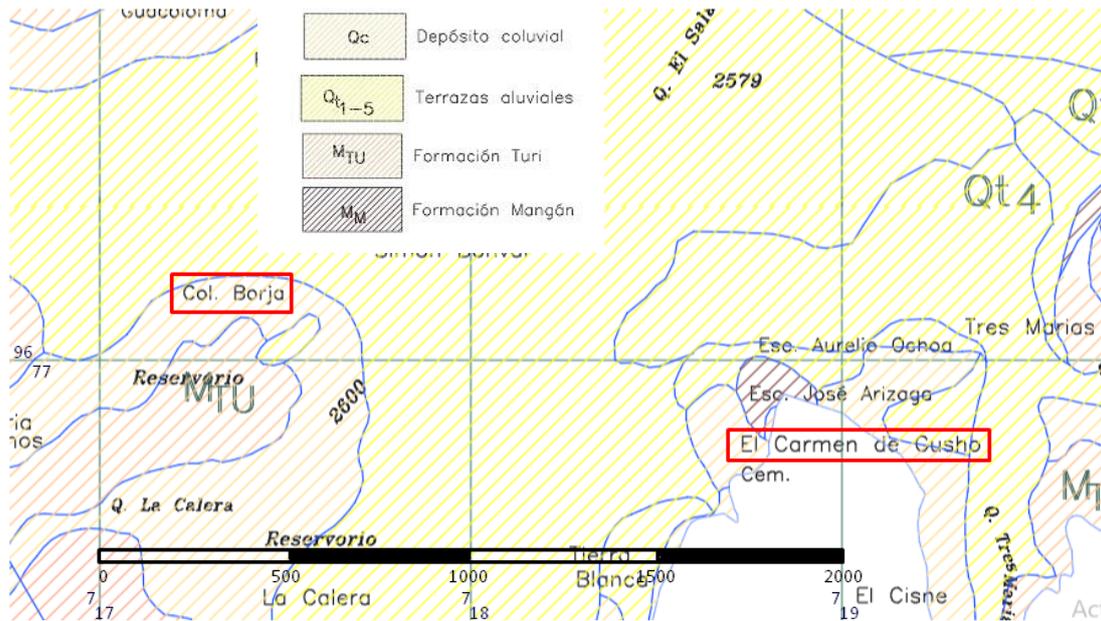


Figura 14: Geología de las zonas de estudio
Fuente: (Basabe, 1999)

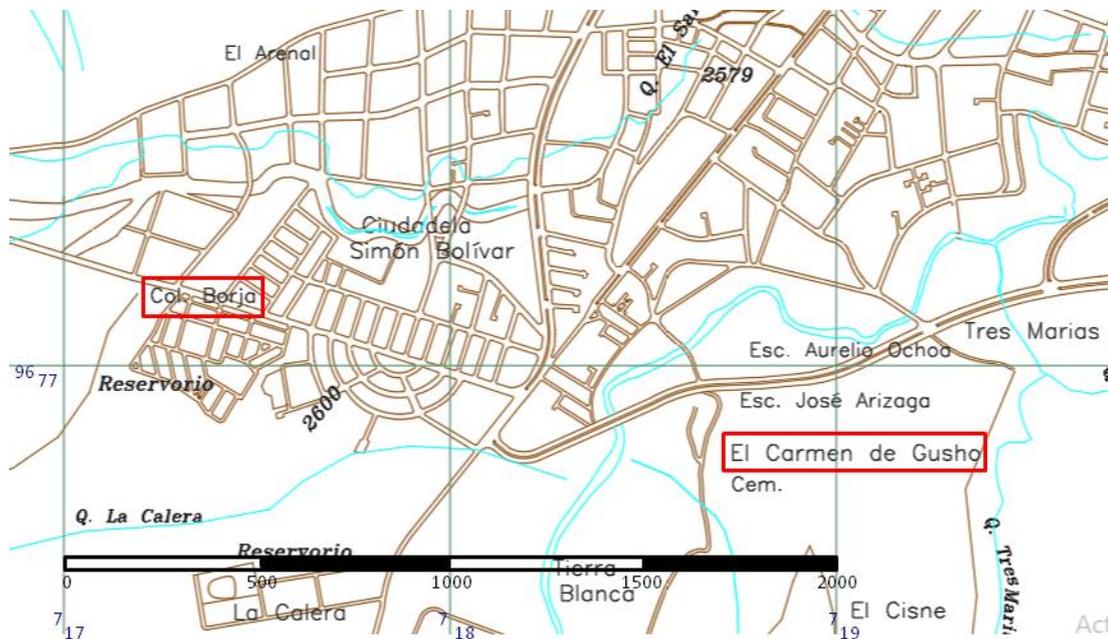


Figura 15: Ubicación de las zonas de estudio
Fuente: (Basabe, 1999)

3.3.1. Carmen de Guzho:

Se encuentra al sur de la ciudad de Cuenca entre las coordenadas 9676337 a 9676624 N y 718153 a 718739 E; de acuerdo a la información especificada en el Mapa Geológico de Cuenca (Figura 14), en la zona hay la influencia de la Formación Mangán, Formación Turi, suelo aluvial (terrace aluvial 3) y coluvial. Es un suelo no



urbanizable por limitaciones topográficas de pendientes mayores al 30%; representa un área de protección forestal cinturón verde (PRECUPA, 1998). El río Tarqui se encuentra aproximadamente a 230 m de la zona de estudio.

3.3.1. Sector Baños

Se encuentra al sur de la ciudad entre las coordenadas 9676619 a 9676930 N y 716505 a 717629 E; de acuerdo al Mapa Geológico de la ciudad de Cuenca Figura 14, en la zona hay la presencia de suelo aluvial (terraza aluvial 3) y coluvial y de la Formación Turi. Es un área con aptitud para receptor asentamientos humanos.

3.4. Información disponible

En la siguiente sección, se detallan las fuentes de información que permiten comparar y agregar resultados al estudio propuesto. Se cuenta con información de diferentes medios, la obtención esta para las dos zonas de estudio, fue mediante oficios y registros hacia la Municipalidad de Cuenca, quienes permiten la entrega de información por parte de cada departamento. Otra fuente son ensayos realizados por estudiantes de Ingeniería, otorgados por el docente de la cátedra de Mecánica de Suelos.

3.4.1. Sector Carmen de Guzho

3.4.1.1. *Ensayos realizados - cátedra de Mecánica de Suelos*

Para el análisis en Guzho, se revisaron 68 carpetas distribuidas en diferentes ensayos desde el año 2005 hasta el 2017. Dentro de cada carpeta se tabularon todos los valores obtenidos por los estudiantes, disponiendo de 170 datos analizados, la información corresponde a siete ensayos diferentes distribuidos porcentualmente en la Figura 16.

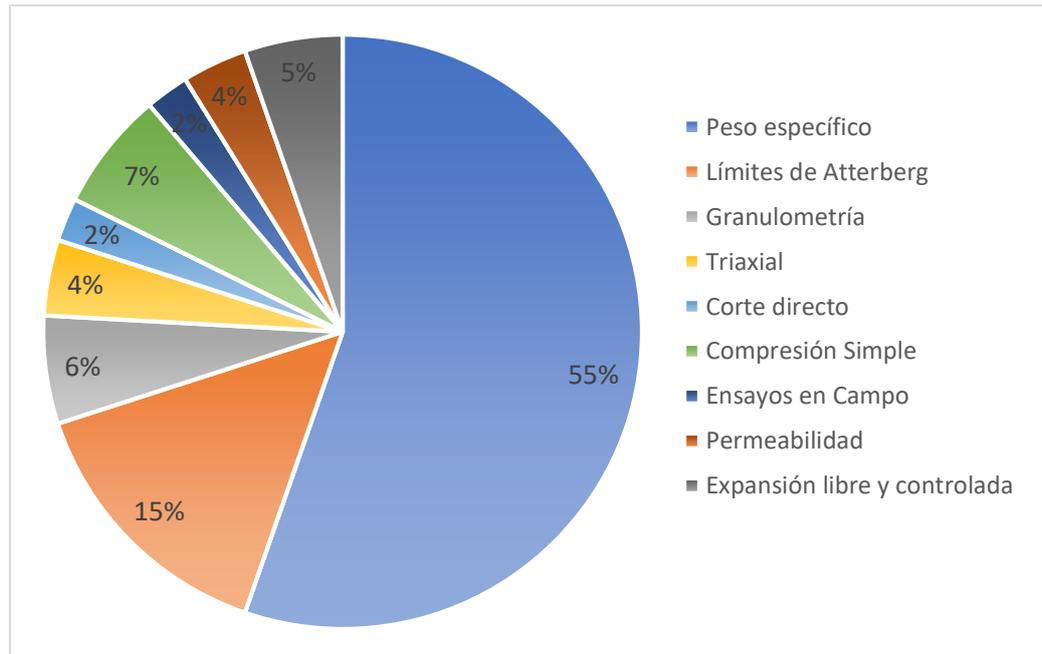


Figura 16: Distribución de ensayos realizados en la cátedra de mecánica de suelos - Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

Los ensayos no presentan una ubicación geográfica exacta, pero se reconoce mediante fotografías de la zona dos zonas. La ubicación de puntos de extracción de muestras, se encuentra cercano a la Panamericana 35, y detrás de la Iglesia de Carmen de Guzho, sus coordenadas geográficas se expresan en la Tabla 15.

Tabla 15: Ubicación de zonas de extracción para ensayos por estudiantes- Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

ID	COORDENADAS		Lugar
	N	E	
Pozo A	9676619.89	718529.51	Cercano a la Panamericana
Pozo B	9676496.09	718426.99	Posterior a la Iglesia de Carmen de Guzho

3.4.1.2. Ensayos realizados – Dirección de Gestión de Riesgos de la Municipalidad de Cuenca

De acuerdo a la información brindada por la Dirección de Gestión de Riesgos de la Municipalidad de Cuenca, la información levantada a la zona, responde a dos estudios, “actualización del Mapa de Amenaza por fenómenos de inestabilidad de terrenos e inundaciones de las parroquias Turi, Yanuncay y Huayna Cápac” desarrollado en el año 2016, e información digital de todos los mapas generados por parte del Proyecto PRECUPA realizado entre los años 1996 -1998.

Para el primer estudio mencionado, se tiene dos reportes, el primero de calicatas de excavación manual y el segundo que son ensayo SPT realizados en 5 estaciones con profundidades variables de entre 0 y 13 m, y. Los datos correspondientes a suelos finos, son utilizados para este estudio y corresponden 13 muestras válidas que contienen valores del ensayo de límite líquido, límite plástico índice de plasticidad y granulometría, con un total de 87 datos. La siguiente tabla muestra la ubicación geográfica de los pozos de exploración que se analizarán en este estudio y las profundidades a las cuales se tiene información.

Tabla 16: Ubicación de pozos de exploración – Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

Tipo de ensayo	# Estación/ calicata de exploración	Coordenadas		Profundidad (m)
		N	E	
Sondeo SPT	1	9676583	718448	Cada metro hasta los 4,00 m
	2	9676564	718459	Cada metro hasta los 9,00 m
	3	9676598	718445	Cada metro hasta los 8,00 m
	4	9676190	718201	Cada metro hasta los 13,00 m
	6	9676556	718952	Cada metro hasta los 11,00 m
Calicata de excavación manual	1	9676863	718565	1,60 y 2,10
	2	9676818	718680	1,70 y 2,20

3.4.2. Sector Colegio Borja - Baños

3.4.2.1. Ensayos realizados - cátedra de Mecánica de Suelos

La información disponible corresponde a un análisis de un total de 48 carpetas de distintos ensayos realizados en laboratorio. De cada ensayo se extraen propiedades haciendo un total de 127 datos tabulados, pertenecientes a ensayos realizados entre los años 2005 y 2018. En la Figura 17 se detalla la distribución porcentual de los datos para cada tipo de ensayo.

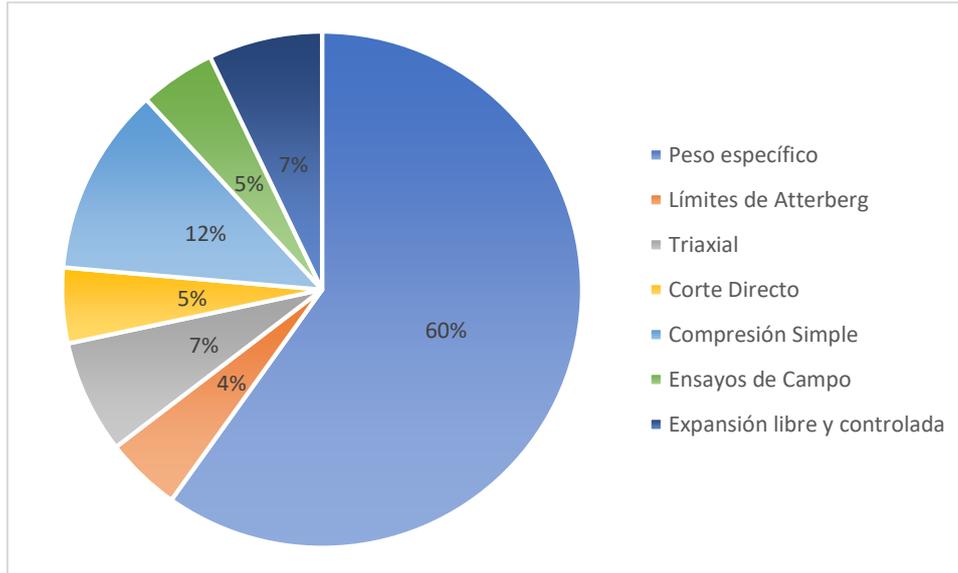


Figura 17: Distribución de ensayos realizados en la cátedra de mecánica de suelos - Sector Colegio Borja, Baños
Fuente: Elaboración propia

La ubicación geográfica de las muestras extraídas por los estudiantes, se encuentran en su mayoría concentrados en la siguiente tabla.

Tabla 17: Ubicación de zonas de extracción para ensayos por estudiantes- Sector Colegio Borja
Fuente: Elaboración propia

ID	COORDENADAS		Lugar
	N	E	
Pozo A	9677021	716372	Aledaño al Salón de recepciones La Muralla
Pozo B	9676963	716418	Posterior a la Escuela Borja

Cabe recalcar que, de acuerdo a información geotécnica solicitada en diferentes instituciones públicas y privadas de la zona de Baños, no se registra ningún estudio o reporte diferente a los obtenidos por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca.

3.5. Exploración y extracción de muestras

Posterior a la selección de los sitios de estudio, se requiere de una exploración en campo para determinar la litología existente y obtener muestras a ser analizadas en laboratorio. Para la exploración del subsuelo, se utilizaron barrenas manuales proporcionadas por el laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca, esta exploración superficial permite obtener una zona limitada espacialmente con material similar a ser extraído.

La extracción de muestras se realizó mediante calicatas a cielo abierto, empleando utensilios de excavación manual como pico, barreta y pala. La profundidad de la extracción de muestras difiere para cada lugar; en el caso de Guzho la profundidad de calicatas fue de 1,00 m y 2,00

m, y donde se produce cambio de estrato; para el caso de Baños las muestras son en estratos y cambios, hasta una profundidad de 1,00 m.

Para cada pozo y en cada profundidad se extrajo aproximadamente 15 kg de suelo, entre muestras en bloques inalterados y con material disgregado, para realizar los diferentes ensayos propuestos. En relación con la capa vegetal superficial, se retiró cuidadosamente para evitar la caída de materia vegetal u orgánica a las muestras de suelo.

Una vez realizada la extracción, las muestras fueron empaquetadas en fundas plásticas y etiquetadas, con el fin de evitar alteraciones en las diferentes propiedades del suelo y depositadas en el Laboratorio de suelos de la Universidad de Cuenca.

Por otra parte, para la ubicación geográfica de las calicatas (Tabla 18), se realizó mediante la aplicación móvil GPS Altimeter de uso libre con coordenadas UTM WGS 84.

Tabla 18: Ubicación de calicatas de extracción de muestras

Fuente: Elaboración propia

Zona de Estudio	# Calicata	Coordenadas		Profundidad
		N	E	(m)
Guzho	G-1	9676476	718380	1,10 y 1,80
	G-2	9676479	718353	1,00 y 1,30
	G-3	9676540	718265	1,00 y 1,90
	G-4	9676408	718286	1,00 y 1,80
	G-5	9676337	718153	1,00 y 1,50
	G-6	9676613	718673	1,00 y 2,00
	G-7	9676624	718739	0,40
Baños	B-1	9676930	716505	0,50 y 1,00
	B-2	9676619	717437	0,80
	B-3	9676676	717629	0,80

3.6. Ensayos de laboratorio – Parámetros físicos

La obtención de valores para diferentes propiedades físicas y mecánicas corresponde a calicatas a cielo abierto realizadas para la zona de Carmen de Guzho y de Baños, de acuerdo a la metodología propuesta a continuación.

3.6.1. Determinación de la densidad específica

Su procedimiento se realiza en base a (ASTM D4531-15, 2015). Para la realización de este ensayo son necesarios pequeños bloques de suelo que permitan tallar las muestras inalteradas. De cada suelo a cada profundidad se extraen tres o más terrones cúbicos de aproximadamente 2 cm de lado. Se registra su peso inicial y se lo amarra de forma que pueda ser sumergido en parafina sin ningún riesgo, cubriéndolo totalmente.

Para los tres o más terrones de cada muestra a diferente profundidad del pozo se registra el peso del terrón con parafina, luego llenamos una probeta con un volumen específico de agua y registramos su peso; valiéndonos del hilo que cuelga del terrón, lo ocupamos para sumergir el terrón en la probeta con agua y registramos el nuevo volumen (V_{pc}). Cuidadosamente, se extrae una muestra representativa de cada terrón para evaluar el contenido de agua. El valor de densidad húmeda se evalúa según la Ecuación 20, y se halla de acuerdo al promedio entre los terrones ensayados.

Ecuación 20

$$\rho_w = \frac{M}{V_{pc} - V_p}$$

Dónde:

$$V_p = \frac{M_{pc} - M}{\rho_p}$$

Ecuación 21

ρ_w = densidad húmeda (g/cm^3)

M = peso inicial del terrón (g)

V_{pc} = volumen final de agua (cm^3)

V_p = volumen de parafina (cm^3)

M_{pc} = peso del terrón con parafina (g)

ρ_p = densidad de la parafina ($0,8 g/cm^3$)

3.6.2. Análisis granulométrico

Este análisis permite obtener la distribución de tamaño de las partículas del suelo, para este estudio se considera únicamente el análisis con cribado; el cual consiste en pasar la muestra de suelo seca y triturada por una serie de 8 tamices de distinta abertura, correspondiente a las mallas N°4, N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100 y N°200 (ASTM D422-63, 2007). Sin embargo, los tamices utilizados para este ensayo se escogieron de acuerdo a la existencia, disponibilidad y mayor cercanía a los establecidos por la norma; la serie de tamices utilizada se observa en la Tabla 19.

Tabla 19: Serie de tamices para el análisis granulométrico
Fuente: (Das, 2001)

Malla No.	Abertura [mm]
N° 4	4,75
N° 8	2,360
N° 10	2,00
N° 16	0,850
N° 30	0,600
N° 40	0,425
N° 50	0,250
N° 100	0,150
N° 200	0,075

Para este ensayo se necesita 500 g de suelo seco debidamente triturado. Ya que corresponde a un suelo cohesivo, este debe ser lavado utilizando el tamiz No. 200 para la disgregación de grumos en partículas individuales (Das, 2001). Luego del lavado, el material debe ser depositado cuidadosamente en una fuente para su secado al horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. Una vez que el material se encuentre totalmente seco se lo deposita en la serie de tamices ordenada y se somete a un proceso de agitación mecánica durante 5 min.

Se obtiene el peso de cada porción de material sobre cada tamiz y se registra este valor, luego se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz, mediante la Ecuación 22. Es imprescindible verificar que el peso inicial de la muestra no debe diferir en más del 1% con respecto a la suma del peso de todas las fracciones incluyendo el material lavado (Das, 2001).

$$\% \text{ retenido} = \frac{w_{\text{tamiz}}}{w_1} \times 100 \quad \text{Ecuación 22}$$

Dónde:

$$w_{\text{tamiz}} = \text{peso retenido en cada tamiz}$$

$$w_1 = \text{peso de la muestra secada al horno}$$

Cabe recalcar que se realiza un ensayo de granulometría a cada profundidad de los diferentes pozos de análisis.

3.6.3. Límites de Atterberg

También conocidos como límites de plasticidad o límites de consistencia que relacionan el contenido de agua y volumen de las masas, para este estudio se realizarán dos ensayos: límite líquido y límite plástico, los cuales permiten obtener diversos índices útiles para la descripción del suelo, descritos en el marco teórico.

3.6.3.1. Límite líquido

Existen diversas normas aplicadas a este proceso, en este estudio se refiere a la (ASTM D4318-17e1, 2017), que permite obtener el contenido de agua para un comportamiento líquido y plástico. Para este ensayo se requieren diversos elementos como:

- Acanalador
- Calibrador
- Pozuelo de goma de mezclado
- Cuchara de Casagrande
- Espátula
- Pipeta de goma
- Taras

Una vez calibrada la altura de la caída de la copa a 10 mm, se limpia la superficie de la cuchara y se procede a preparar la muestra de suelo; es necesario alrededor de 250 g de suelo seco triturada que haya pasado por el tamiz No.40, posteriormente se lo mezcla con agua dentro del pozuelo de goma, hasta obtener una masa homogénea y moldeable. La mezcla se esparce cuidadosamente sobre la cuchara de Casagrande y se nivela paralelamente a la base, con el acanalador se divide perpendicularmente a la muestra en partes iguales. Se gira el manubrio de la cuchara a una velocidad de 2 revoluciones por segundo y se cuenta el número de vueltas que permitan la unión de unos 10 mm de la mezcla en el fondo del canal trazado. Si el número de golpes está entre 11 y 45 se extrae una fracción de la muestra para el análisis de humedad y se registra el número de golpes realizado.

Este proceso se repite al menos cuatro veces, con contenidos de agua diferente, de tal manera que se encuentre en el rango establecido y, además al menos dos ensayos estén bajo los 25 golpes y dos sobre los 25 golpes. De los datos obtenidos se realiza una gráfica en donde, en las abscisas en escala logarítmica se registra el número de golpes y en las ordenadas el contenido de humedad. El valor de límite líquido se obtiene por la interpolación de valores de humedad y número de golpes, tal que se produzca la condición de 25 golpes.

Para algunas muestras el análisis no es concluyente, por lo que se debe repetir y se obtener más de los cuatro puntos iniciales dentro de la gráfica, y con todos ellos construir una nueva gráfica que mantenga una tendencia para obtener un valor aceptable para límite líquido.

De acuerdo al estudio realizado por (Puy Santín, 2005), el factor de secado del material influye en los resultados de los ensayos del límite líquido, pues, al someter a un secado al horno o estufa, existe una disminución considerable del límite líquido en suelos orgánicos y algunos inorgánicos, es decir, este método de secado no es recomendable en suelos orgánicos, ni en suelos inorgánicos con alto contenido de limo o arcilla. Existen casos para los que el límite líquido correspondiente a muestras

secas en el horno, presentan una variación menor al 30% del valor que se obtiene sometiendo la muestra a un secado al ambiente; se debe considerar además que, si se realiza el ensayo en arcillas sulfhídricas, el valor de límite líquido puede verse reducido a menos de la mitad (Puy Santín, 2005). Por esta razón, en este estudio, se considera el ensayo de límite líquido bajo dos condiciones de secado: al horno y al ambiente, influyendo en la clasificación del suelo (mediante SUCS) como inorgánico u orgánico.

3.6.3.2. Límite plástico

Para la realización de este ensayo se sigue la norma (ASTM D4318-17e1, 2017), en la cual se obtiene el contenido de agua que permite que la mezcla de suelo y agua pase a un estado plástico. La muestra de suelo requerido, mantiene las mismas condiciones expresadas anteriormente para el ensayo de límite líquido. La adición de agua es menor que para el límite líquido, de tal manera que mantenga una consistencia plástica. Para este ensayo es necesario un pozuelo de goma para el mezclado, una placa de vidrio, calibrador, pipeta y espátula pequeña.

Tomar alrededor de 10 g de mezcla de suelo y moldear con los dedos formando una bola, colocar sobre la placa de vidrio y hacerla rodar hasta alcanzar que el rollo presente fisuras y tenga un diámetro de 3 mm, si se desmenuza antes de alcanzar el diámetro se debe añadir agua a la muestra de suelo, posteriormente, obtener el contenido de agua de cada rollo. Este procedimiento se repite entre 3 o más veces, para hallar el valor de límite plástico se debe promediar los contenidos de agua de cada rollo.

3.6.3.3. Cálculo de índices

Al tener los valores de límite líquido y plástico, se puede determinar varios parámetros de consistencia, como:

- Índice de plasticidad, es la diferencia del límite líquido y plástico y permite una calificación cualitativa de la plasticidad, y la clasificación del suelo.
- Índice de consistencia, se evalúa de acuerdo al límite líquido del suelo, su índice de plasticidad y el contenido de agua en la muestra. Su índice permite clasificar el suelo en duro, friable, plástico o viscoso y a su vez establece características de su comportamiento (Das, 2010).
- Inferir el comportamiento expansivo del suelo, según los límites de Atterberg, se puede predecir el grado de expansión que presentaría el suelo.
- Determinar el grado de contenido orgánico.

3.6.4. Contenido de materia orgánica

Este ensayo fue realizado por personal del Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Cuenca para las diferentes muestras de distintas profundidades para cada pozo de exploración en Guzho y Baños, en base a la normativa (AASHTO T267-86, 2008). Las muestras entregadas al personal, cumplían las condiciones iniciales y su número por profundidad de cada pozo era una. Una vez realizado el ensayo de



contenido de materia orgánica se obtiene la oxidación cuantitativa de materia orgánica, así como una estimación válida del contenido orgánico. Para la realización de este ensayo se requiere un horno que mantenga una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, una balanza, mufla, crisoles y desecadores. La muestra de suelo debe ser representativa, pesar mínimo 100 g de la porción que pase el tamiz No. 10 (2,00 mm). La muestra se mete al horno ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) hasta mantener un peso constante, y posteriormente se coloca en el desecador para enfriarla.

El procedimiento de ignición, se produce al colocar una muestra de entre 10 y 40 g, en el crisol y se pesa con una aproximación de 0,01 g. Luego, el crisol se mete dentro de la mufla por 6 horas aproximadamente a una temperatura de $445 \pm 10^\circ\text{C}$. La muestra se retira y se coloca en el desecador para su enfriamiento, una vez más se registra el peso de la muestra y el crisol. El contenido de materia orgánica, se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ contenido orgánico} = \frac{A - B}{A - C} \times 100 \quad \text{Ecuación 23}$$

Dónde:

A = peso del crisol y del suelo seco, antes del proceso de ignición

B = peso del crisol y del suelo seco, después del proceso de ignición

C = peso del crisol, con aproximación a 0,01 g

3.7. Clasificación del suelo

La clasificación del suelo se realiza por dos métodos, estos son: Sistema de Clasificación AASHTO y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). El primero es generalmente usado para el ámbito vial y el segundo para estudios geotécnicos. (Das, 2001)

3.7.1. Clasificación AASHTO

El procedimiento a seguir se establece en la AASHTO M-145, para su desarrollo es necesario tener el valor de la fracción que pasa el tamiz No.10 y No. 200, para definir el tamaño del grano (grava, arena o limo y arcilla); el valor de límite líquido e índice de plasticidad.

Al referirse el estudio a suelos arcillosos o de composiciones similares, su clasificación se encuentra para materiales limo-arcilla, donde más del 35% de la composición granulométrica pasa por el tamiz No. 200, pudiendo clasificarse como A-4, A-5, A-6 o A-7.

En el Anexo 1, se verifica cada criterio a cumplir para su clasificación. Primero, se verifica el porcentaje de material que pasa la malla No. 200, seguido del valor de límite líquido y finalmente, el índice de plasticidad; buscando la primera clasificación que se cumpla. Adicionalmente, se puede obtener el índice de grupo, mencionado en la revisión del marco teórico de este método.

3.7.2. Clasificación SUCS

La normativa propuesta para esta clasificación es la ASTM D 2487 (2000); similar al estudio anterior es necesario conocer previamente el porcentaje de material que pasa la malla No. 200, la malla No. 4, el D10, D30, D60, su límite líquido e índice de plasticidad. Si menos del 50% pasa por la malla No.200, se refiere a suelos de grano grueso (grava o arena), caso contrario, el suelo es de grano fino (limo - arcilla orgánicos o inorgánicos). Debido al tipo de material del estudio, se considera evaluar el segundo tipo de suelo.

Los criterios de clasificación se encuentran en el Anexo 2, donde es importante verificar si corresponde a un material de alta o baja plasticidad. Este parámetro es evaluado comparando el índice de plasticidad con el valor obtenido de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$PI = 0,73(LL - 20)$$

Ecuación 24

Adicionalmente se obtiene el símbolo y nombre del grupo, de acuerdo a lo especificado en el diagrama de flujo expuesto en el Anexo 3.

3.8. Análisis estadístico

En el caso de los datos de ensayos ya realizados, se identifican los lugares de los que se tiene información disponible suficiente para realizar un análisis estadístico. Cada parámetro geotécnico es tabulado identificando si pertenece o no al lugar en estudio, es decir forma parte de la muestra, si comparte características como la ubicación, color de suelo, textura, entre otros.

Se procede a la tabulación de los datos de los parámetros geotécnicos, tanto los proporcionados por ensayos ya realizados como los obtenidos en ensayos propios. De cada muestra se calculan los estadísticos de la muestra como son la media (μ), varianza (s), desviación estándar (s^2) y coeficiente de variación (CV).

Como se menciona en (Segnini, 2018) varios de los procedimientos en estadística son paramétricos, de manera que su aplicación dependen de que el conjunto de datos siga la distribución normal. Para este fin se realiza la prueba de normalidad Shapiro Wilk ya que los datos de los que se disponen están en un rango inferior a 50.

La prueba de normalidad consiste en aceptar o no la hipótesis nula que niega la normalidad de la distribución. Utilizando la Ecuación 15 y Ecuación 16 se obtiene el estadístico de prueba (W_c) que se compara con el estadístico tabulado (W) de (Serret Moreno-Gil, 1995). El estadístico (W) se encuentra en tablas en función del tamaño de la muestra (n) y el nivel de confianza. Según (ASTM D6708-18, 2018) para que una metodología pueda ser reproducible es necesario un nivel de confianza del 95%, sin embargo en (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) se expresa que el nivel de confianza variará de acuerdo del proceso que se esté evaluando.

La variabilidad de los datos se verifica con el coeficiente de variación de la muestra el cual debe estar dentro de los rangos mostrados en la Tabla 12, además se calcula el error estándar de la media con la Ecuación 25 que representa el error en la desviación estándar.

$$\text{Error estándar} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Debido a que se cuenta con un número de datos adecuado para realizar el análisis, se procede a calcular el nivel de confianza que proporciona cada conjunto de datos. De acuerdo a lo expuesto en el capítulo 2 y conociendo que cada muestra sigue la distribución normal, se utiliza la distribución normal estándar para hallar el nivel de confianza que tienen las muestras con el parámetro (Z) Ecuación 14. Con los valores de (Z_{max}) y (Z_{min}) se verifica en el Anexo A3 de (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) el área bajo la curva de cada uno, de manera que el nivel de confianza está dado por la Ecuación 26.

$$\text{Nivel de confianza} = (A_{Z_{max}} - A_{Z_{min}}) \times 100 \quad \text{Ecuación 26}$$

En un proceso inverso al anterior se puede obtener un intervalo de confianza en función del nivel de confiabilidad que se establece (95%) (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012). Obtenido el intervalo de confianza de cada muestra se considera un intervalo común para ambas solo si es que cumplen con la hipótesis nula de la distribución t Student: *Ho: No existe diferencia entre las medias de las dos muestras.*

Cuando la hipótesis sea negada se acepta la muestra que presente el mayor nivel de confianza con los datos disponibles, a partir de la cual se calcula en intervalo de confianza para el 95% de nivel de confiabilidad como se muestra en la Tabla 13 de donde se obtiene la Ecuación 27.

$$\mu = \bar{x} \pm 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 27}$$

La distribución t Student con la variación Welch se calcula con Ecuación 17 y Ecuación 18 con el área α bajo la curva tomado del Apéndice 4 de (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) e interpolando en caso de ser necesario. El conjunto de la zona de aceptación es el mismo de la Ecuación 19.

Para simplificar la metodología del presente estudio, y a manera breve y general se propone la siguiente tabla resumen, que detalla el proceso a seguir para la caracterización del suelo en las diferentes zonas.

Tabla 20: Resumen de la metodología para el estudio
Fuente: Elaboración propia.

Metodología de estudio	
Establecer los sitios más adecuados para desarrollar el proceso de caracterización del suelo.	
a.	Analizar la literatura existente y determinar las zonas inestables presentes.
b.	Definir los suelos a ser evaluados.
c.	Realizar un análisis geológico de las zonas donde se ubican los suelos a estudiar.
d.	Delimitar espacialmente el área donde afloran los suelos estudiados.
Recopilar información de ensayos existentes de los suelos de estudio.	
a.	Identificar y tabular la información de los parámetros geotécnicos de los ensayos existentes.
Realizar diferentes ensayos de laboratorio para complementar la información disponible y lograr información estadísticamente representativa.	
a.	Obtener muestras de suelos mediante calcatas a cielo abierto.
b.	Realizar en el laboratorio ensayos que permitan clasificar el suelo.
Analizar los resultados recolectados y obtenidos para determinar valores cualitativos y/o cuantitativos de parámetros geotécnicos de los dos suelos estudiados	
a.	Procesar la información obtenida para obtener valores cuantitativos y/o cualitativos de parámetros geotécnicos.
b.	Comparar y validar resultados de ensayos existentes con los resultados de los ensayos realizados.
c.	Realizar el análisis estadístico de los resultados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo se concentra en dos zonas de la ciudad de Cuenca, de las cuales se han obtenido varias muestras de suelo para ejecutar diferentes ensayos de propiedades físicas de los materiales. Los resultados son tabulados y comparados con información disponible. Luego del análisis estadístico, es posible obtener un rango de valores confiable para cada parámetro físico y mecánico del tipo de suelo de estudio, con un análisis geotécnico cualitativo de acuerdo a sus propiedades.

4.1. Elección de suelos de estudio

Como resultado de la revisión de literatura disponible se identificaron dos sectores con amenaza de inestabilidad del suelo en la ciudad de Cuenca: el sector de Guzho ubicado al Suroeste de la ciudad de Cuenca con coordenadas 718329,9 E y 9676508 N, y el sector Colegio Borja en las coordenadas 716784 E y 9676882 N.

Los dos suelos seleccionados para este estudio, se determinaron de acuerdo a la existencia de problemas o inestabilidades en estos suelos y que la cantidad de información pueda ser representativa para su análisis. Con respecto a la inestabilidad del suelo, en el capítulo anterior se expresaron varios sectores de deslizamiento activo o latente, según su velocidad de desplazamiento (ver Tabla 14), por lo que se refiere al sitio de Guzho como zona de deslizamiento activo y al de Baños como deslizamiento latente, de igual en el próximo apartado se analiza su historial de deslizamientos en estas zonas, justificando nuevamente su selección de acuerdo a este criterio, .

En función de la disponibilidad de datos se debe recalcar que la información cuantitativamente era representativa, como se indicó en el anterior capítulo dentro de la Figura 16 y Figura 17, en los siguientes resultados se encuentra la tabulación de esta información y su análisis.

Para Baños y Carmen de Guzho (Figura 18), el suelo presente es muy similar, se trata de un suelo fino de textura suave, consistencia entre media y blanda dependiendo de su humedad, su color es negro; este tipo de suelo, se halla ampliamente distribuido en la superficie de los sectores en análisis.



Figura 18: (a) Pozo de extracción en Baños (b) Suelo de análisis para Guzho
Fuente: Elaboración propia

4.2. Historial y situación actual del suelo de estudio

Citando el historial de deslizamientos para las zonas de estudio, se tiene que en el Sector Carmen de Guzho, se produjo un macrodeslizamiento donde en 1999 en el transcurso de 3 meses el deslizamiento destruyó 37 viviendas, una guardería, una escuela, y un cementerio ubicados en esta zona. en la Figura 19 se observan columnas inclinadas por el movimiento (a), residuos de construcciones (b) y (c), e inclinación de la vegetación (d).



(a)



(b)



(c)



(d)

*Figura 19: Afección en la infraestructura por el deslizamiento en Carmen de Guzho (1999)
Fuente: (Castillo I, s/f)*

Actualmente en la zona de Guzho, de acuerdo a inspecciones en campo el problema en la infraestructura no es de la magnitud de como cuando se produjo su deslizamiento en 1999. Sin embargo, moradores de la zona manifiestan tener fisuras y grietas en las paredes y losas de sus viviendas, así como daños en la infraestructura vial que presentan hundimientos, hinchamientos, fracturas y desplazamientos en la calzada. En la zona alta, posterior a la Iglesia de Carmen de Guzho se pueden ver vestigios menores de construcciones derrumbadas, que han sido tapados por vegetación (ver Figura 20 (a)).

Para la zona de Baños, en su mayoría no se encuentran problemas de grandes deslizamientos, sin embargo, se han encontrado problemas tales como agrietamientos (ver Figura 20 (b)) y hundimientos en infraestructura aledaña de acuerdo a la inspección visual realizada en la zona, por lo que se recomendaría hacer un análisis en la zona para identificar posibles causas para estas inestabilidades.



(a) Vestigios de viviendas colapsadas cubiertos de vegetación, zona de Guzho.



(b) Agrietamientos en construcción menor, zona de Baños.

Figura 20: Situación actual en las zonas de estudio
Fuente: Elaboración propia

4.3. Información disponible

Inicialmente es importante mencionar que la información en el Sector Carmen de Guzho, contiene mayores datos previos al estudio, realizados por diversas instituciones públicas y privadas. Por otra parte, en la zona de Baños la información previa es escasa respecto a la primera zona mencionada.

Como se mencionó en el capítulo de metodología, las fuentes de información son diversas; en el caso de información dentro de la cátedra de Mecánica de Suelos en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, los estudiantes realizan cada año ensayos de laboratorio en suelos de la ciudad, existiendo resultados para los dos sectores en análisis de diferentes ensayos de clasificación de suelos, compresión simple, triaxial, corte directo y ensayos de campo; expuestos anteriormente en metodología.

4.3.1. Sector Carmen de Guzho

4.3.1.1. Ensayos realizados – cátedra de Mecánica de Suelos

El análisis de los 170 datos, se divide en los distintos ensayos mencionados con anterioridad dentro de este documento. A continuación, se presenta en la siguiente tabla la información sin ningún tratamiento previo, que de acuerdo a la variabilidad de valores se expresa en rangos, considerando como límite superior e inferior los valores máximos y mínimos, expresados para cada propiedad. La información completa sin ningún tratamiento o validación se expresa en el Anexo 4, para propiedades físicas, y para propiedades mecánicas en el Anexo 5. Es importante mencionar que valores

provenientes de informes con escasa confiabilidad, ya sea por la calificación otorgada por el docente, o notas adicionales del mismo, han sido eliminados para su análisis.

Parámetro	Unidades	Rango de Valores	
		Máximo	Mínimo
Densidad seca	γ_d g/cm^3	1,740	1,067
Densidad húmeda	γ_w g/cm^3	2,203	1,350
Humedad	w %	44,6	18,8
Saturación	S %	84,6	58,6
Límite líquido	LL %	66	32
Límite plástico	LP %	7	38
Expansión	%	0,80	0,47
Triaxial	ϕ °	9,4	1,2
	C kN/m^2	49,6	13,7
Corte directo	ϕ °	27,7	1,1
	C kN/m^2	72,4	19,6
Compresión simple	C kN/m^2	83,3	10,7

Tabla 21: Resumen de información obtenida mediante la cátedra Mecánica de Suelos
Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Ensayos realizados – Dirección de Gestión de Riesgos de la Municipalidad de Cuenca

Debido al gran deslizamiento producido en la Parroquia Turi – Sector Carmen de Guzho (1999), se vio la necesidad de ampliar estudios en la zona a fin de mitigar o reducir el riesgo para los moradores de la zona e infraestructura. El Laboratorio Geotécnico RASTER y la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, levantaron información mediante calicatas de excavación y sondeos SPT, localizados geográficamente en la Figura 21 de acuerdo a la ubicación de puntos en coordenadas UTM WGS 64 de la Tabla 16 (capítulo de metodología). Los pozos de exploración permitieron obtener información de consistencia y distribución granulométrica a fin de realizar la clasificación del suelo mediante SUCS y AASHTO, estos resultados permiten una interpretación de la distribución del suelo espacialmente, la cual se presenta más adelante.

UBICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE GESTIÓN DE RIESGOS EN EL SECTOR CARMEN DE GUZHO

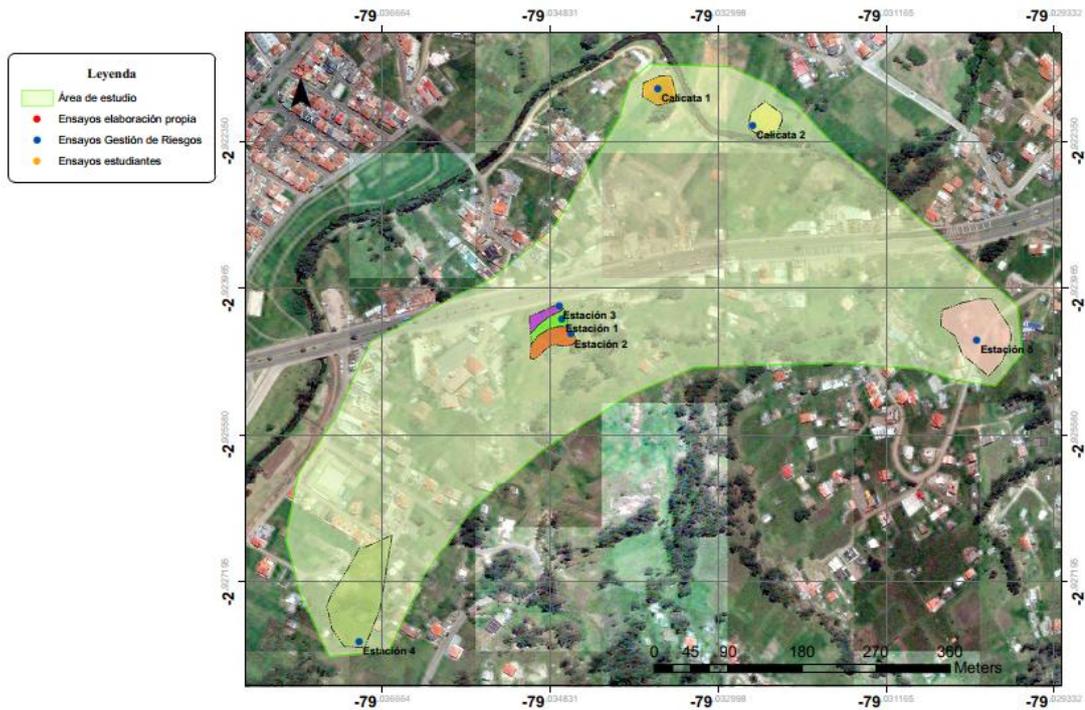


Figura 21: Ubicación geográfica de pozos de exploración DGR - Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

Los datos de los diferentes ensayos obtenidos por esta fuente se observan en la Tabla 22, que representa valores de distribución granulométrica, clasificación del suelo y límites de Atterberg. En el caso de las calicatas de excavación manual, se presenta toda la información, mientras que para los resultados del sondeo SPT, se expresan información que corresponda únicamente a suelo fino, según el análisis propuesto para este estudio. La información completa se presenta en el Anexo 6, donde se encuentra toda la información respecto a evaluación de profundidad realizado por los sondeos SPT, toda la información obtenida por el análisis de calicatas se presenta en el Anexo 7 y Anexo 8.

Tipo de ensayo	# Pozo	Prof m	Distribución granulométrica			Clasificación del suelo		Límite líquido	Límite plástico
			% Grava	% Arenas	% Finos	SUCS	AASHTO	%	%
Calicata de excavación manual	1	1,6	3	29	68	CL	A-7-5	46,8	26,2
		2,1	0	71	29	SC	A-2-6	37,4	23,5
	2	1,7	0	51	49	SC	A-6	39,1	24,3
		2,2	6	78	16	SM	A-2-4	NP	NP
Sondeo SPT	1	2	3	35	62	MH	A-6	56,9	43,7
		3	0	48	52	MH	A-6	63,4	35,5
		4	0	32	68	ML	A-6	44,2	32,1
	2	1	1	40	59	CH	A-6	59,3	29,9
		3	6	41	53	MH	A-6	64	43,3
		9	0	47	53	MH	A-6	56,7	38
		3	1	0	36	64	MH	A-6	58,9	31



	6	2	39	59	MH	A-6	69	44,5
	8	2	35	63	MH	A-6	68,2	40,2
	1	4	34	62	CL	A-6	41,4	24,7
5	2	7	33	60	CH	A-6	52,3	28,5
	3	9	41	50	ML	A-6	49	33

Tabla 22: Resumen de información por Dir. Gestión de Riesgos
Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Sector Colegio Borja - Baños

4.3.2.1. Ensayos realizados – cátedra de Mecánica de Suelos

Para esta zona de estudio se tienen 127 datos, divididos según el tipo de ensayo mencionado con anterioridad dentro de este documento. En la Tabla 23 se puede observar información sin ningún tratamiento previo. Al tener variabilidad en ciertas propiedades como la densidad, se considera expresar de acuerdo al límite superior e inferior que está dado por los valores máximos y mínimos para cada propiedad.

Tabla 23: Resumen de información obtenida mediante la cátedra Mecánica de Suelos
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Unidades	Rango de Valores	
		Máximo	Mínimo
Densidad seca	γ_d g/cm ³	1,810	1,210
Densidad húmeda	γ_w g/cm ³	2,150	1,550
Humedad	w %	44,0	5,0
Límite líquido	LL %	93	75
Límite plástico	LP %	34	24
Expansión	%	0,76	0,50
Triaxial	ϕ °	23	5
	c kN/m ²	133,4	33,9
Corte directo	ϕ °	17	1,96
	c kN/m ²	76,3	1,9
Compresión simple	c kN/m ²	53,4	11,5

La información completa sin ningún tratamiento o validación se expresa en el Anexo 9 para propiedades físicas y para propiedades mecánicas en el Anexo 10. De igual manera que se realizó para Carmen de Guzho los valores provenientes de informes con escasa confiabilidad han sido eliminados para su análisis, es decir, no se encuentran contabilizados dentro de los 127 datos expresados al inicio.

4.4. Ubicación geográfica de zonas de extracción de muestras

4.4.1. Sector Carmen de Guzho

La ubicación geográfica de los pozos de donde se extrajeron las muestras, se muestra en la siguiente figura de acuerdo a la información expuesta en el capítulo anterior (Tabla 18). La Figura 22 muestra la distribución espacial del suelo estudiado, los puntos fueron seleccionados de acuerdo al análisis visual que mantenga el mismo tipo de suelo o hasta donde se halle combinado con otros materiales, los puntos se distribuyeron en un área de influencia de 24,76 hectáreas, delimitada en la figura.

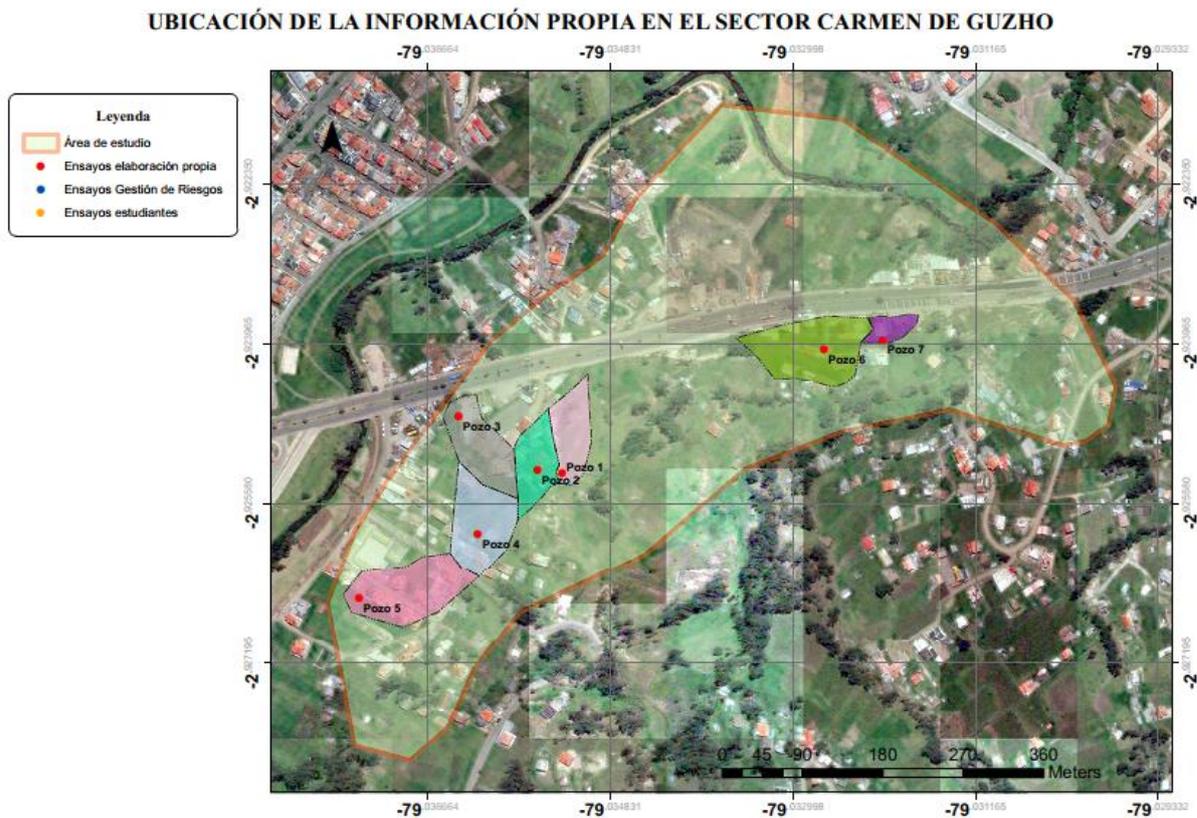


Figura 22: Ubicación de pozos de extracción – Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Sector Colegio Borja – Baños

La siguiente imagen presenta la ubicación de los pozos analizados en Baños, su distribución cubre un área de 53,88 hectáreas (Ver Figura 23). En esta zona la información levantada mediante los pozos es menor en comparación a Guzho, pero esto se debe a la accesibilidad de exploraciones en campo, que permitan delimitar la extensión del suelo en estudio (sensación al tacto, con características de plástico y coloración negra). La poca accesibilidad por parte de moradores de la zona para la extracción de muestras, e infraestructura como muros delimitando zonas con alto potencial de mantener el mismo tipo de suelo.

UBICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)

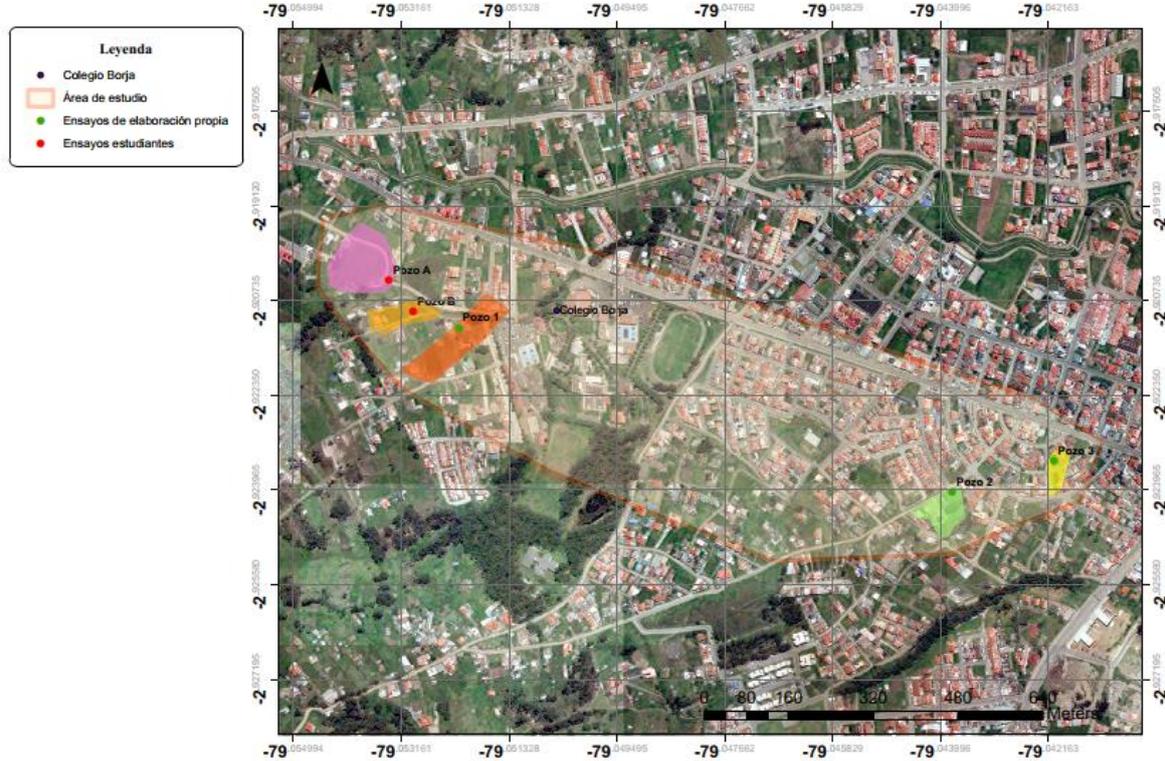


Figura 23: Ubicación de pozos de extracción – Colegio Borja - Baños
Fuente: Elaboración propia

4.5. Ensayos de laboratorio

4.5.1. Sector Carmen de Guzho

4.5.1.1. Determinación de parámetros físicos

La determinación de parámetros físicos se basa en la realización de los ensayos detallados anteriormente en el capítulo 3. Haciendo un recuento de estos ensayos tenemos: determinación de densidad específica, distribución granulométrica, límites de Atterberg, contenido de materia orgánica y la clasificación del suelo mediante metodologías como SUCS y AASHTO.

Para simplificar visualmente los resultados de cada ensayo, se presenta en la siguiente tabla un resumen de los ensayos realizados y sus valores obtenidos para cada muestra

Tabla 24: Determinación de parámetros físicos de acuerdo al pozo y su profundidad

Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Humedad	Densidad seca	Contenido materia orgánica	Límite plástico	Límite líquido	Índice de plasticidad	Índice de consistencia	Clasificación del suelo
------	-------	---------	---------------	----------------------------	-----------------	----------------	-----------------------	------------------------	-------------------------



	m	%	g/cm ³	%	%	%	%		AASHTO	SUCS
1	1	22,7	1.678	5,05	34	54	20	1,6	A-7-5	MH
	1,8	25,9	1.628	5,04	33	59	26	1,3	A-7-5	MH
2	1	18,4	1.509	8,09	31	60	29	1,4	A-7-5	OH
	1,3	30,5	1.445	10,45	28	53	25	0,9	A-7-6	CH
3	1,8	36,5	1.235	9,19	37	55	18	1,0	A-7-5	MH
	1,9	45,9	1.271	10,19	31	64	33	0,5	A-7-5	CH
4	1	11,8	1.770	5,21	30	48	18	2,0	A-7-5	ML
	1,8	17,2	1.611	3,9	32	46	14	2,1	A-7-5	ML
5	1	29,5	1.350	8,96	33	75	42	1,1	A-7-5	CH
	1,4	29,6	1.466	6,39	24	47	23	0,8	A-7-6	CL
6	0,9-1	20,3	1.500	4,98	30	64	34	1,3	A-7-5	OH
	1	21,6	1.615	5,11	26	48	22	1,2	A-7-6	OL
	2	31,4	1.518	5,47	28	55	27	0,9	A-7-6	CH
7	0,5	11,9	1.790	7,14	30	43	13	2,4	A-7-6	ML

La distribución granulométrica para cada pozo se presenta en la siguiente tabla. Se puede apreciar el porcentaje de grava, arena y suelo fino que se posee. De acuerdo al material que pasa los tamices #4, #10, #40 y #200.

Tabla 25: Distribución granulométrica - Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Distribución granulométrica		
	m	% Grava	% Arena	% Finos
1	1	0,0	20,9	79,1
	1,8	0,0	17,4	82,6
2	1	0,0	22,8	77,2
	1,3	0,0	22,0	78,0
3	1,8	0,0	12,3	87,7
	1,9	0,0	15,8	84,2
4	1	0,0	34,4	65,6
	1,8	0,2	35,5	64,3
5	1	0,0	6,9	93,1
	1,4	0,0	25,9	74,1
6	0,9-1	0,0	25,3	74,7
	1	0,0	19,0	81,0
	2	0,0	15,5	84,5
7	0,5	0,3	23,6	76,1

4.5.1.2. Análisis y relación entre pozos

Cada pozo fue excavado alrededor de 2 metros identificando cambios de estrato y nivel freático, los esquemas de la excavación de cada pozo se indican desde la Figura 24 hasta la Figura 30. En cuanto a la ubicación del nivel freático se determinó



mediante medición directa en el pozo abierto y luego de haber esperado un tiempo aproximado de una hora para que el nivel de agua se estabilice. El nivel freático encontrado para el pozo 3 y pozo 5 es similar y se encuentra a una profundidad de 1,90 y 1,40 m respectivamente, niveles que pueden justificarse por la cercanía que mantienen con el río Tarqui.

Las figuras incluyen resultados de clasificación del suelo obtenidos usando las metodologías SUCS Y AASHTO, para el primer caso la clasificación varía entre limos y arcillas de alta plasticidad y en dos pozos (2 y 6) su estrato superior son suelos orgánicos; para la segunda metodología se tienen suelo A-7-5 que representa suelos arcillosos con un comportamiento de mediano a pobre en calidad de subrasante.

De acuerdo a la metodología AASHTO se obtienen valores mayores a 18 en su mayoría, excepto para el pozo 4 que tiene valores menores a 11, por lo que se puede decir que este es un caso puntual; en general se tiene, que la calidad del material como subrasante disminuye si mayor es el índice de grupo, concluyendo que este tipo de material encontrado en la zona concentrada de extracción de muestras, debilita significativamente la eficiencia de una vía si no se realizan procesos de estabilización para la construcción de una vía.

La variación de pesos específicos ya sean húmedos o secos se analizan posteriormente, sin embargo, es importante recalcar que conforme la profundidad aumenta, también lo hacen sus densidades y humedades, lo que concuerda con los niveles freáticos encontrados durante la excavación de pozos.

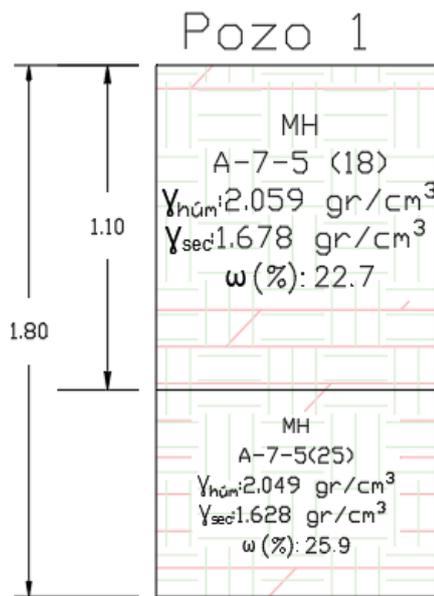


Figura 24: Información Pozo 1
Fuente: Elaboración propia

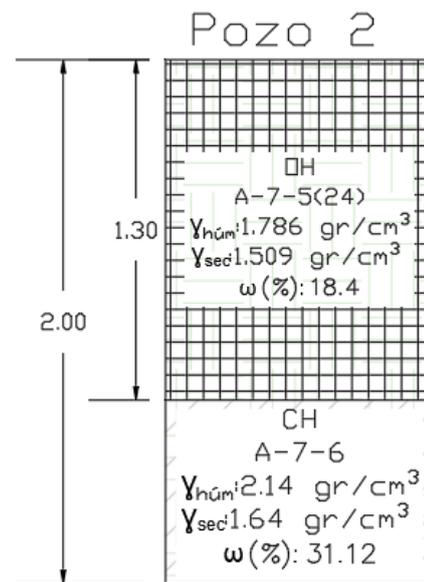


Figura 25: Información Pozo 2
Fuente: Elaboración propia

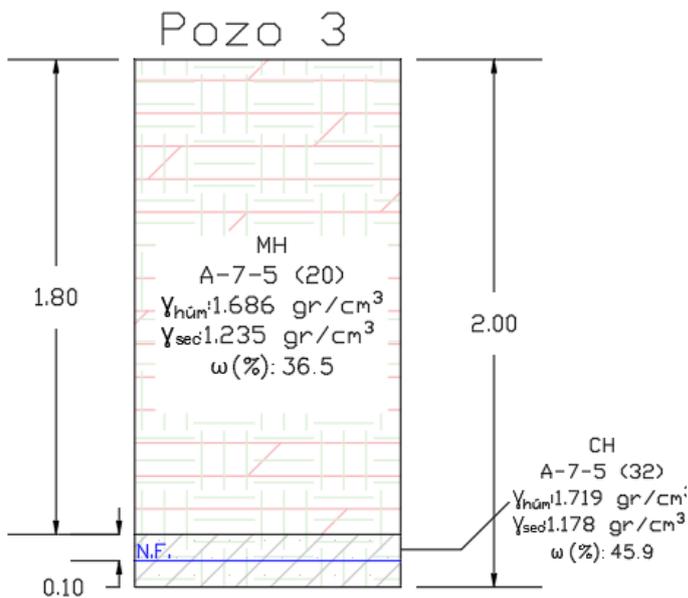


Figura 26: Información Pozo 3
Fuente: Elaboración propia

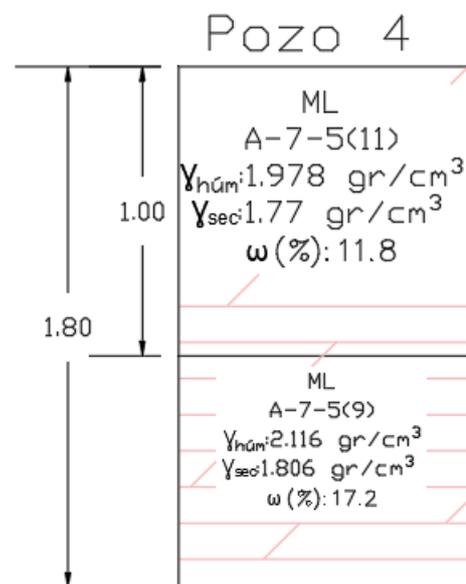


Figura 27: Información Pozo 4
Fuente: Elaboración propia

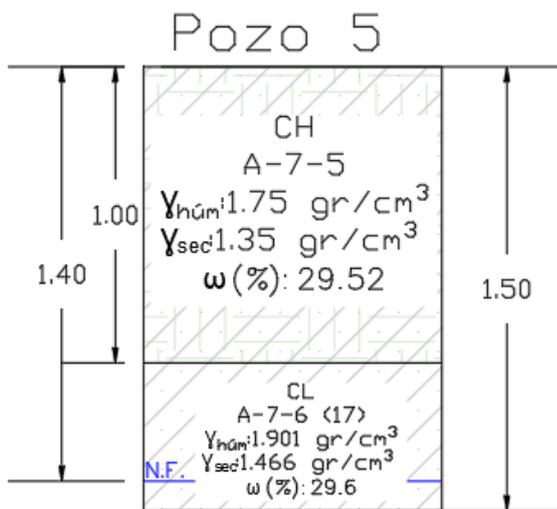


Figura 28: Información Pozo 5
Fuente: Elaboración propia

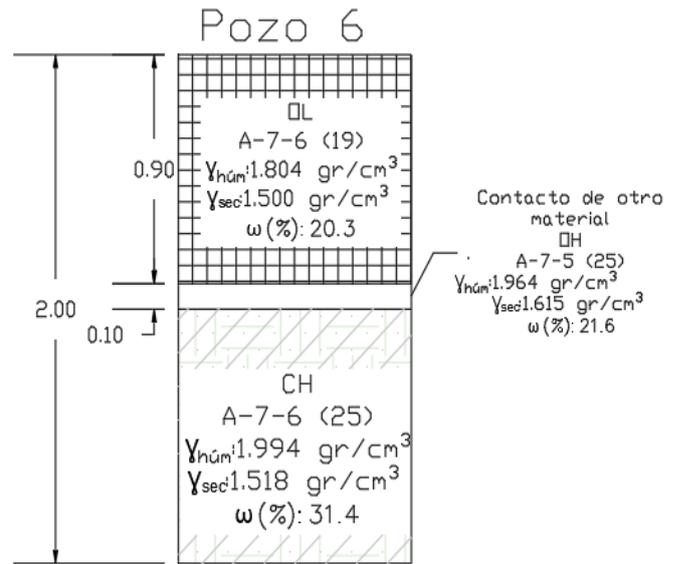


Figura 29: Información Pozo 6
Fuente: Elaboración propia

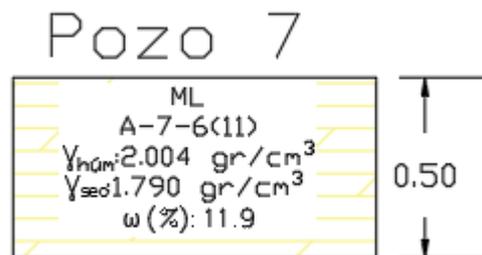


Figura 30: Información Pozo 7
Fuente: Elaboración propia

Se ensayaron 14 muestras de suelo distribuidas en 7 pozos, de los cuales el 50% correspondió a limos y el otro 50% a arcillas; además los pozos 2 y 6 que presentaron suelos orgánicos en niveles de entre 1,00 – 1,30 m, de acuerdo a la clasificación mediante la metodología SUCS.

En los pozos 2, 5 y 6 se observó un cambio de estrato notable; por otro lado, en la excavación del pozo 7 se observó que el material era menos plástico, más compacto y de color más claro que en los demás pozos, por lo cual únicamente la muestra se tomó a 0,50m.

La consistencia del suelo es evaluada de acuerdo de acuerdo a los límites de Atterberg, que, de acuerdo a literatura manifestada en capítulos anteriores, permite obtener un análisis cualitativo de la zona. Dentro de esta sección no se analiza cualitativamente, para posteriormente de acuerdo a mas correlaciones obtenidas por este estudio se pueda tener una sección de análisis cualitativo de acuerdo la información propia levantada.

La humedad máxima registrada (ver Tabla 24) en las muestras fue 45,9 % en el pozo 3 a una profundidad de 1,90 m y la mínima 11,9% en el pozo 7 a 0,50 m de profundidad; cabe

mencionar que las excavaciones se tomaron en época de verano por lo que las muestras no estaban saturadas.

La distribución granulométrica para todos los suelos se presenta en la siguiente figura. Se tiene para todos los pozos un porcentaje mayor al 99% que pasa el tamiz #4. Aproximadamente las partículas de suelo se comportan de manera similar hasta pasar por el tamiz #16, posteriormente en la mayoría de pozos mientras aumenta la profundidad de la muestra analizada el porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200 es menor. La zona estudiada concentra el material que pasa el tamiz #200 entre un 75 y 85%.

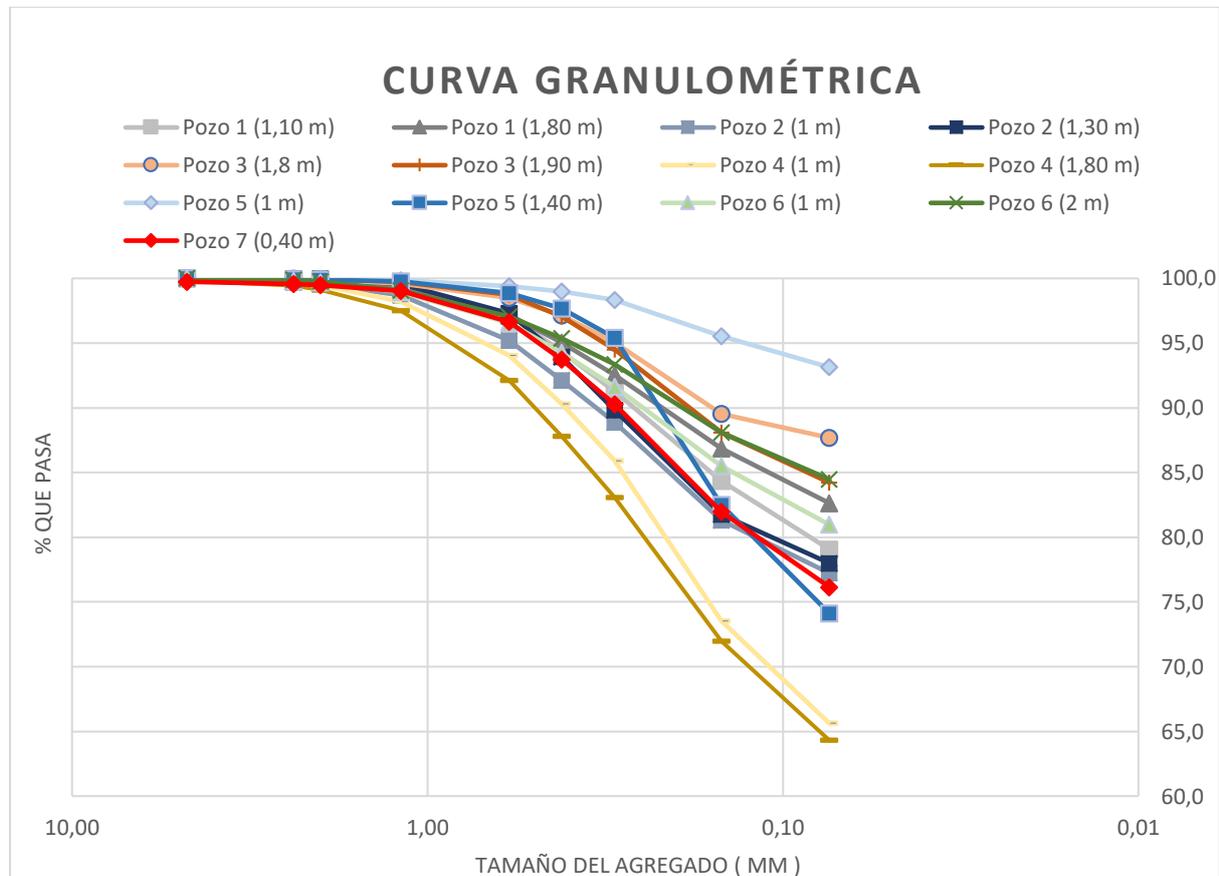


Figura 31: Curvas granulométricas para las zonas de estudio – Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

El límite líquido con muestras secas al horno y secas al ambiente tiene una variación alta entre el 5 y 33% en los pozos 7 y 6 respectivamente; de acuerdo a los resultados del ensayo de contenido de materia orgánica (AASHTO T267-86, 2008) es de 10,45% en el pozo 2 y el menor de 3,90% en el pozo 4. La alta concentración de materia orgánica en el pozo 2 se atribuye a la posible descomposición de residuos domésticos cerca del lugar, debido a que el pozo de exploración es aledaño a una vivienda. La Figura 32 presenta el contenido de materia orgánica en cada pozo y la variación de los valores de límite líquido causados por las condiciones de secado diferentes, mientras que la Figura 33 contiene los valores de límite líquido para las muestras secadas al horno y al ambiente.

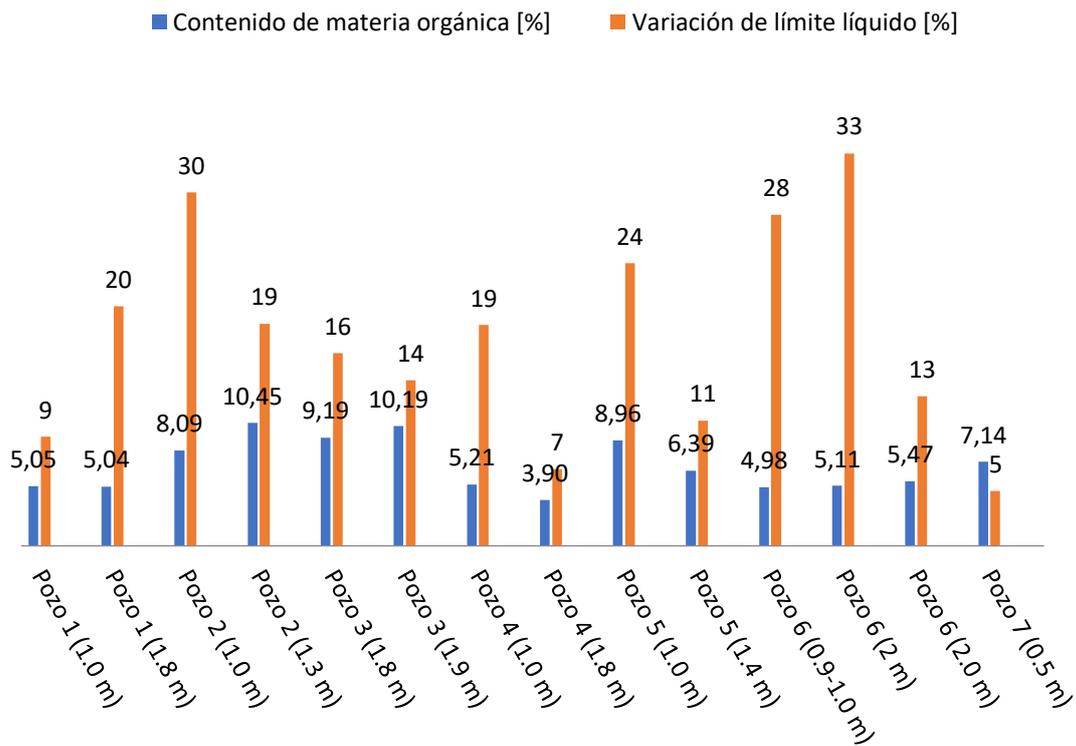


Figura 32: Contenido de materia orgánica y variación del límite líquido
Fuente: Elaboración propia

■ Límite líquido - muestra seca al horno [%] ■ Límite líquido - muestra seca al ambiente [%]

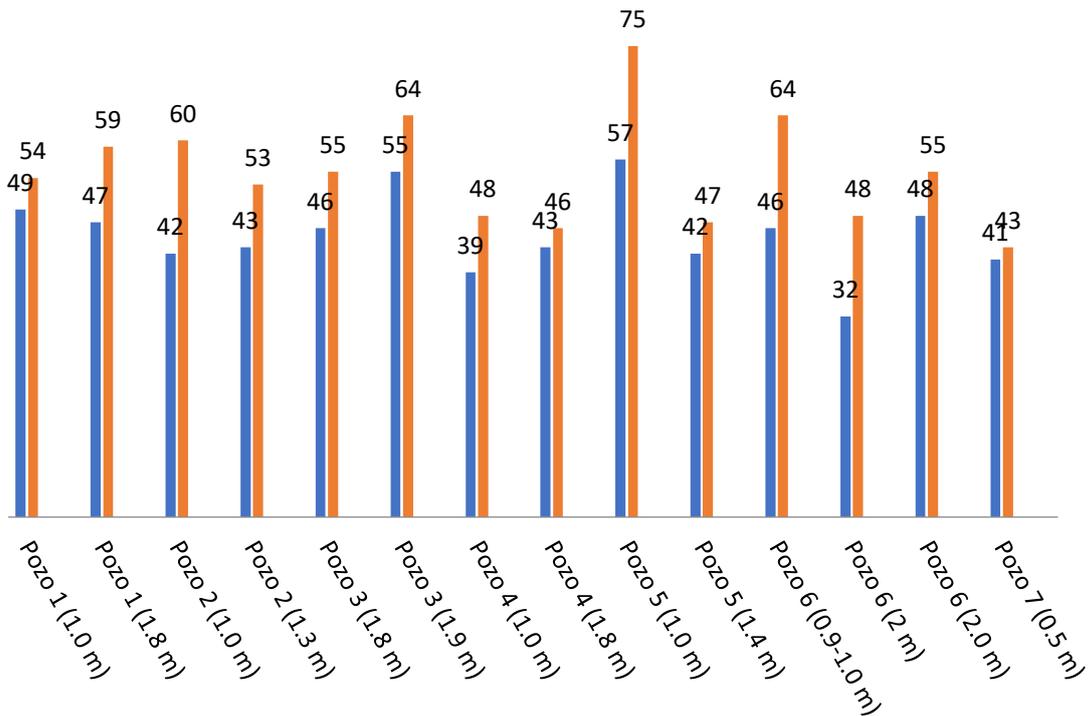


Figura 33: Valores de límite líquido con muestras obtenidas por diferentes procedimientos
Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Sector Colegio Borja – Baños

4.5.2.1. Determinación de parámetros físicos

De manera similar al análisis realizado para Carmen de Guzho, se proporciona información de los parámetros físicos desarrollados de acuerdo a los expuesto en materiales y métodos.

La Tabla 26, presenta de manera simplificada distintas características del suelo, lo cual permite su evaluación entre pozos y su profundidad de análisis.

Tabla 26: Determinación de parámetros físicos de acuerdo al pozo y su profundidad
Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Humedad	Densidad seca	Contenido materia orgánica	Límite plástico	Límite líquido	Índice de plasticidad	Índice de consistencia	Clasificación del suelo	
	m	%	g/cm ³	%	%	%	%		AASHTO	SUCS
1	0,5	29,6	1,819	1,404	4,76	41	87	0,3	A-7-5	OL
	1	21,2	1,689	1,394	3,46	24	65	41	A-7-5	CH
2	0,8	17,5	1,843	1,569	4,62	28	57	29	A-7-6	CH
3	0,8	19,9	1,370	1,193	11,06	34	55	21	A-7-5	MH

Si se compara la información presentada para Guzho con la de Baños, se recalca los escasos de valores, por lo que el enfoque del estudio se podría decir que es, un análisis mayor en la zona de Guzho, mientras que, para la zona de Baños, se presenta un estudio del suelo de coloración negra y alta plasticidad (percibida por tacto en campo) que pueda ser válido en profundidades menores, que generalmente se necesitaría para el diseño de cimentaciones de construcciones menores. La profundidad de pozos es de aproximadamente 0,80 m, necesarios en casos de análisis preliminares para infraestructuras menores.

La Tabla 17 muestra la distribución granulométrica, se expresa en porcentajes de material que puede ser el contenido de grava, arena y suelo fino.

Tabla 27: Distribución granulométrica
Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof. m	Distribución granulométrica		
		% Grava	% Arena	% Finos
1	0,5	0,0	5,3	94,7
	1	0,0	17,4	69,4
2	0,8	0,1	22,7	77,2
3	0,8	0,0	17,0	83,0

Pozo	Prof. m	Porcentaje que pasa (%)			
		#4	#10	#40	#200
1	0,5	4,75	2	4,25	0,075
	1	100	100	99,4	94,7%
2	0,8	99,9	99	82,7	66,5
3	0,8	100	99,9	92,3	83

4.5.2.2. Análisis y relación entre pozos

Es importante señalar que inicialmente se tuvieron 4 pozos de exploración en el sector de Baños, pero debido a problemas de accesibilidad se realizó el estudio de 3 pozos con profundidades de 0.5 a 1m. de acuerdo a la clasificación del suelo mediante SUCS, se tiene suelo fino, con presencia de materia orgánica que reduce la plasticidad del suelo. De acuerdo a la carta de plasticidad, este suelo corresponde a alta plasticidad.

Su clasificación mediante metodología AASHTO, nos da para la mayoría de casos un suelo A-7-5 con índices de grupo de 19 a 55, por lo que, su calidad como subrasante es pobre, y es necesario aplicar en caso de construcción de vías o rehabilitaciones, medidas correctivas y estabilizantes sobre este suelo.

Analizar su densidad seca nos da un rango estrecho de variación, puesto que la mayoría de valores se concentran cercanos al valor máximo, excepto en el pozo 3, que se presenta el valor menor, y único distinto al resto que al ser comparado con el resultado del ensayo de materia orgánica su valor es el más alto; el rango de variación de humedad es menor al igual que del resto de propiedades físicas.

Los esquemas de la información obtenida para cada pozo, se muestran desde la Figura 34 a la Figura 36.

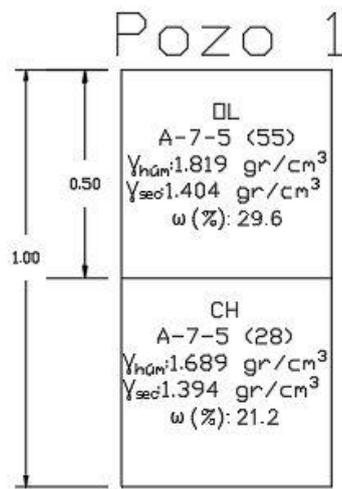


Figura 34: Información Pozo 1
Fuente: Elaboración propia

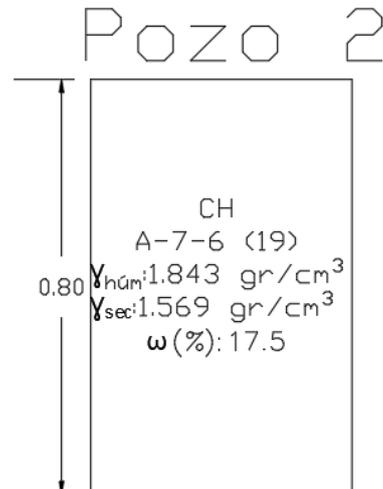


Figura 35: Información Pozo 2
Fuente: Elaboración propia

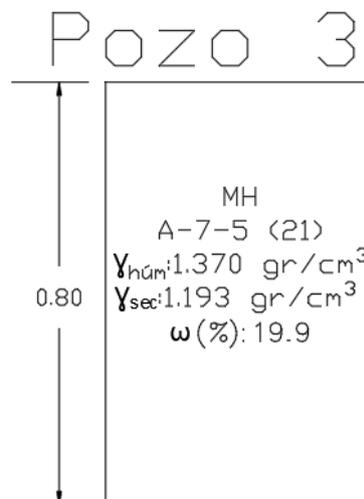


Figura 36: Información Pozo 3
Fuente: Elaboración propia

Se ensayaron 4 exploraciones de suelo en 3 pozos, de los cuales el 50% correspondió a limos y el otro 50% a arcillas. El análisis visual permitió identificar al material del

pozo 1 como el más plástico, mientras que el del pozo 3 fue el menos plástico. Todas las muestras presentaron una consistencia sólida. La humedad máxima registrada fue 29.6% en el pozo 1 a 0.5m de profundidad y la mínima humedad fue 17.5% en el pozo 2 a 0.8m de profundidad. Al igual que las muestras del sector Carmen de Guzho las muestras de Baños se obtuvieron en época de verano por ende las muestras no se hallaban saturadas

El Anexo 13 y Anexo 14 muestran el resumen de los ensayos de propiedades y clasificación en los pozos de exploración.

El límite líquido obtenido con muestras secas al horno y con muestras secas al ambiente tiene una variación entre el 14 y 44% en los pozos 1 y 2 respectivamente; el mayor contenido de materia orgánica es de 11.06% en el pozo 3 y el menor de 3.46% en el pozo 1; estas variaciones se pueden observar en la Figura 37.

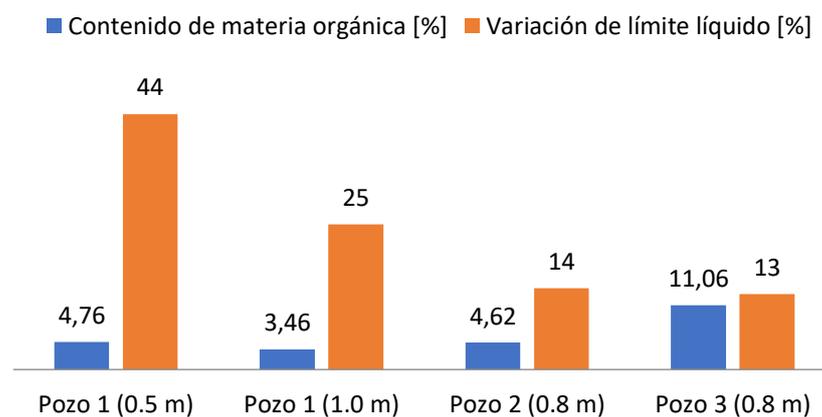


Figura 37: Contenido de materia orgánica y variación del límite líquido
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 38 se presentan los valores del límite líquido obtenidos por muestras de diferente procedencia.

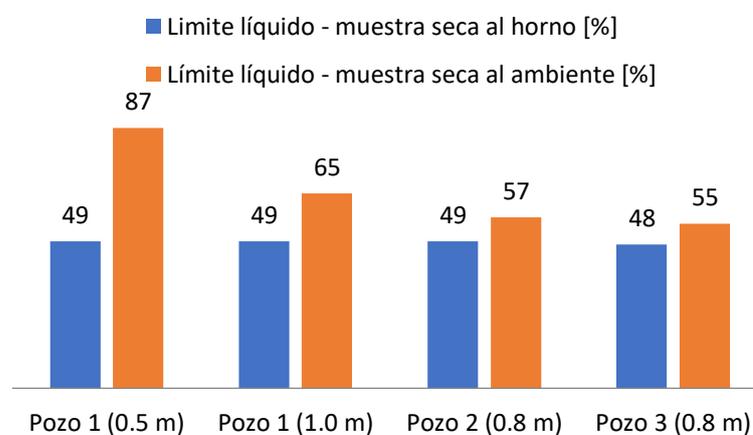


Figura 38: Valores de límite líquido con muestras obtenidas por diferentes procedimientos
Fuente: Elaboración propia

En las siguientes secciones se hará un recuento más detallado de cada parámetro geotécnico en estudio.

4.6. Análisis cualitativo de la información de ensayos de elaboración propia

4.6.1. Sector Carmen de Guzho

4.6.1.1. Densidad seca vs humedad

Se relacionaron 46 datos de densidad seca γ_d y humedad ω para el sector de Guzho los cuales se muestran en la Figura 39. La gráfica muestra una disminución de la densidad seca conforme aumenta la humedad lo que indica que el suelo pasó su humedad óptima y se encuentra en zona de saturación. En secciones anteriores se mostró que la zona de estudio tiene un valor medio de saturación de 85%, lo que corrobora con la información mostrada en esta sección. A causa de la saturación los vacíos se llenan de agua lo que causa una disminución en la resistencia del suelo, el agua puede causar el desplazamiento de los materiales y ocasionar inestabilidad.

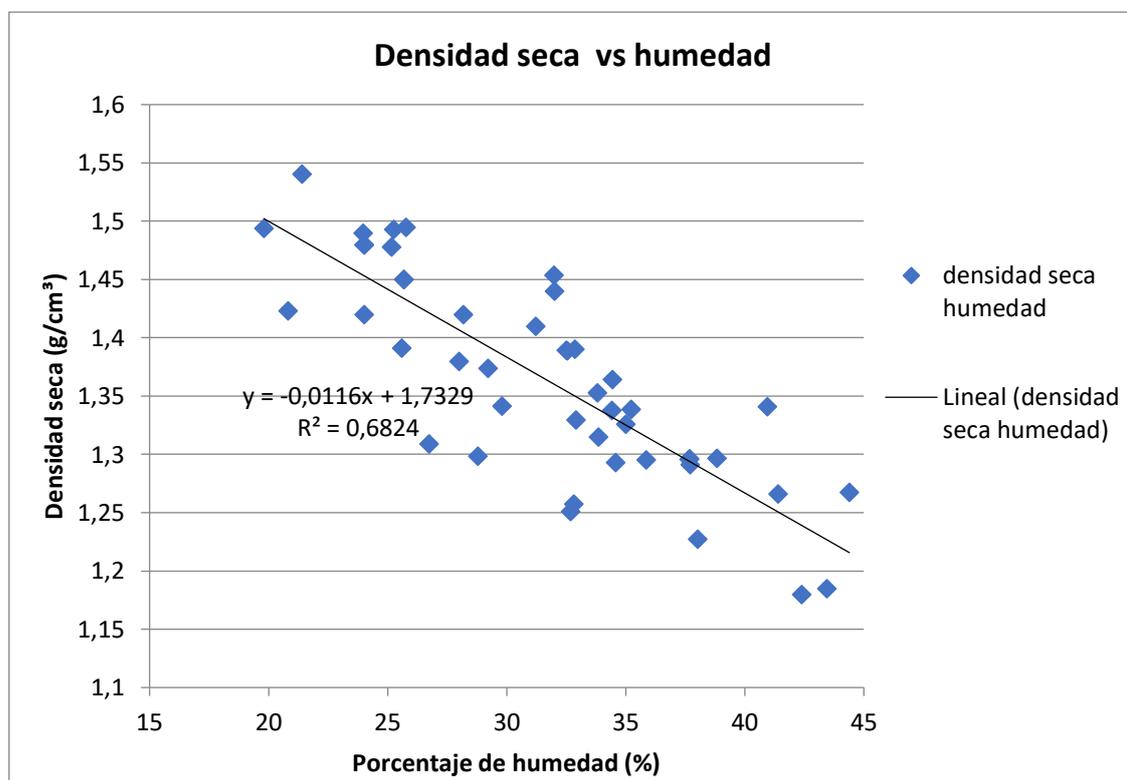


Figura 39: Relación de la densidad seca y el contenido de humedad - Guzho

Fuente: Elaboración propia

4.6.1.2. Clasificación cualitativa para expansión, potencial expansivo y consistencia.

Otro criterio aplicable a resultados de límites de Atterberg en los ensayos realizados, se manifestaron en la Tabla 10 y Tabla 11, para el cual se puede obtener una clasificación

cuantitativa respecto a los grados de potencial expansivo y de expansión del suelo, calculados de acuerdo al índice de plasticidad y límite líquido del suelo respectivamente.

En la Tabla 28, se observan para cada pozo cualitativamente su potencial y grado de expansión. Existe correlación entre estos parámetros y en su mayoría corresponden a un potencial expansivo que varía de medio a alto, al igual que su grado de expansión, permitiendo que este análisis sea lógico y válido. Estos resultados pueden ser muy influyentes para la inestabilidad generada en la zona, pues, la infraestructura se encuentra sometida a asentamientos diferenciales, que puede ser representativos para su colapso, si no se toman medidas correctivas a este problema.

Tabla 28: Clasificación cualitativa del potencial y grado de expansividad del suelo – Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Densidad seca	Tipo de suelo según IP	Potencial expansivo	Grado de expansión del suelo	Consistencia según la densidad seca
	m	g/cm ³				
1	1	1,678	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Consistencia media
	1,8	1,628	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Consistencia media
2	1	1,509	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Blando
	1,3	1,445	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Blando
3	1,8	1,235	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Muy blandos
	1,9	1,271	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Muy blandos
4	1	1,77	Altamente plásticos	Medio	Baja a media	Consistencia media
	1,8	1,611	Medianamente plásticos	Bajo a Nulo	Baja a media	Consistencia media
5	1	1,35	Altamente plásticos	Alto	Muy alta	Muy blandos
	1,4	1,466	Altamente plásticos	Medio	Baja a media	Blando
6	0,9-1	1,5	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Blando
	1	1,615	Altamente plásticos	Medio	Baja a media	Consistencia media
	2	1,518	Altamente plásticos	Medio	Media a alta	Blando
7	0,5	1,79	Medianamente plásticos	Bajo a nulo	Baja a media	Consistencia media

4.6.1.3. Clasificación cualitativa de acuerdo a propiedades físicas

En la Figura 40 se puede observar gráficamente la distribución de la consistencia respecto al pozo estudiado y su profundidad, de acuerdo a ello se sabe que la consistencia sólida es la predominante en las muestras, seguida por la consistencia plástica.

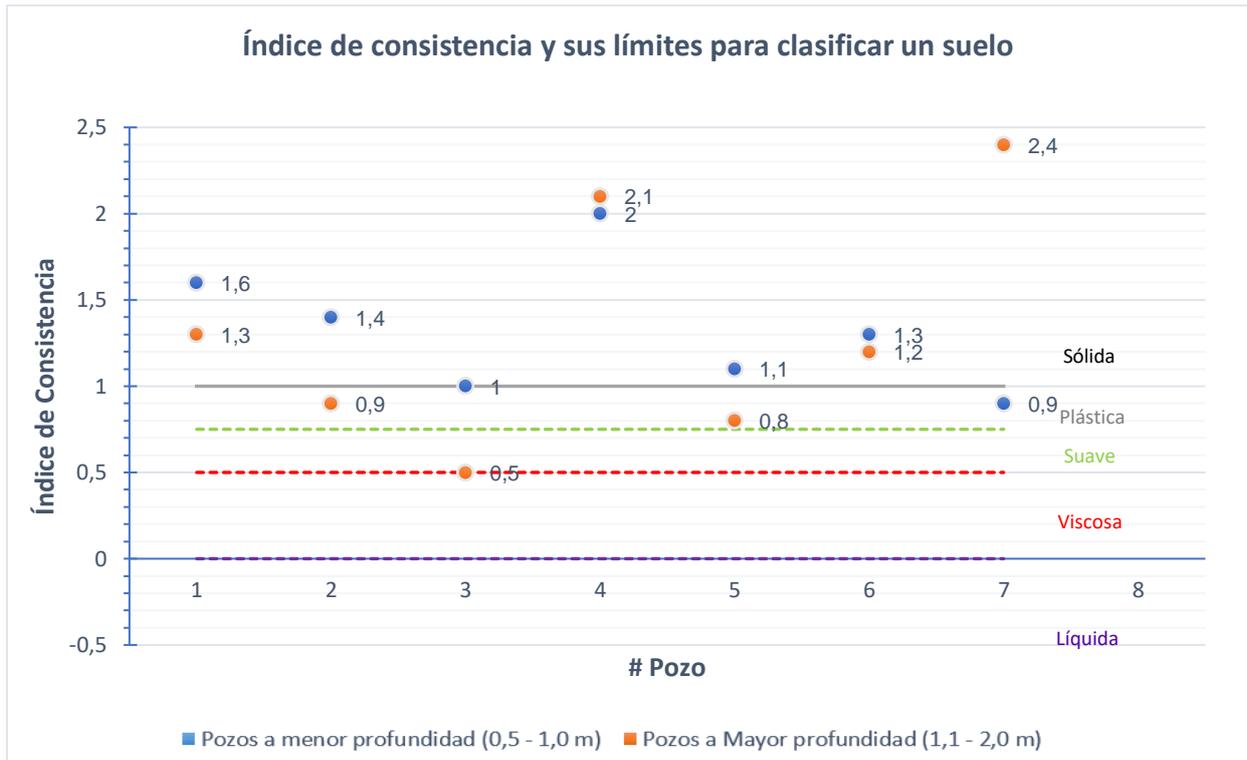


Figura 40: Consistencia del suelo – Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Sector Colegio Borja

4.6.2.1. Densidad seca vs humedad

Se relacionaron 27 datos de densidad seca γ_d y humedad ω para el sector de Baños los cuales se muestran en la Figura 41. Se observa una disminución de la densidad seca conforme aumenta la humedad lo que indica que el suelo pasó su humedad óptima y se encuentra en zona de saturación. Anteriormente se mencionó que el valor de saturación media en la zona de estudio es de 74%. Este valor es menor que el presentado en el sector de Guzho, sin embargo, se tiene la misma característica de ocasionar inestabilidad.

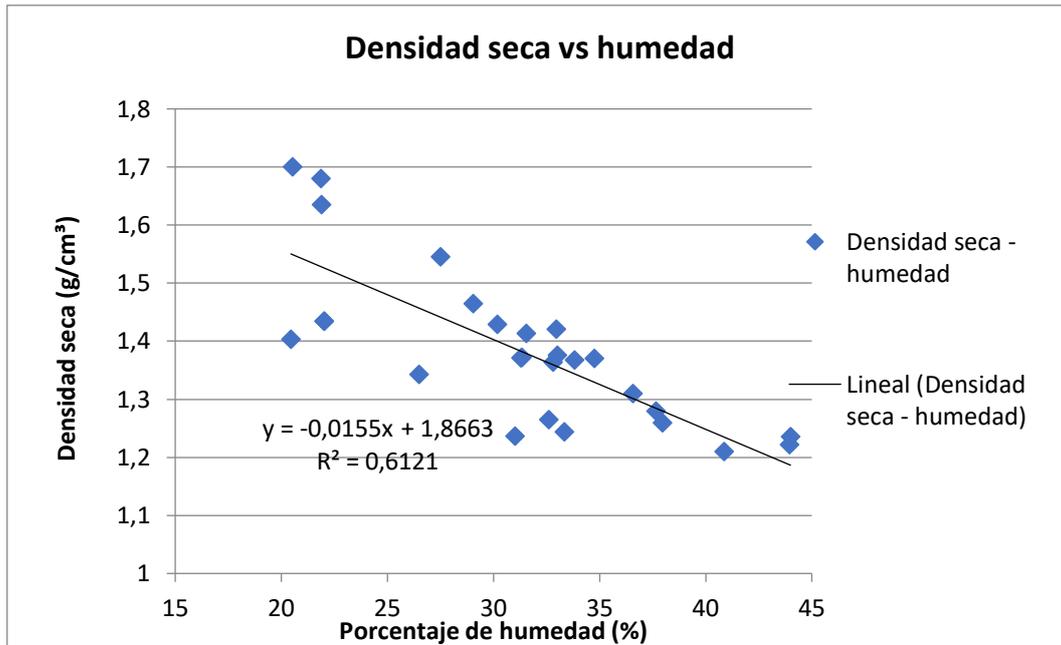


Figura 41: Relación de la densidad seca y el contenido de humedad - Baños

Fuente: Elaboración propia

4.6.2.2. Clasificación cualitativa para expansión y potencial expansivo

De la misma manera, que en Guzho se aplicó los de límites de Atterberg en la Tabla 10 y Tabla 11, para obtener una clasificación cualitativa respecto a los grados de potencial expansivo y de expansión del suelo, se obtiene su clasificación mostrada en la siguiente tabla. Se observan para cada pozo cualitativamente su potencial, donde para todos los casos es alto por lo que se debería tener un especial cuidado, pues, hablar de potenciales expansivos altos se asocia a asentamientos diferenciales considerables para la estabilidad de una estructura. Sin embargo, con respecto al análisis por grado de expansión, esta se encuentra en su mayoría baja, por lo que es recomendable realizar ensayos de expansión que permitan tener el verdadero comportamiento de la expansión para este suelo.

Tabla 29: Clasificación cualitativa del potencial y grado de expansividad del suelo – Baños
Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Densidad seca	Tipo de suelo según IP	Potencial expansivo	Grado de expansión del suelo	Consistencia según la densidad seca
	m	g/cm ³				
1	0,5	1,819	Altamente plásticos	Alto	Baja a media	Muy duros
	1	1,689	Altamente plásticos	Alto	Baja	Media
2	0,8	1,843	Altamente plásticos	Alto	Baja	Muy duros
3	0,8	1,370	Altamente plásticos	Alto	Baja	Muy blandos

4.6.2.3. Clasificación cualitativa de acuerdo a propiedades físicas

En la Figura 42 se puede observar gráficamente la distribución de la consistencia respecto al pozo estudiado y su profundidad, de acuerdo a ello se sabe que la consistencia viscosa es la predominante en las muestras, y que únicamente para el pozo 3 se tiene una consistencia suave.

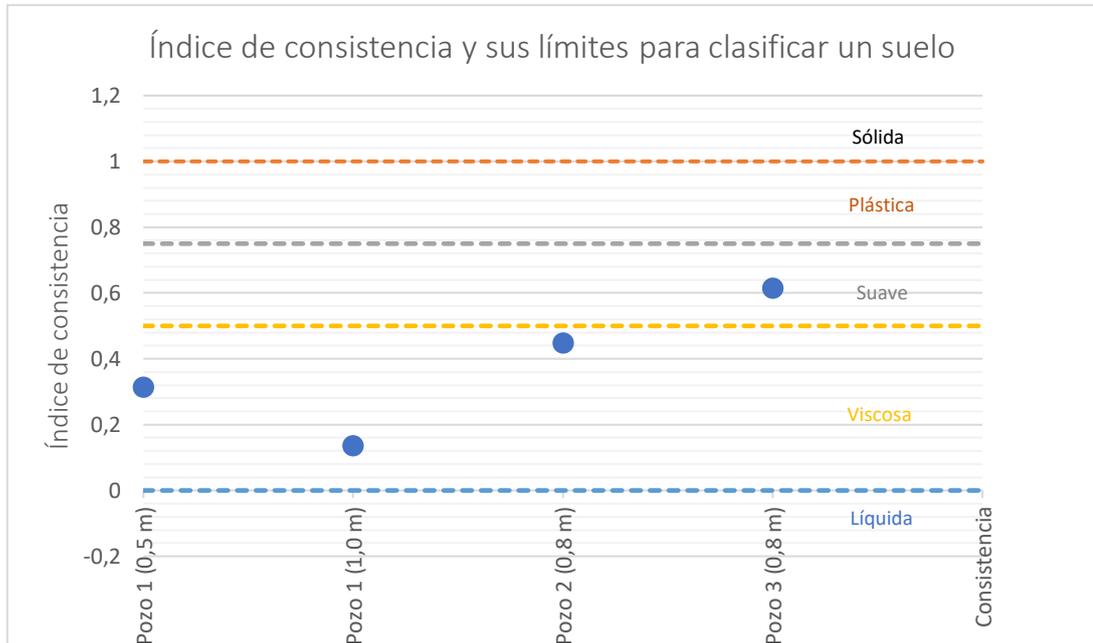


Figura 42: Consistencia del suelo, según el índice de consistencia
Fuente: Elaboración propia

4.7. Comparación espacial y análisis

4.7.1. Sector Carmen de Guzho

POTENCIA DEL ESTRATO Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

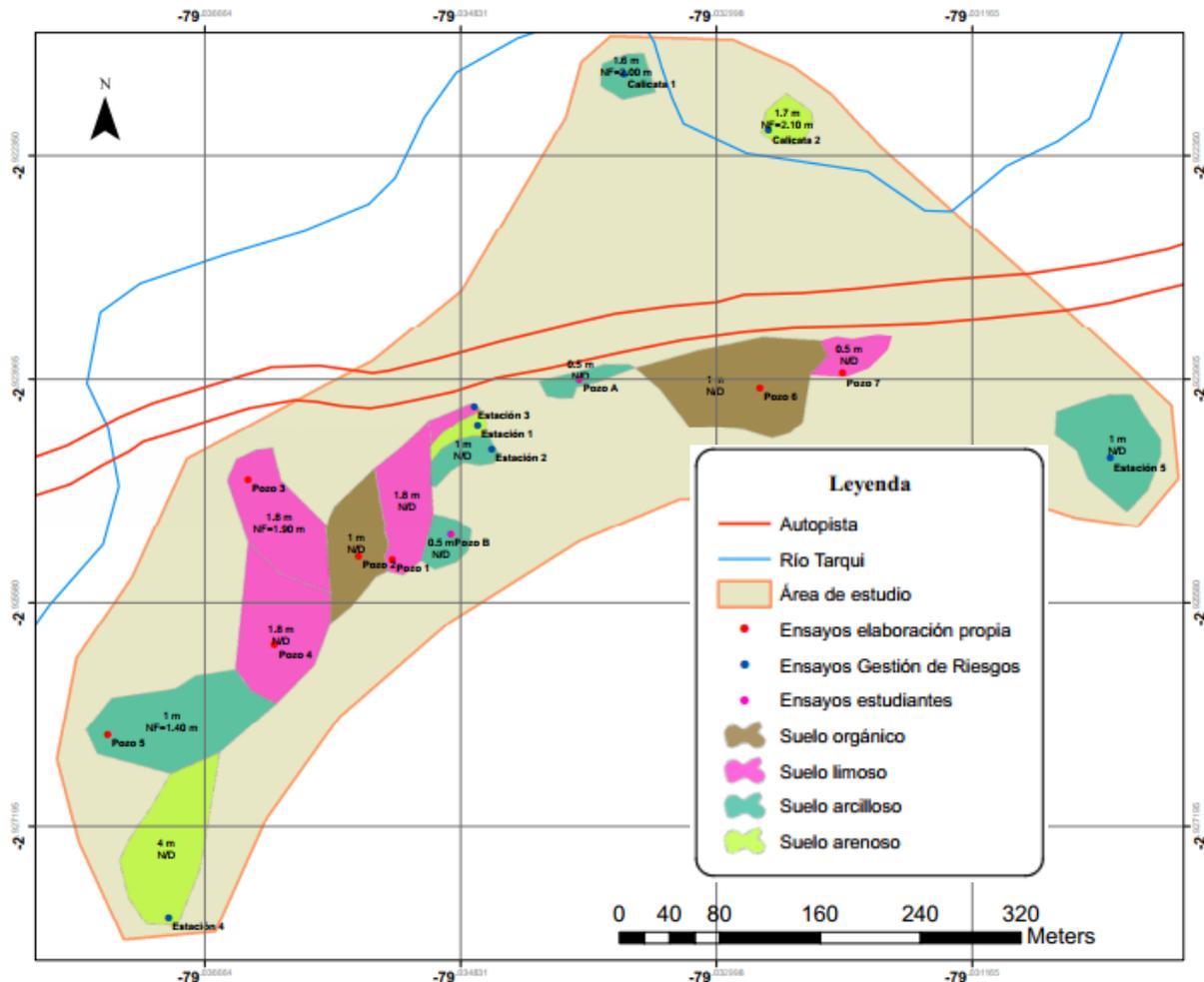


Figura 43: Distribución espacial de la clasificación del suelo - Guzho
Fuente: Elaboración propia

La Figura 43 muestra un mapa con las clasificaciones de suelo de la zona de estudio. El material negro en las zonas seleccionadas para datos propios tiene una potencia máxima de 1.80 m y mínima de 0.50 m.

Existen suelos granulares cerca de las riberas de los ríos, arena arcillosa *SC* al norte con una potencia de 2.10 m y arena limosa en la parte sur *SM* con una potencia de 4 m. El mismo material se presenta cerca del lugar de deslizamiento, lo que puede ser como causa de la mezcla de material producido por el fenómeno.

La zona con historial de deslizamiento se clasifica como limo de alta plasticidad *MH* y como arcilla de alta plasticidad *CH*, el mismo suelo se encuentra también en el sector sureste del mapa cercano a los Pozos 1 y A.

Suelos con contenido orgánico *OH* se encuentran en el suelo de la zona de estudio a una potencia de 1 m. Las arcillas de alta plasticidad *CL* se encuentran en lugares aislados del mapa y su potencia varía entre 0.50 m y 2.00 m.

En campo se identificaron zonas de posibles contactos entre materiales como es el caso de los Pozos 6 y 7 y Pozos 4 y 5, en donde la diferencia visual y de tacto fue notoria. El sector este del mapa tiene pozos a distancias más largas que el resto del mapa por lo que es difícil apreciar los cambios estratigráficos como ocurre en la parte sur.

DENSIDAD SECA DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

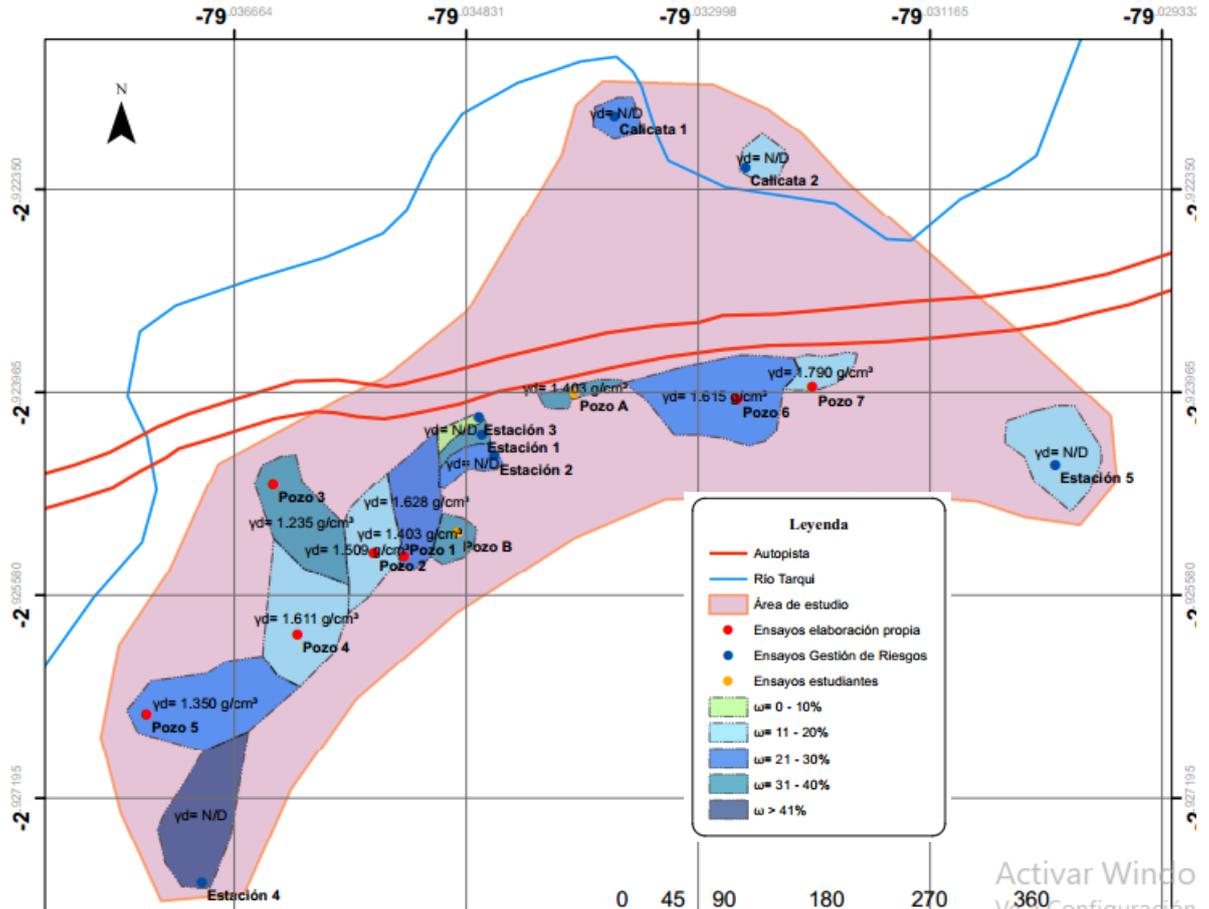


Figura 44: Distribución espacial de la densidad seca - Guzho
Fuente: Elaboración propia

La Figura 44 presenta la variación espacial de la densidad seca y la humedad en el área de estudio. Los menores valores de densidad seca se presentan en los lugares donde la humedad está entre el 31 y 41%, estas densidades están en el rango de 1.235 a 1.403 g/cm^3 . Los sectores donde la humedad está entre el 11 y 30% tienen valores de densidad correspondientes a un rango de 1.509 a 1.790 g/cm^3 . La mayor parte de la zona de estudio se distribuye entre las dos características de densidad a las que se ha hecho referencia. Sin embargo, no se cuenta con datos de densidad seca para humedades mayores a 41% ni menores a 10%.

HUMEDAD Y NIVEL FREÁTICO DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

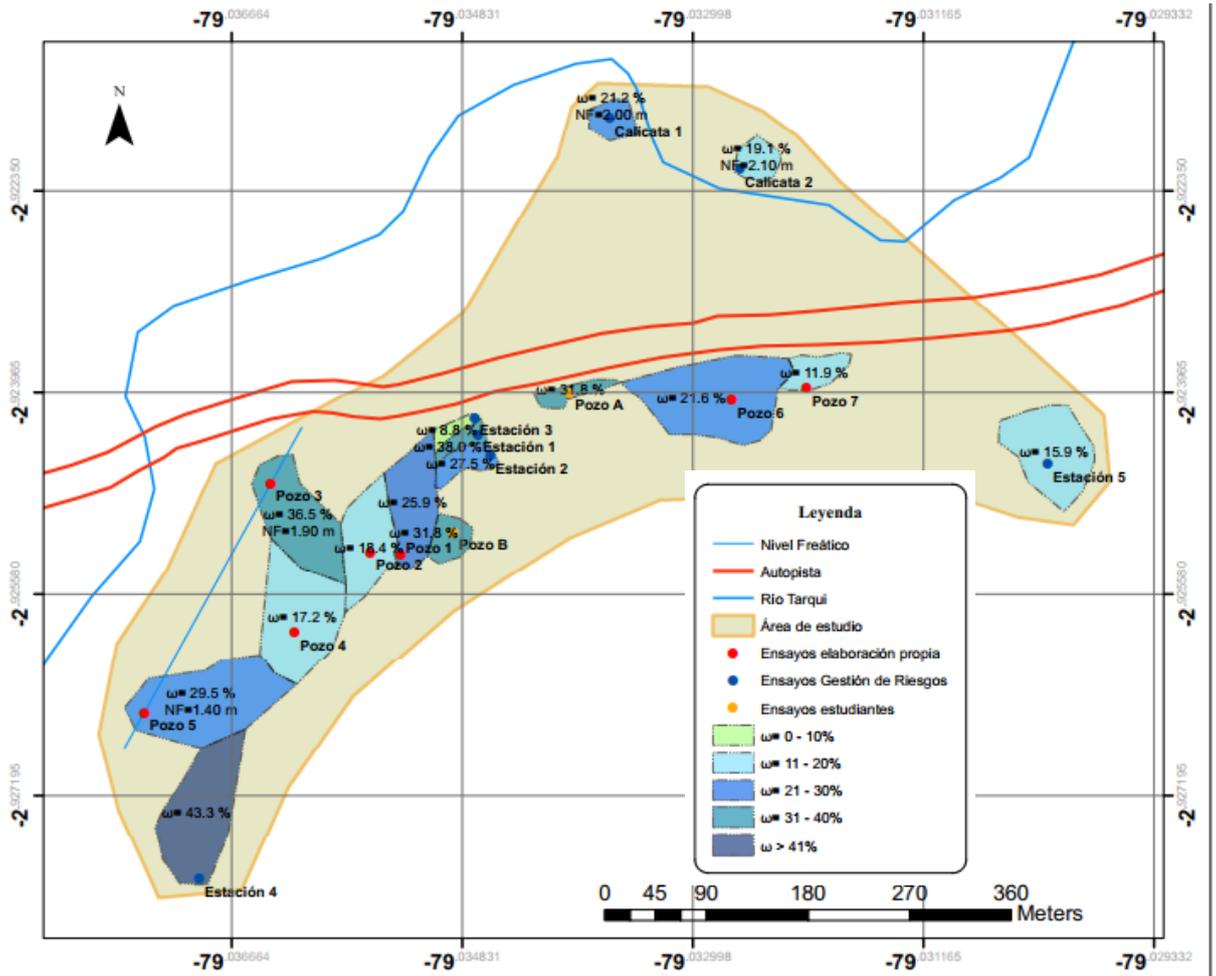


Figura 45: Distribución espacial de la humedad y nivel freático - Guzho
Fuente: Elaboración propia

El mapa de la Figura 45 presenta las variaciones de humedad y nivel freático en los diferentes lugares de estudio. La zona con mayor humedad se encuentra al sur del área de estudio (43.3%), mientras que la de menor humedad se encuentra en la zona central (8.8%). La mayor parte de la zona de estudio presenta una humedad entre el 11 y 30% concentrada en la parte central de los lugares de información propia.

LÍMITES DE ATTERBERG Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

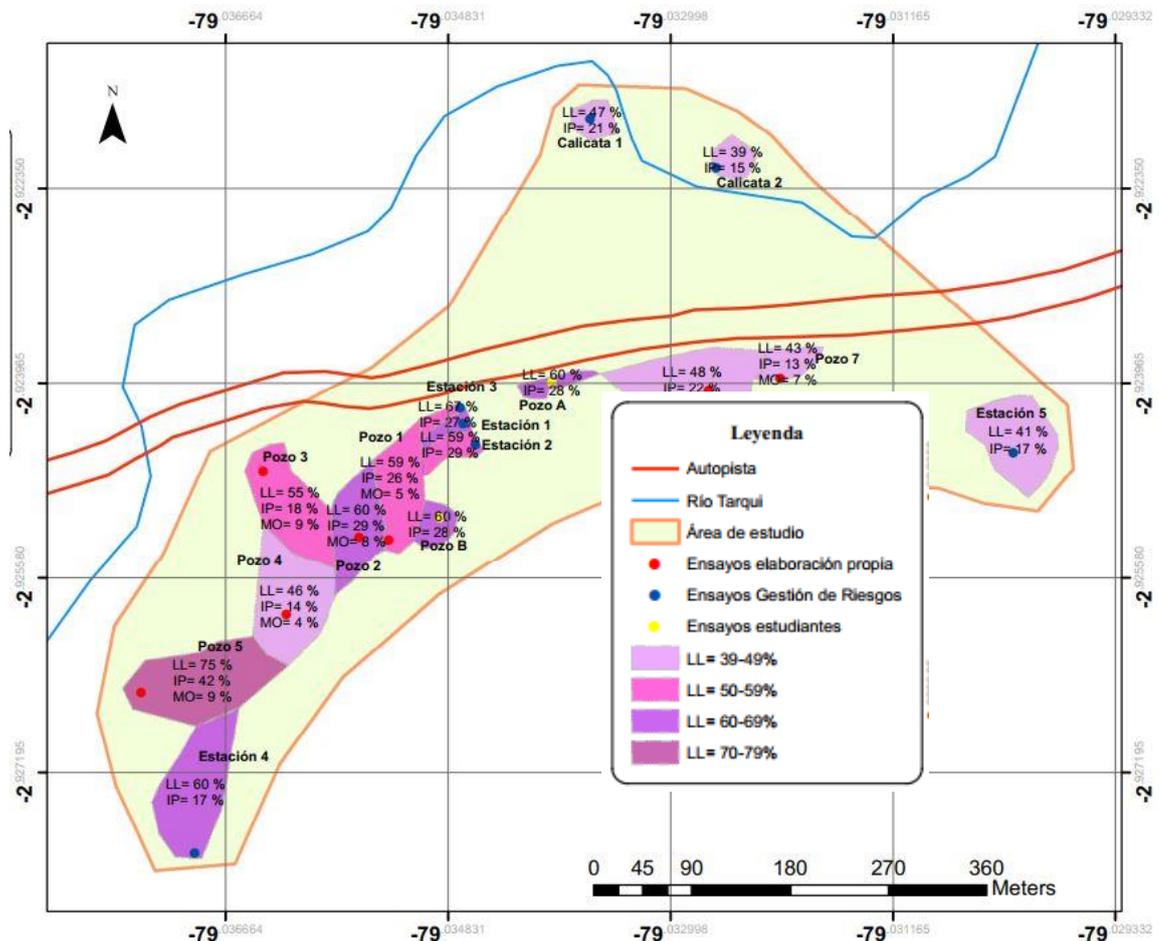


Figura 46: Distribución espacial de Límite Líquido e índice plástico - Guzho
Fuente: Elaboración propia

La distribución de límite líquido mostrada en la Figura 46, tiene una variación de entre el 39 – 79%, si bien esta variación es amplia se puede observar que la misma trata de tener un comportamiento similar para toda la zona noreste del área de la influencia, para el cual se puede asociar cualitativamente un mismo comportamiento expansivo y de su potencial. En cuanto a la zona suroeste, como se observa es donde más variación de datos hay, pero la misma se podría justificar por la variación del tema de clasificación del suelo, y su contenido de materia orgánica, que anteriormente ya se había descrito su estrecha relación e influencia en el límite líquido.

4.7.2. Sector Colegio Borja – Baños

Como se observa en la siguiente figura, la distribución espacial del tipo de suelo en Baños no es muy variable de acuerdo a los pozos de información observados. Sin embargo, si se analiza la potencia del mismo suelo se considera que no está completamente definida y es necesario que se realicen más pozos de excavación que permitan completar la información del potencial de este suelo en el sector. De acuerdo

a la clasificación SUCS, se tiene que el un suelo arcilloso de alta plasticidad es el dominante en la zona.

POTENCIA DEL ESTRATO Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)

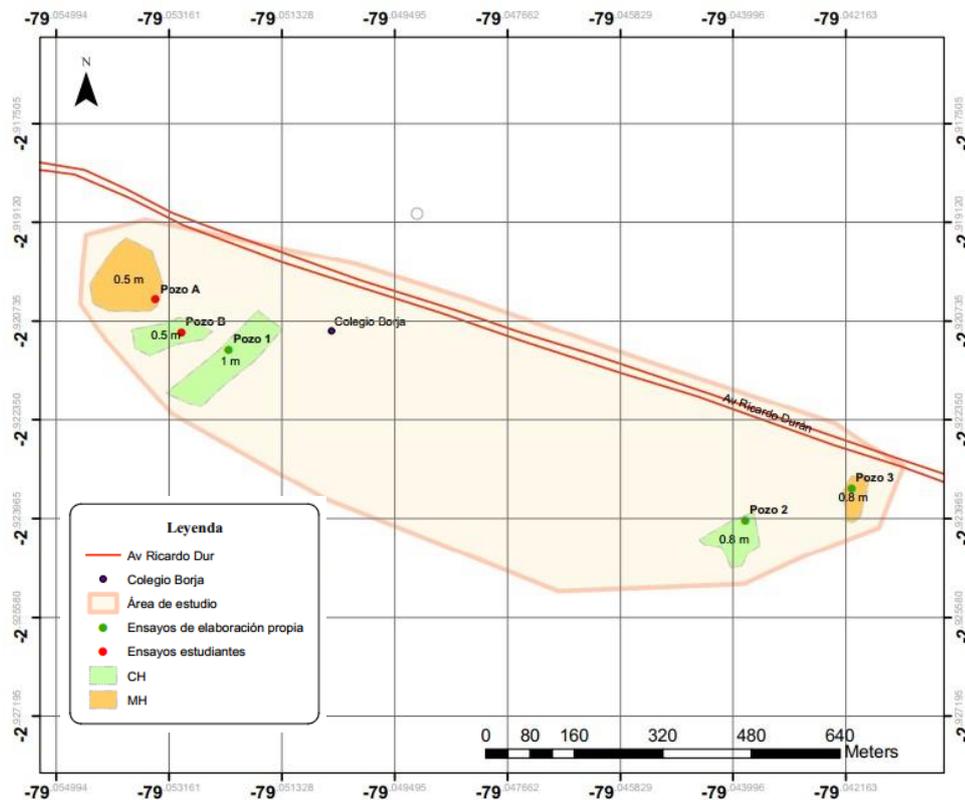


Figura 47: Distribución espacial de la clasificación y potencia del suelo - Baños
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información presentada en la Figura 48:, la variación de densidades no es mayormente significativa espacialmente, pero en la información agrupada de los pozos A, B Y 1, su comportamiento si es similar entre ellos. De igual manera como anteriormente se mencionó si es necesario que se realice más puntos de exploración.

DENSIDAD Y HUMEDAD DEL SUELO SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)

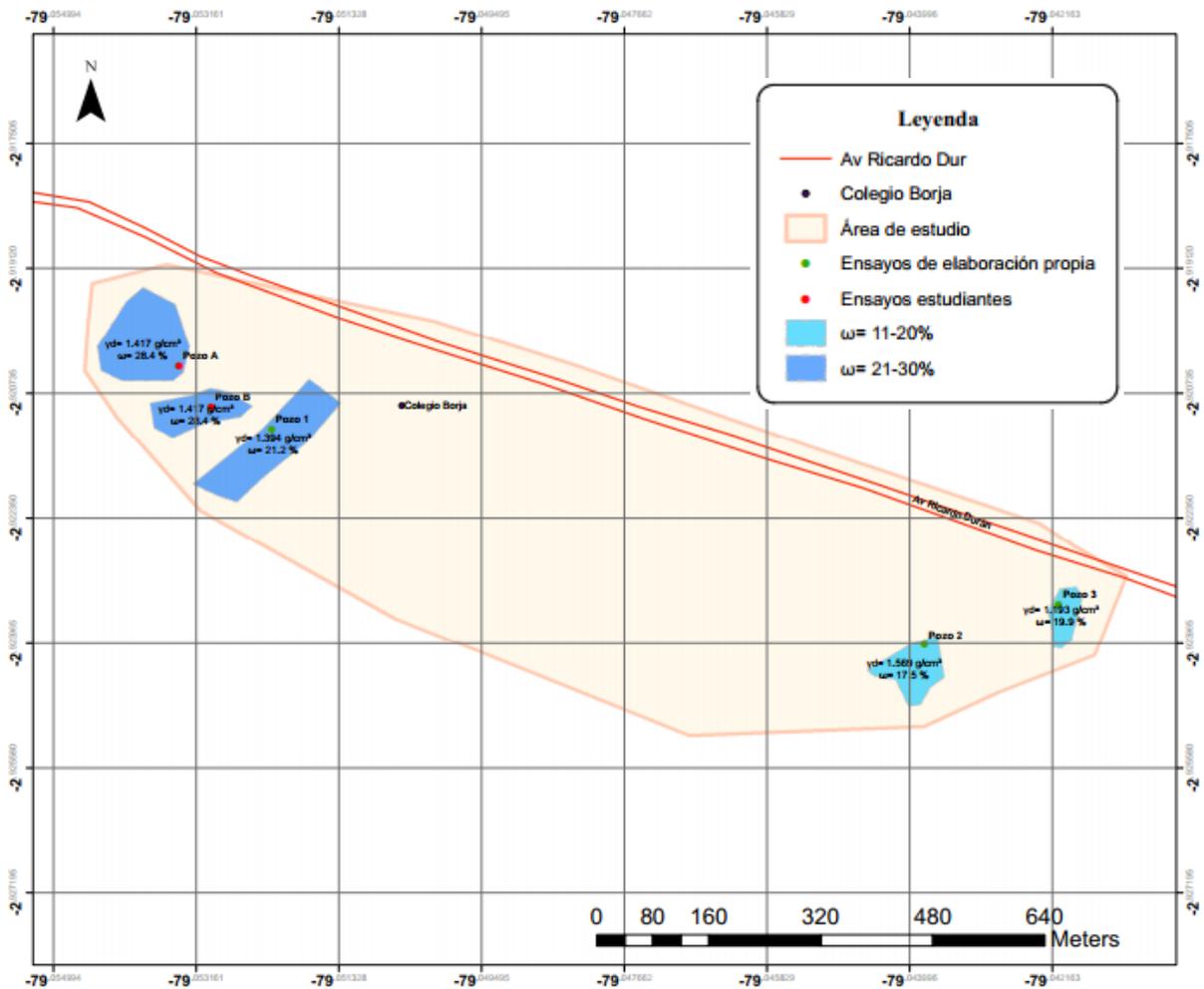


Figura 48: Distribución espacial de la densidad seca - Baños

Fuente: Elaboración propia

**LÍMITES DE ATTERBERG Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO
SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)**

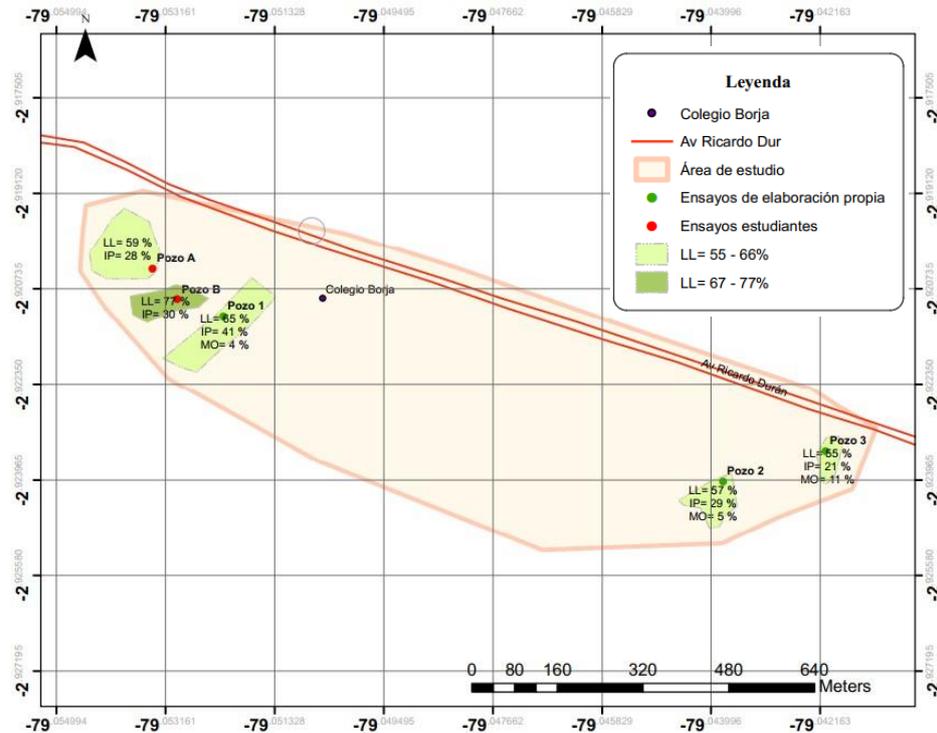


Figura 49: Distribución espacial de límite líquido e índice plástico - Baños
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Figura 49, se presenta un rango de variación para el límite líquido de entre el 55 – 77%. Mientras más alejado se este de la zona que analiza los pozos A, B y 1, su índice plasticidad disminuye, lo que también en campo se pudo comprobar que la condición de plasticidad disminuía para la zona del pozo 2 y 3. Dentro de la figura contamos con información de contenido de materia orgánica, espacialmente su distribución no tiene un orden. Sin embargo, si es recomendable este análisis para todos los pozos puesto que influye en el valor de límite líquido y como se dijo anteriormente sus valores altos o bajos si se encuentran de cierta manera en una localización espacial determinada.

4.8. Análisis estadístico

Para la clasificación del suelo los parámetros geotécnicos analizados fueron: densidad húmeda (γ), densidad seca (γ_d), límite líquido (LL), límite líquido con contenido de materia orgánica ($LL_{orgánico}$), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP), además de los ensayos de granulometría por cribado y contenido de materia orgánica.

4.8.1. Sector Carmen de Guzho

4.8.1.1. Propiedades físicas

Densidad húmeda

Se contó con un total de 75 datos de densidad húmeda (γ), 47 datos de ensayos previo al estudio y 28 de elaboración propia.

La Tabla 30 muestra los principales estadísticos analizados en ambas muestras. El coeficiente de variación de los ensayos previos al estudio se encuentra en el rango inferior del rango que se reportó en la Tabla 12, mientras que el de los ensayos de elaboración propia está cerca de la media.

Tabla 30: Análisis estadístico de la densidad húmeda
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previo al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [g/cm ³]	1.791	1.900
CV (%)	3.8	8.0
Nivel de confianza (%)	96.4	88.9
Intervalo de confianza 95% [g/cm ³]	1.772 – 1.811	1.844 – 1.957

La Figura 50 presenta los datos obtenidos de ensayos previos en donde su media es de 1.791 g/cm³. A estos datos corresponde un nivel de confianza de 96.4% y su intervalo de confianza 95% es de 1.772 a 1.811 g/cm³.

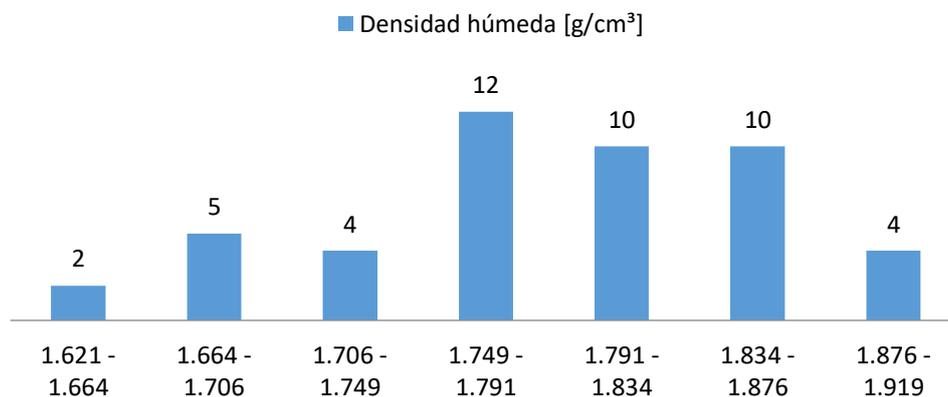


Figura 50: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos previo al estudio
Fuente: Elaboración propia

De la misma manera la Figura 51 muestra los datos obtenidos por ensayos de elaboración propia, donde la media es de 1.791 g/cm³. Los datos tienen un nivel de confianza de 88.9%, es decir 6.1% menos confiabilidad que los datos de ensayos previos; por otra parte, su intervalo de confianza 95% es de 1.844 a 1.957 g/cm³.

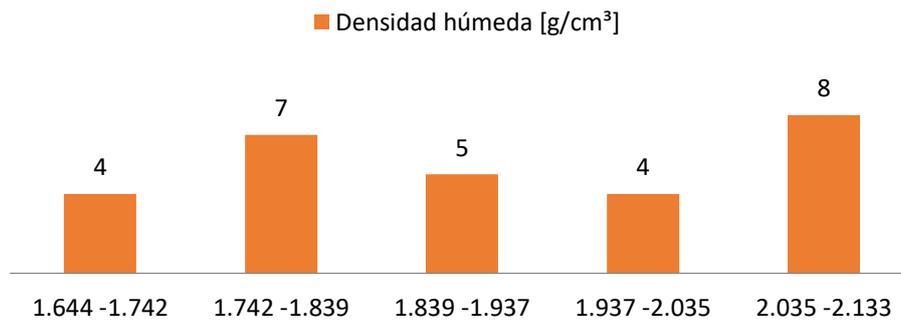


Figura 51: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico reflejó que existe diferencia entre las medias de ambas muestras. El rango de la densidad húmeda (γ) en el sector de Carmen de Guzho es de 1.772 a 1.957 g/cm³, debido a que ambas muestras tienen un coeficiente de variación dentro del rango admisibles y los registros de este parámetro en estudios previos incluyen el límite superior.

Densidad seca

Se analizaron 75 datos de densidad seca (γ_d), 47 datos correspondientes a información previa al estudio y 28 de elaboración propia.

Los estadísticos analizados para ambas muestras se presentan en la Tabla 31. El coeficiente de variación para los datos previo al estudio es de 6.7% y para los datos de elaboración propia es de 12.15%; acorde a la Tabla 12 ambos coeficientes están dentro del rango de variación, el primero está próximo a la media mientras que el segundo está cerca del límite superior del rango.

Tabla 31: Parámetros estadísticos de la densidad seca
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previo al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [g/cm ³]	1.370	1.528
CV (%)	6.7	12.15
Nivel de confianza (%)	97.6	91.9
Intervalo de confianza 95% [g/cm ³]	1.344 – 1.396	1.459 – 1.597

La Figura 52 ilustra los datos de densidad seca obtenidos de ensayos previos, su media es de 1.370 g/cm³ con un nivel de confianza de 97.6% y un intervalo de confianza 95% de 1.344 a 1.396 g/cm³.

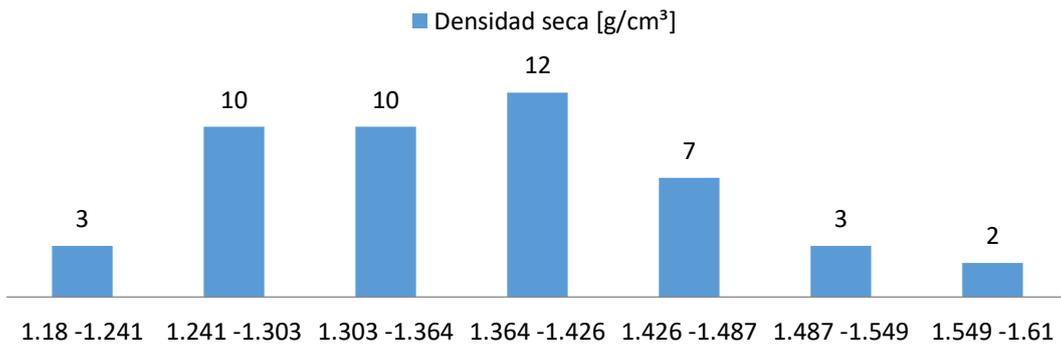


Figura 52: Datos de densidad seca, correspondiente a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los datos de los ensayos de elaboración propia se muestran en la Figura 53. La media es de 1.528 g/cm^3 , el nivel de confiabilidad es de 91.9% y su intervalo de confianza 95% es de 1.459 a 1.597 g/cm^3 .

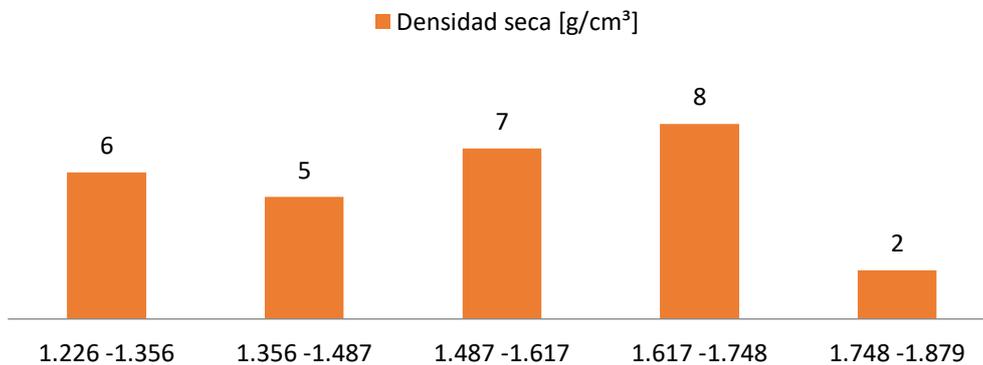


Figura 53: Datos de densidad seca, correspondiente a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Posterior al análisis estadístico se determinó que hay diferencia entre las medias de ambas muestras. El rango en el que se encuentra la densidad seca (γ_d) es 1.344 a 1.597 g/cm^3 , debido a que el coeficiente de variación de las muestras está dentro del rango de variación. Los valores de densidad seca corresponden a un suelo blando y a suelo muy blando según la Tabla 6.

Límite líquido

Se analizaron 22 datos de ensayos previos al estudio y 14 de ensayos de elaboración propia obteniendo un total de 36 datos de límite líquido (LL).

La Tabla 32 presenta los estadísticos analizados. El coeficiente de variación de la muestra correspondiente a información previa es de 22.6% que se encuentra dentro del rango de variación de suelos finos pero no de arcillas, mientras que para los datos de ensayos de elaboración propia el coeficiente de variación es de 14.1% que está dentro del rango de variación de suelo fino y de arcillas también según la Tabla 12.

Tabla 32: Parámetros estadísticos del límite plástico
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previo al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	51	45
<i>CV</i> (%)	22.6	14.1
Nivel de confianza (%)	90.0	94.9
Intervalo de confianza 95% [%]	46 – 55	42 – 48

La Figura 54 expone los datos de límite líquido de datos previos al estudio. La media de la muestra es 51%, su nivel de confianza es de 90.0% y su intervalo de confianza 95% están entre 46 y 55%.

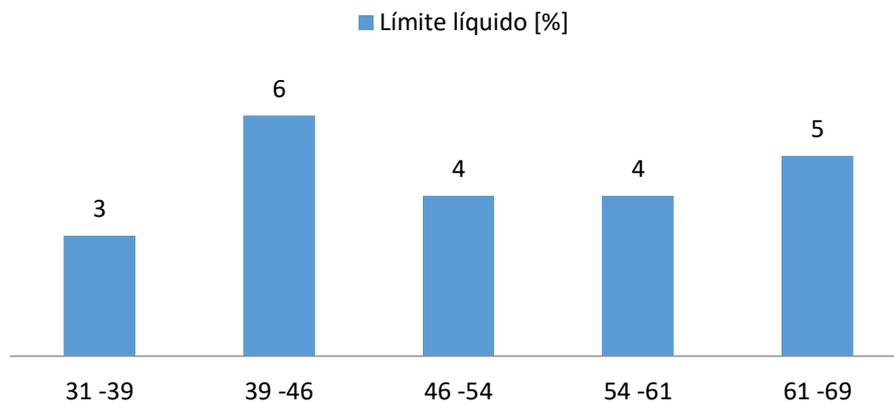


Figura 54: Datos de límite líquido correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los datos de los ensayos de elaboración propia se observan en la Figura 55, su media es 45%. Los datos tienen un nivel de confianza de 94.9% y su intervalo de confianza 95% está entre el 42 y 48%.

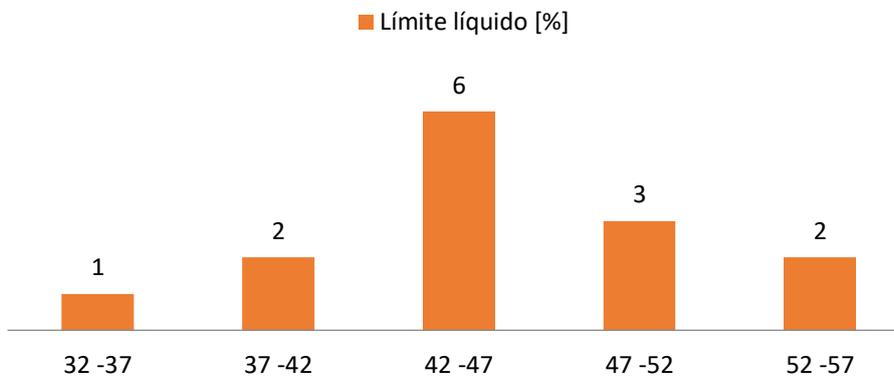


Figura 55: Datos de límite líquido correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Los datos no tienen diferencia significativa entre sus medias. El rango de límite líquido (*LL*) para suelos arcillosos es de 42 a 48% y para suelos finos en general es de 42 a 55%.

4.8.1.2. Límite líquido con contenido de materia orgánica

Se analizaron 14 muestras de datos de elaboración propia y no se contó con datos de ensayos previos al estudio.

En la Tabla 33 se presentan los estadísticos analizados, en donde el coeficiente de variación de 15.7 % se encuentra dentro del rango de variación para arcillas y suelos finos según Tabla 12.

Tabla 33: Parámetros estadísticos del límite líquido con contenido de materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	55
<i>CV</i> (%)	15.7
Nivel de confianza (%)	90.5
Intervalo de confianza 95% [%]	51 – 60

La media de la muestra es 55%, su nivel de confianza es de 90.5% y su intervalo de confianza 95% está entre 51 y 60%. Los datos de estudio se muestran en la Figura 56.

Es importante reconocer la diferencia del valor del límite líquido entre muestras obtenidas con proceso diferentes, es así que al comparar los valores de límite líquido entre muestras secas al horno Figura 55 y muestras secas al ambiente (Figura 56), la diferencia es notable. Su explicación es el contenido de materia orgánica en el mismo. En el primer caso se registraron valores mínimos de 32% y máximas de 57%, mientras que en el segundo existen valores mínimos de 43% y máximas de 75%; lo que indica una variación entre el 30 y 34% de sus valores extremos.

Para el nivel de confianza 95% el intervalo de confianza es de 51 a 60% para suelos finos.

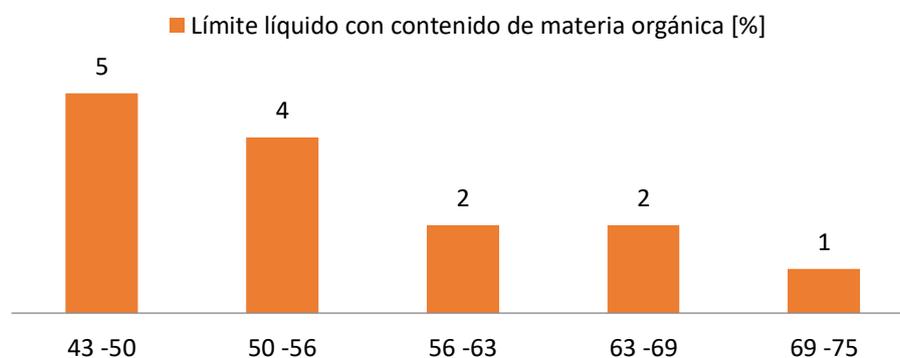


Figura 56: Datos de límite líquido con contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

4.8.1.3. Límite plástico

Se contó con 21 datos de ensayos previos al estudio y 14 datos de ensayos de elaboración propia, dando un total de 35 datos para límite plástico (*LP*) entre ambas muestras.

La Tabla 34 muestra los valores de los estadísticos analizados. Para los datos de ensayos previos al estudio su coeficiente de variación es de 37.3% el cual está fuera del rango proporcionado por la Tabla 12 tanto para suelos finos como para arcillas, siendo superior con un 3.3% en el rango de finos y con 17.3% en el de arcillas.

Por otra parte, los datos de ensayos de elaboración propia se encuentran dentro de ambos rangos.

Tabla 34: Parámetros estadísticos del límite plástico
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previo al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	29	31
<i>CV</i> (%)	37.3	11.0
Nivel de confianza (%)	90.5	94.9
Intervalo de confianza 95% [%]	25 – 34	29 – 32

En la Figura 57 se presentan los datos correspondientes a ensayos previos al estudio en donde su media es 29%. La serie tiene un nivel de confianza de 90.5% y su intervalo para un nivel de confianza 95% está entre 25 y 34%.

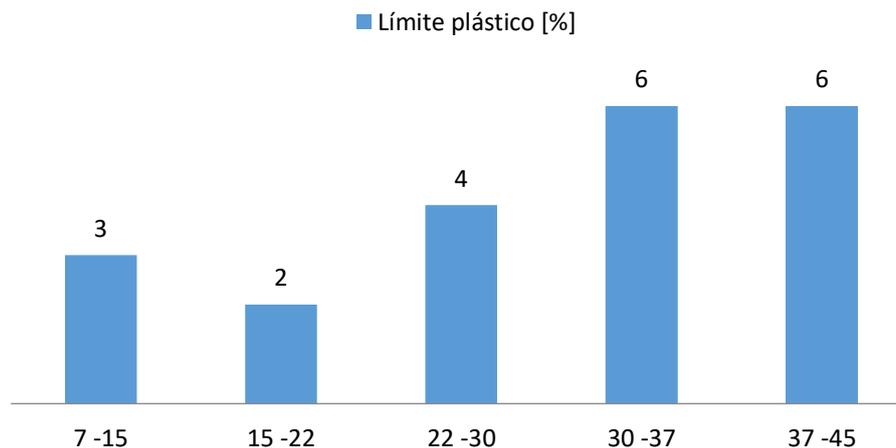


Figura 57: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

La Figura 58 muestra los datos de ensayos de elaboración propia, los cuales tienen una media igual a 31%. Su nivel de confianza es de 94.9% y su intervalo de confianza para el nivel de confianza 95% es de 29 a 32%.

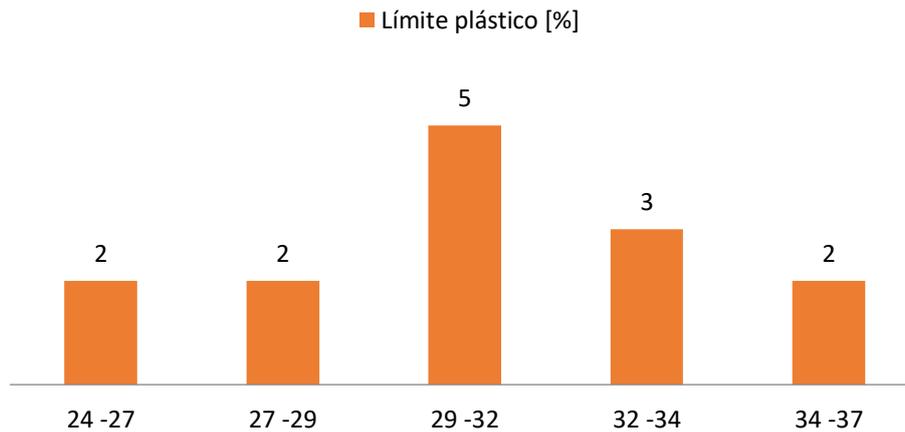


Figura 58: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

A pesar de que la muestra de datos previos al estudio presenta un coeficiente de variación superior al recomendado (Tabla 12), el análisis estadístico demostró que las medias de las muestras no tienen diferencia significativa. Por tal motivo se establece un rango de variación de límite plástico (*LP*) para arcilla de 29 a 32% y para suelo fino de 24 a 34%.

4.8.1.4. Índice de plasticidad

Se analizaron 35 datos de índice de plasticidad (*IP*), comprendidos 21 datos de ensayos previos al estudio y 14 de ensayos de elaboración propia.

La Tabla 35 presenta los estadísticos analizados para cada muestra. La muestra de datos previos al estudio tiene un coeficiente de variación de 30.2% y los datos de ensayos de elaboración propia de 32%, ambas muestras están dentro del rango mostrado en la Tabla 12 cercano a su media de variación.

Tabla 35: Parámetros estadísticos del índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previo al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	21	25
<i>CV</i> (%)	30.2	32.0
Nivel de confianza (%)	87.8	90.2
Intervalo de confianza 95% [%]	20 – 25	20 – 29

La Figura 59 presenta los datos de ensayos previos al estudio, los cuales tienen una media de 21%. La muestra tiene un nivel de confianza de 87.8% y su intervalo de confianza para un nivel de confianza 95% es de 20 a 25%.

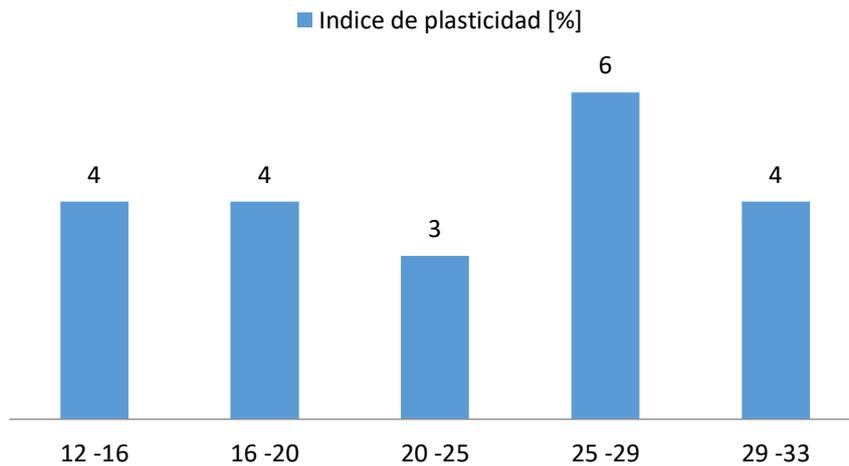


Figura 59: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los datos correspondientes a ensayos de elaboración propia se muestran en la Figura 60. La muestra tiene una media de 25%, nivel de confianza de 90.2% y un intervalo de confianza 95% de 20 a 29%.

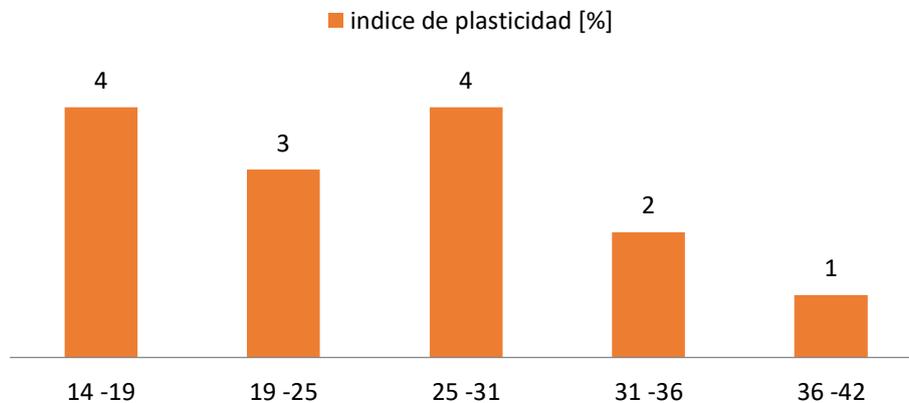


Figura 60: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Según el análisis estadístico las medias de las muestras no tienen diferencia significativa. El rango en el que se encuentra el índice de plasticidad (*IP*) es entre 20 a 29%, el cual corresponde a un suelo altamente plástico según la Tabla 6.

4.8.1.5. Contenido de materia orgánica

Para analizar el contenido de materia orgánica se tomaron 14 muestras de los pozos de exploración. En la Tabla 36 se presentan los estadísticos de la muestra. Su coeficiente de variación es de 32.2%, esta variación se debe a la heterogeneidad del suelo de los pozos de exploración respecto al contenido de materia orgánica.

Tabla 36: Parámetros estadísticos de contenido de materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	6.8
<i>CV</i> (%)	32.2
Nivel de confianza (%)	86.1
Intervalo de confianza 95% [%]	5.7 – 7.9

Los datos del contenido de materia orgánica se muestran en la Figura 61. La muestra tiene una media de 6.8%, su nivel de confianza de es de 86.1% y su intervalo de confianza 95% está comprendido entre 5.7 y 7.9%.

De los 14 datos analizados 3 resultaron correspondientes a suelos orgánicos con un contenido de materia orgánica entre 4.98 y 8.09%. El rango para contenido de materia orgánica del suelo es de 5.7 a 7.9%.

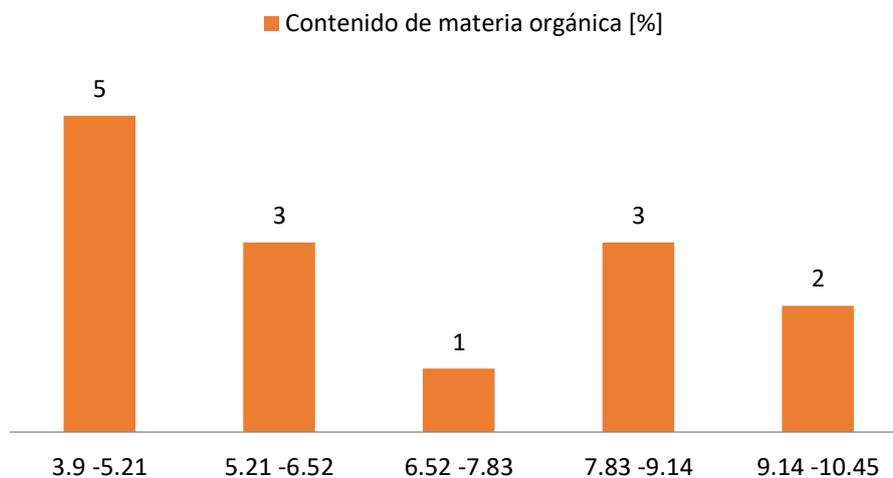


Figura 61: Datos de contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

4.8.1.6. Distribución granulométrica del suelo

Se analizaron 36 datos de granulometría, 22 de datos de ensayos previos al estudio y 14 de ensayos de elaboración propia, en la Tabla 37 y la Tabla 38 se muestran los parámetros estadísticos obtenidos para ambas muestras.

Tabla 37: Parámetros estadísticos de acuerdo a la distribución granulométrica previa al estudio
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previo al estudio				
Parámetros estadísticos	% de suelo que pasa el tamiz			
	#4	#10	#40	#200
\bar{x} [%]	98.3	94.7	83.9	68.8
<i>CV</i> (%)	2.6	4.4	11.3	18.2
Nivel de confianza (%)	74.9	83.9	91.5	91.1

Intervalo de confianza 95% [%]	97.2 – 99.3	93.0 – 96.5	80.0 – 87.9	63.6 – 74.0
--------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

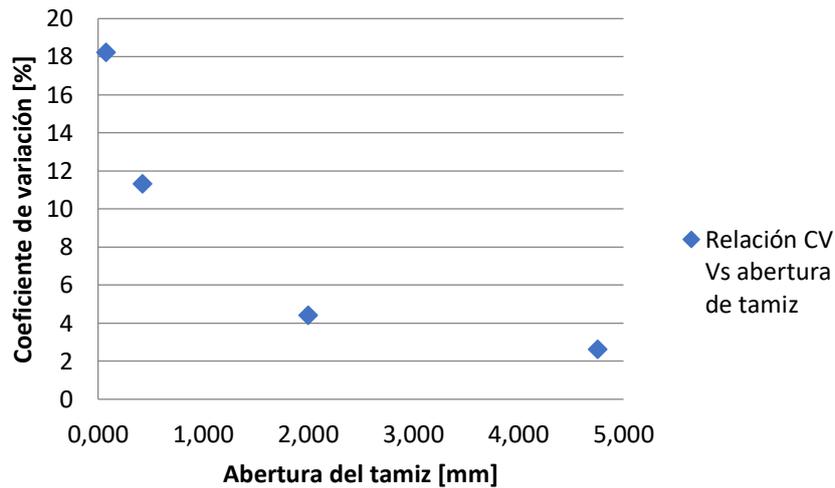


Figura 62: Relación entre la abertura de distintos tamices y el coeficiente de variación
Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de suelo que pasa el tamiz #4 tiene un coeficiente de variación de 2.6% y la mayor parte de datos se encuentran entre 98.2 y 100% según la Figura 63. El análisis tiene una cantidad óptima de datos y si nivel de confiabilidad es de 74.9%. La disminución del nivel de confiabilidad asociado a la concentración de valores alrededor de un solo rango se debe a que el material es un suelo fino del cual casi la totalidad pasa el tamiz #4 que divide suelos granulares de suelos finos. La misma situación se suscita con los otros tamices, pero cada vez disminuye más el porcentaje de suelo que pasa uniformemente entre los tamices y se hace más selectiva la porción más fina del suelo que pasa los tamices de menor abertura como se muestra en la Figura 62.

La media de la muestra es de 98.3% y su intervalo de confianza 95% está entre 97.2 y 99.3%.

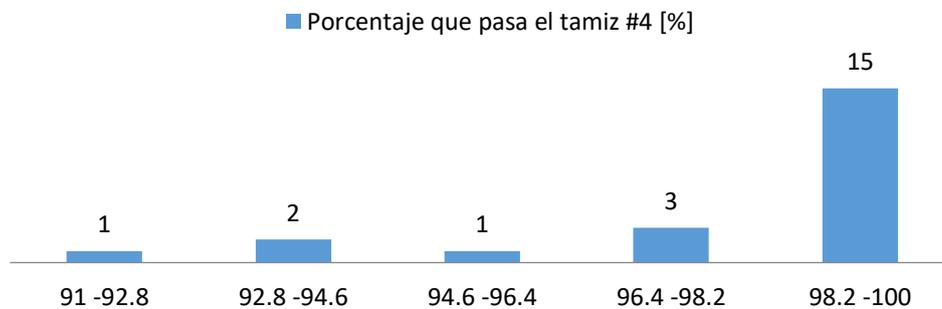


Figura 63: Datos de % tamiz #4 correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

La Figura 64 presenta los datos del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #10. La muestra tiene un coeficiente de variación de 4.4% y su media es 94.7%. El nivel de confianza de la muestra es de 83.9% y su intervalo de confianza 95% está entre 93 y 96.5%.

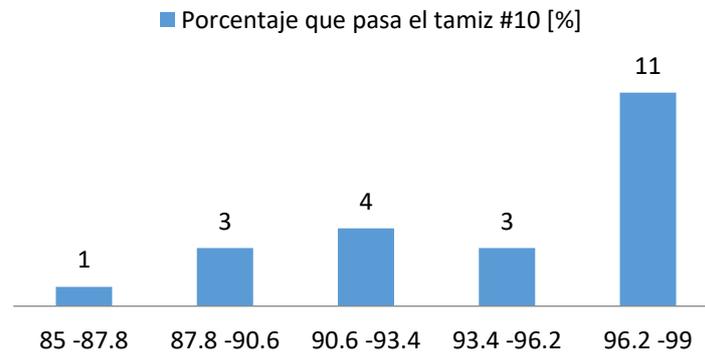


Figura 64: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 65 se observan los datos del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #40. Se tiene una media de 83.9%, nivel de confianza de 91.5% y un intervalo de confianza 95% entre 80 y 87.9%, su coeficiente de variación es de 11.3%.

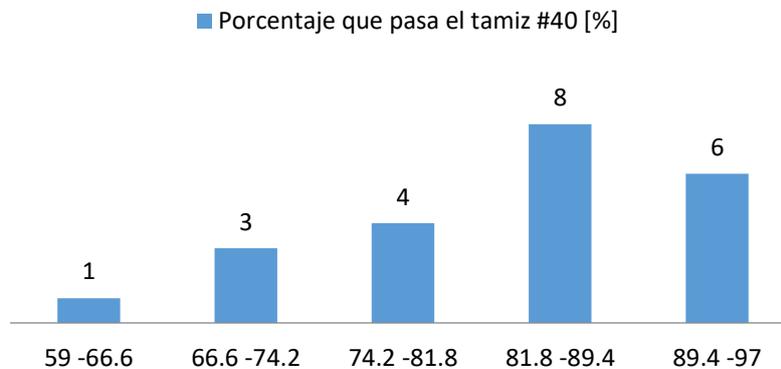


Figura 65: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los datos correspondientes al porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200 se presenta en la Figura 66. La muestra tiene un coeficiente de variación de 18.2%, una media de 68.8%, nivel de confianza de 91.1% y un intervalo de confianza 95% entre 63.6 y 74%.

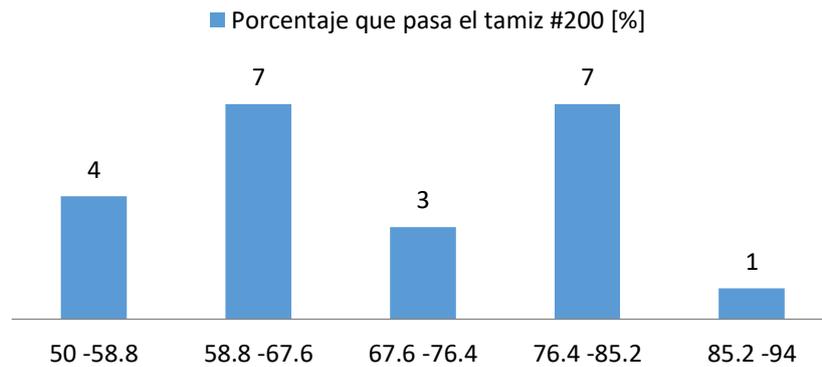


Figura 66: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

La distribución granulométrica de los datos de ensayos previos al estudio está compuesta por los siguientes rangos: grava entre 0.7 y 2.8%, arena entre 25.3 y 33.6% y finos entre 63.6 y 74%.

La misma relación entre el coeficiente de variación y abertura del tamiz propuesta anteriormente para los datos de ensayos previos al estudio se cumple para los datos de ensayos propios como se muestra en la Figura 67.

Tabla 38: Parámetros estadísticos de acuerdo a la distribución granulométrica de ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Ensayos de elaboración propia				
Parámetros estadísticos	% de suelo que pasa el tamiz			
	#4	#10	#40	#200
\bar{x} [%]	100.0	99.7	94.1	78.7
CV (%)	0.1	0.3	3.4	10.0
Nivel de confianza (%)	64.6	84.5	91.0	93.4
Intervalo de confianza 95% [%]	99.9 – 100	99.5 – 99.8	92.4 – 95.8	74.6 – 82.8

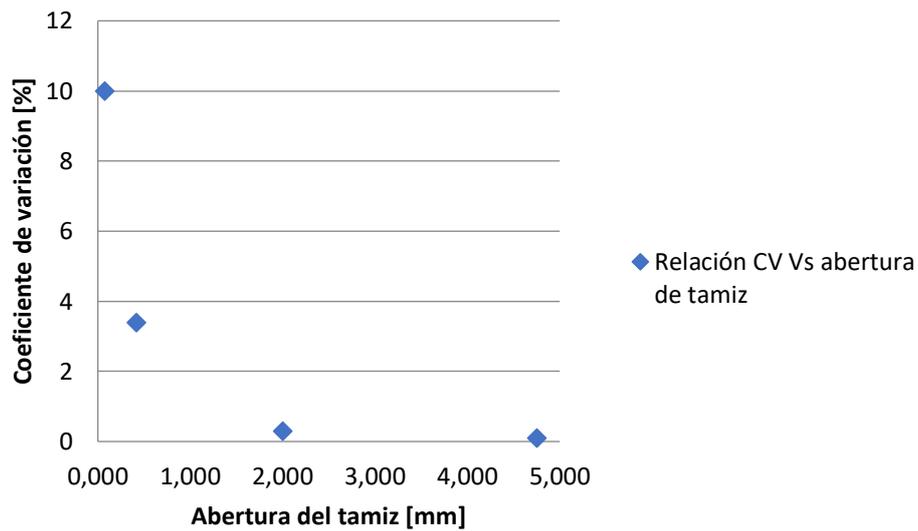


Figura 67 Relación entre la abertura de distintos tamices y el coeficiente de variación
Fuente: Elaboración propia

La muestra de datos de ensayos de elaboración propia de porcentaje de suelos que pasa el tamiz #4 se muestra en la Figura 68. Los parámetros estadísticos analizados son: la media de 100%, el coeficiente de variación de 0.1%, nivel de confianza de 64.6% y un intervalo de confianza 95% entre 99.9 y 100%.

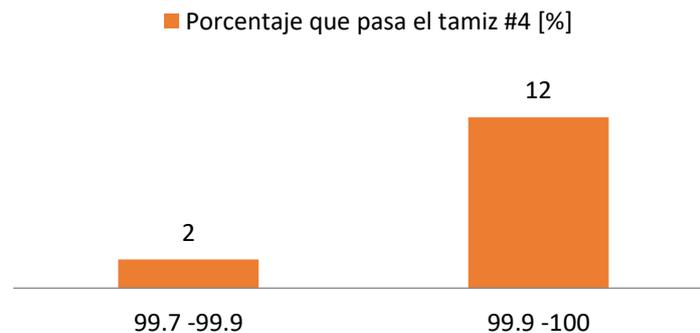


Figura 68: Datos de % tamiz #4 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

La Figura 69 presenta los datos del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #10. La media de la muestra es 99.7%, el coeficiente de variación es 0.3%, su nivel de confianza es 84.5% y su intervalo de confianza 95% va desde 99.5 a 99.8%.

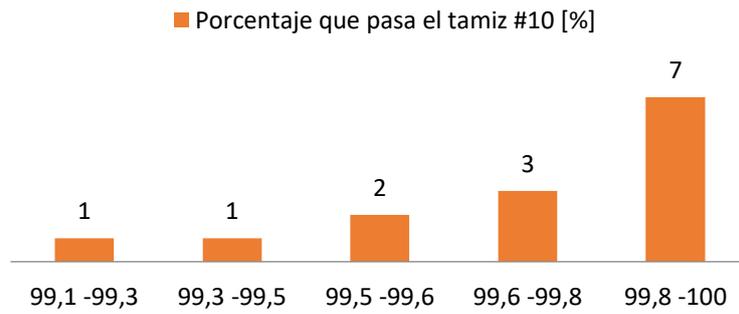


Figura 69: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

La Figura 70 muestra los datos de análisis de suelo que pasa el tamiz #40 donde su media es 94.1%. Sus estadísticos analizados tienen los siguientes valores: coeficiente de variación 3.4%, nivel de confianza de 91% e intervalo de confianza 95% de 74.6 a 82.8%.

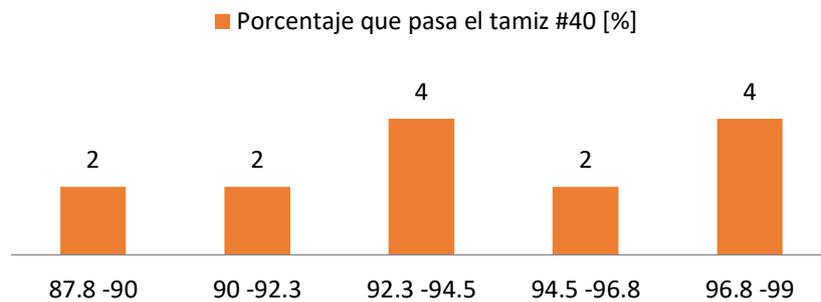


Figura 70: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Los datos del porcentaje de suelo que pasa el tamiz #200 se presentan en la Figura 71. La muestra tiene una media de 78.7%, coeficiente de variación de 10%, nivel de confianza de 93.4% e intervalo de confianza 95% entre 74.6 y 82.8%.

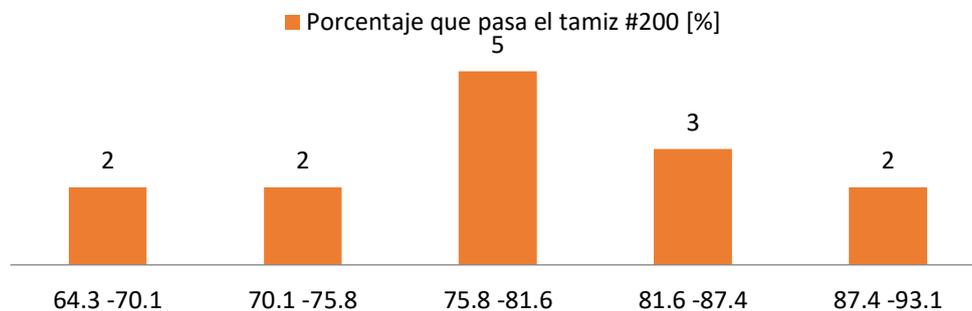


Figura 71: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

La distribución granulométrica de los datos de ensayos de elaboración propia es la siguiente: grava entre 0 y 0.1%, arena entre 17.2 y 25.3% y finos entre 74.6 y 82.8%.

El rango de la distribución granulométrica para el suelo del sector Carmen de Guzho se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39: Rango de distribución granulométrica - Sector Carmen Guzho
Fuente: Elaboración propia

Tamiz	Rango [%]
#4	97.2-100
#10	93-99.8
#40	80-95.8
#200	63.6-82.8

Resistencia de suelo

Los parámetros de resistencia analizados son la cohesión (C_u) y el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ). Se contó con un total de 45 datos en el sector de Carmen de Guzho, distribuidos en 34 y 11 datos respectivamente para cada parámetro.

Cohesión del suelo

Los estadísticos de la cohesión del suelo analizados según los diferentes ensayos se muestran en la Tabla 40. En la Tabla 12 se presentan los rangos de variación para la cohesión según el tipo de ensayo y de manera general, con lo cual se realiza la siguiente evaluación.

De manera general el menor coeficiente de variación es de 24.2% en el ensayo de corte directo y el mayor es de 64% en el ensayo de penetrómetro. El ensayo de laboratorio con menor coeficiente de variación es el ensayo de corte directo con 24.2% y el ensayo con el mayor valor es el triaxial con 36.1%. Así mismo, en los ensayos de campo los ensayos con menor y mayor coeficiente de variación son el ensayo torvane con 28.8% y el ensayo de penetrómetro con 64% respectivamente.

Para el ensayo triaxial CV excede en 8.8% el rango para este ensayo, pero se encuentra dentro de los rangos para ensayos de laboratorio y cohesión en general. El ensayo de corte directo con un CV de 24.2% está dentro del rango para ensayos de laboratorio y cohesión en general. El coeficiente de variación en el ensayo de compresión simple excede en un 2% el rango para este tipo de ensayos y en un 3% para la cohesión en general, sin embargo, está dentro del rango para ensayos de laboratorio.

En el ensayo de cono dinámico el CV está cerca del límite superior para cohesión en general, para el ensayo de penetrómetro CV está fuera del rango de cohesión en general con un 11% y para el ensayo torvane CV está dentro del rango estimado.

Las medias de los ensayos torvane, triaxial, compresión simple y cono dinámico son cercanas a un valor de 35.6 kN/m², lo contrario ocurre con las medias del ensayo de corte directo y penetrómetro que se encuentran en puntos alejados.

Tabla 40: Parámetros estadísticos de la cohesión en diferentes ensayos de laboratorio y de campo
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previo al estudio						
Parámetros estadísticos	Triaxial	Corte directo	Compresión simple	Cono dinámico	Penetrómetro	Torvane
\bar{x} [kN/m ²]	36.1	59.5	34.8	34.4	143.2	37.1
<i>CV</i> (%)	28.8	24.2	58.0	54.6	64.0	28.8
Nivel de confianza (%)	83.5	72.6	87.5	67.19	77.0	77.2
Intervalo de confianza 95% [kN/m ²]	28.4 – 43.8	45.4 – 73.6	22.8 – 46.7	16.0 – 52.9	53.3 – 233.0	26.6 – 47.6

La Figura 72 muestra los niveles de confiabilidad para la cohesión en cada ensayo. El nivel de confiabilidad más alto es el del ensayo de compresión simple con 87.5% y el más bajo el del ensayo de cono dinámico con 67.2% de confiabilidad. En los ensayos de laboratorio el de mayor confiabilidad es el de compresión simple con 87.5% y en campo es el ensayo torvane con 77.2%.

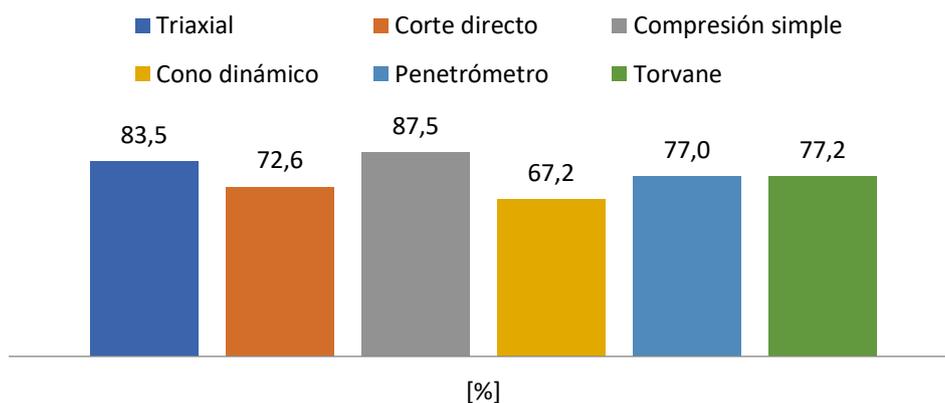


Figura 72: Nivel de confiabilidad de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 73 se observan los intervalos de confianza brindados por cada ensayo. El ensayo de penetrómetro presenta un intervalo amplio y muy distinto a los intervalos de los otros ensayos, por lo que no es confiable y se descarta. Los ensayos triaxial, compresión simple y torvane tienen intervalos de confianza similares de 28.4 a 43.8 kN/m², 22.8 a 46.7 kN/m² y 26.6 a 47.6 kN/m² respectivamente.

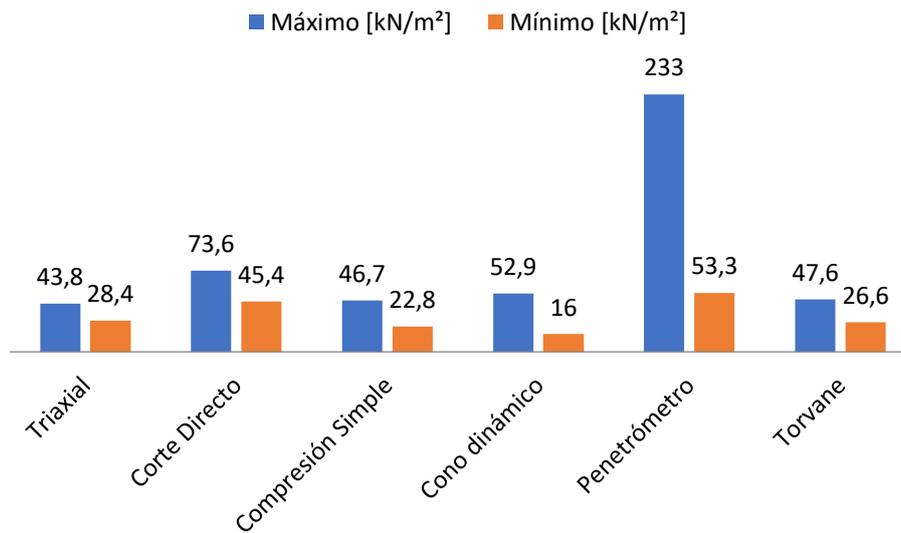


Figura 73: Intervalo de confianza de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo
Fuente: Elaboración propia

El rango de cohesión en los ensayos de laboratorio es de 22.8 a 46.7 kN/m² y en ensayos de campo es de 26.6 a 47.6 kN/m², de esta manera la cohesión en general está entre 22.8 y 47.36 kN/m².

Para el intervalo de confianza de la cohesión en el ensayo de compresión simple (C_u) le corresponde un intervalo de resistencia a compresión (q_u) de 45.7 a 93.4 kN/m² que según la Tabla 6, corresponde a arcilla blanda y arcilla media.

4.8.1.7. Ángulo de fricción interna del suelo

Para (ϕ), el ensayo triaxial es la mayor fuente de información con un 68% como se ve en la Figura 74 con un total de 11 datos de ensayos previos al estudio.

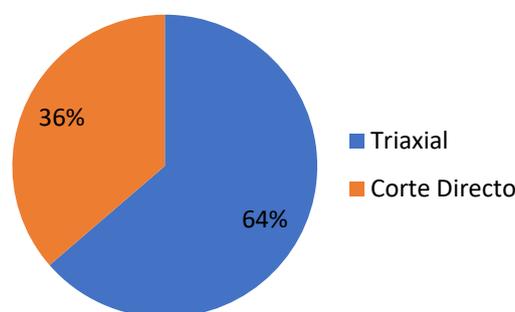


Figura 74: Datos de ángulo de fricción correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41 se presentan los estadísticos del ángulo de fricción analizados para cada ensayo. El coeficiente de variación del ensayo triaxial es de 47% y se encuentra dentro del rango expuesto en la Tabla 12, por el contrario CV para corte directo es 72.3% y se encuentra fuera del rango con un 16.3%; respecto a sus medias se puede decir que son diferentes.

Tabla 41: Parámetros estadísticos del ángulo de fricción
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previo al estudio		
Parámetros estadísticos	Triaxial	Corte directo
\bar{x} [°]	6.3	16.6
<i>CV</i> (%)	47.0	72.3
Nivel de confianza (%)	80.7	70.6
Intervalo de confianza 95% [°]	4.1 – 8.6	4.8 – 28.4

En la Figura 75 se muestran los niveles de confiabilidad en ambos ensayos. El nivel de confiabilidad del ensayo triaxial es 10.1% mayor que el del ensayo de corte directo.

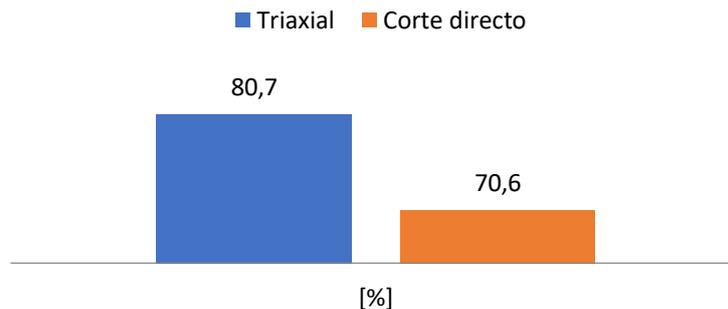


Figura 75: Nivel de confiabilidad del ángulo de fricción en distintos ensayos
Fuente: Elaboración propia

El intervalo de confianza para el ensayo de corte directo mostrado en la Figura 76 tiene un rango muy amplio de 23.6°, por otro lado en el ensayo triaxial este rango es de 4.5°.

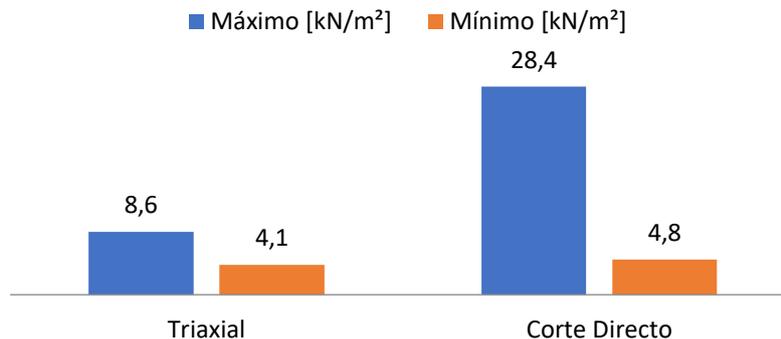


Figura 76: Intervalo de confianza del ángulo de fricción en distintos ensayos
Fuente: Elaboración propia

El rango para el ángulo de fricción está entre 4.1 y 8.6° y se encuentra dentro de los valores admisibles de variación.

4.8.1.8. Expansión del suelo

Se analizaron 5 datos de presión de hinchamiento y 4 de hinchamiento libre correspondientes a información previa al estudio.

En la Tabla 42 se muestran los parámetros estadísticos analizados. Tanto la presión de hinchamiento como el porcentaje de hinchamiento libre presentan un coeficiente de variación elevado.

Tabla 42: Parámetros estadísticos de expansión del suelo
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previo al estudio		
Parámetros estadísticos	Presión de hinchamiento [kg/cm ²]	Hinchamiento libre [%]
\bar{x}	0.05	1.1
<i>CV</i> (%)	73.2	78.6
Nivel de confianza (%)	75.0	67.0
Intervalo de confianza 95%	0.02 – 0.09	0.2 – 1.9

La Figura 77 y la Figura 78 muestran los datos de cada parámetro. La media de la presión de hinchamiento es de 0.05 kg/cm² y el hinchamiento libre de 1.1%. El nivel de confianza de la presión de hinchamiento es 75% mientras que para el hinchamiento libre es 67%. Ambos parámetros muestran intervalo de confianza amplios.

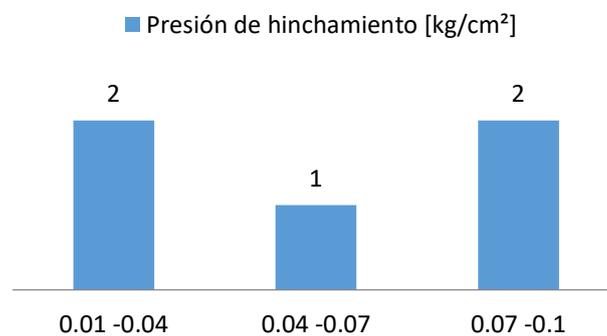


Figura 77: Datos de presión de hinchamiento correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

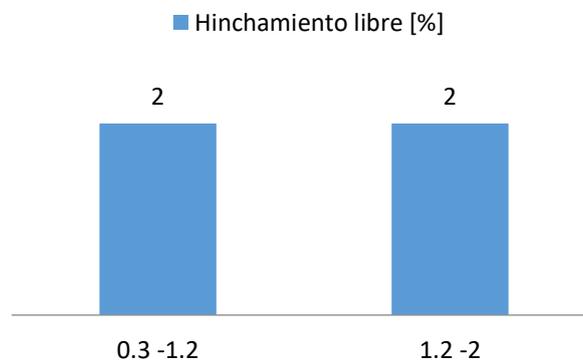


Figura 78: Datos de hinchamiento libre correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Debido a la alta variabilidad de los parámetros se recomienda realizar nuevos ensayos para sesgar la variación.

4.8.2. Sector Baños

4.8.2.1. Propiedades físicas

Densidad húmeda

Un total de 45 datos de densidad húmeda (γ) fueron analizados, 37 datos de ensayos previos al estudio y 8 datos de ensayos de elaboración propia.

En la Tabla 43 se muestran los estadísticos fundamentales que fueron analizados, entre los cuales está el coeficiente de variación 8.42% y 12.8%, que para ambas muestras está dentro del rango admisible según la Tabla 12.

Tabla 43: Parámetros estadísticos de la densidad húmeda
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previos al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [g/cm ³]	1.785	1.680
CV (%)	8.42	12.8
Nivel de confianza (%)	93.4	81.9
Intervalo de confianza 95% [g/cm ³]	1.737 – 1.834	1.534 – 1.827

La media para los datos de ensayos previos al estudio es de 1.785 g/cm³ con un nivel de confianza de 93.4%. Su nivel de confianza 95% es de 1.737 a 1.834 g/cm³; la Figura 79 detalla los datos de la muestra.

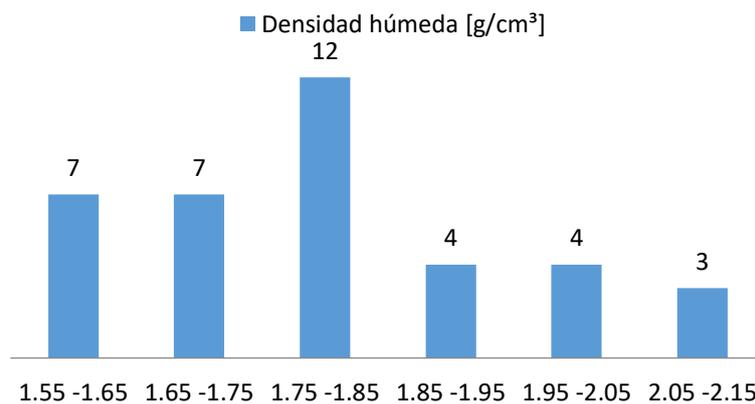


Figura 79: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 80 se muestran los datos de los ensayos de elaboración propia. La media de la muestra es de 1.680 g/cm³ con un nivel de confianza de 81.9%, su intervalo de confianza 95% es de 1.534 a 1.827 g/cm³.

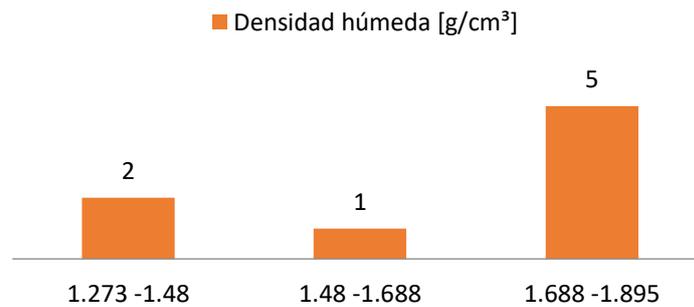


Figura 80: Datos de densidad húmeda correspondiente a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Acorde al análisis estadístico las medias de las muestras no son diferentes. El rango en el que se encuentra la densidad húmeda (γ) es de 1,534 a 1,834 g/cm³, ya que las muestras no tienen diferencias en sus medias.

4.8.2.2. Densidad seca

Un total de 45 datos de densidad seca (γ_d) fueron analizados, conformados por 37 datos de ensayos previos al estudio y 8 datos de ensayos de elaboración propia.

Los principales estadísticos de estudio se muestran en la Tabla 44. Ambas muestras presentan un coeficiente de variación alto cerca del límite superior, 12.5% para ensayos previos al estudio y 10.5% para ensayos de elaboración propia acorde a la Tabla 12.

Tabla 44: Parámetros estadísticos de la densidad seca
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos previos al estudio	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [g/cm ³]	1.417	1.390
CV (%)	12.5	10.5
Nivel de confianza (%)	93.2	86.4
Intervalo de confianza 95% [g/cm ³]	1.361 – 1.474	1.289 – 1.491

En la Figura 81 se muestran los datos de densidad seca de ensayos previos al estudio. Su media es de 1.417 g/cm³ con una confiabilidad de 93.2%, su intervalo de confianza 95% está entre 1.361 y 1.474 g/cm³.

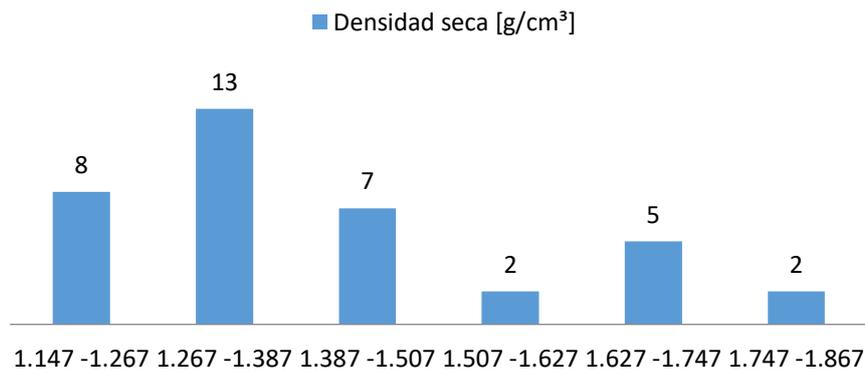


Figura 81: Datos de densidad seca correspondiente a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los datos de ensayos de elaboración propia se presentan en la Figura 82. Tienen una media muestral de 1.390 g/cm³ con un nivel de confianza de 86.4%; su intervalo de confianza 95% es de 1.289 a 1.474 g/cm³.

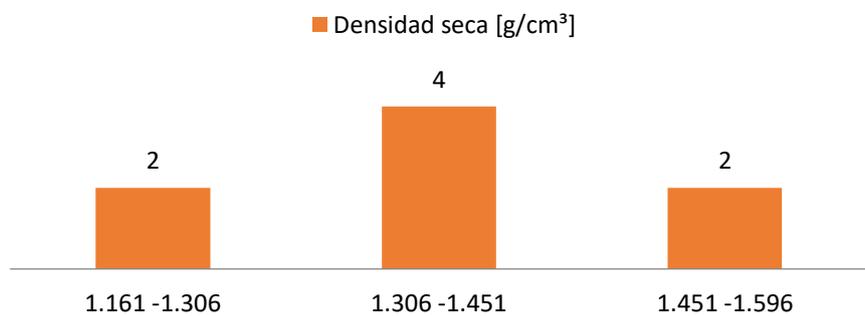


Figura 82: Datos de densidad seca correspondiente a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Posterior al análisis estadístico se determinó que no hay diferencia entre las medias de las muestras. La densidad seca (γ_d) se encuentra en un rango de 1.289 a 1.491 g/cm³, estos valores corresponden a suelos blandos y a suelos muy blandos según la Tabla 6.

Límite líquido

No se registraron datos previos al estudio por lo que se analizaron 4 datos correspondientes a ensayos de elaboración propia de límite líquido (LL).

La Tabla 45 presenta los estadísticos de la muestra. Su coeficiente de variación es de 1.0%, por lo tanto, está fuera del rango mostrado en Tabla 12, es menor al límite inferior 9%.

Su nivel de confianza es 62.5%; se registraron valores de 48 y 49% en los 4 datos de los que dispuso, por lo cual es el intervalo de confianza del que si dispone para el parámetro de límite líquido. Sus valores se encuentran concentrados en un solo valor, por ende, para mejorar su nivel de confianza es recomendable contar con más información de este parámetro.

Tabla 45: Parámetros estadísticos del límite líquido
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	49
<i>CV</i> (%)	1.026
Nivel de confianza (%)	62.5
Intervalo de confianza 95% [%]	48 – 49

Límite líquido con contenido de materia orgánica

Se analizaron 4 datos correspondientes a ensayos de elaboración propia, no se contó con información previa al estudio.

La Tabla 46 presenta los estadísticos de la muestra. Su coeficiente de variación es de 22.2%, el cual está dentro del rango para suelo fino propuesto por Tabla 12.

Tabla 46: Parámetros estadísticos del límite líquido con contenido de materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	66
<i>CV</i> (%)	22.2
Nivel de confianza (%)	69.7
Intervalo de confianza 95% [%]	52 – 80

La Figura 83 presenta los datos analizados con una media de 66% y un nivel de confianza de 69.7%. Su intervalo de confianza 95% es de 52 a 80%. A pesar de que su coeficiente de variación es aceptable, su nivel de confianza es bajo por la dispersión de los datos. Por tanto, se recomienda ampliar el número de datos de análisis.

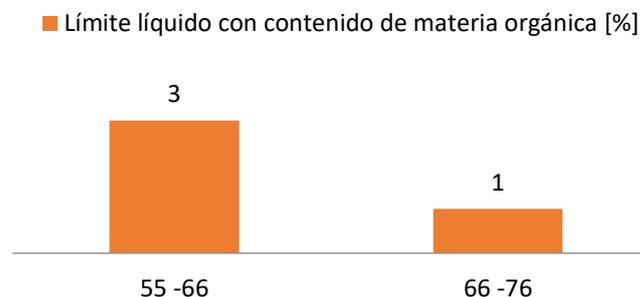


Figura 83: Datos de límite líquido con contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Límite plástico

Se analizaron 6 datos de límite plástico (*LP*) de ensayos de elaboración propia, no se analizaron datos de información previa.

En la Tabla 47 se muestran los estadísticos de la muestra. Su coeficiente de variación es de 21.7%, el cual está dentro del rango de variación para suelo fino pero supera en un 1.7% al rango superior para arcilla según Tabla 12.

Tabla 47: Parámetros estadísticos del límite plástico
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	31
CV (%)	21.7
Nivel de confianza (%)	78.2
Intervalo de confianza 95% [%]	25 – 36

Los datos analizados se observan en la Figura 84, donde su media es de 31%, su nivel de confianza es de 78.2% y su intervalo de confianza 95% es de 25 a 36%. Debido a que el coeficiente de variación está dentro del rango para suelo fino, pero no para arcilla y que el nivel de confianza es aceptable pero no alto, se tomó un rango de límite plástico (LP) para suelo fino de 25 a 36%.

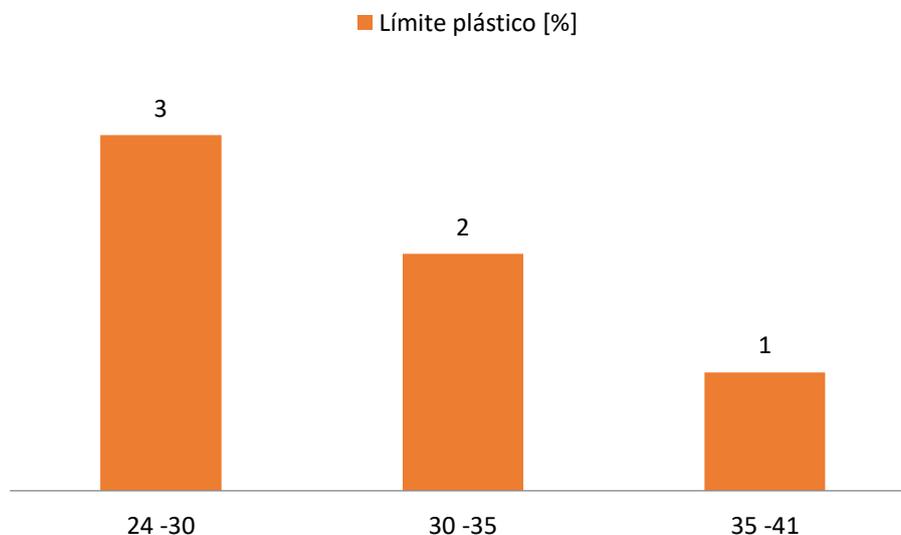


Figura 84: Datos de límite plástico correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

4.8.2.3. Índice de plasticidad

En la Tabla 48 se muestran los estadísticos del análisis de 6 datos de índice de plasticidad (IP) de ensayos de elaboración propia. Su coeficiente de variación de 28.9% está cercano a la media del rango de variación como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 48: Parámetros estadísticos del índice de plasticidad
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	36
CV (%)	28.9

Nivel de confianza (%)	76.6
Intervalo de confianza 95% [%]	27 – 45

En la Figura 85 se muestran los datos del análisis con una media de 36%. Su nivel de confianza es de 76.6% y su intervalo de confianza 95% de 27 a 45%, siendo este el rango del índice de plasticidad (*IP*). El rango indicado corresponde a suelos altamente plásticos.

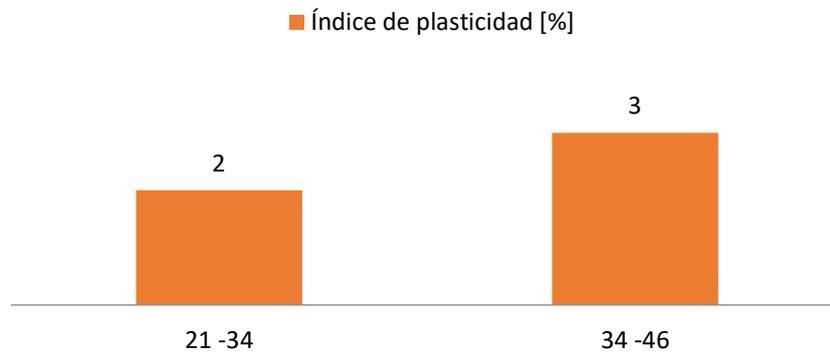


Figura 85: Datos de índice de plasticidad correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

4.8.2.4. Contenido de materia orgánica

En la Tabla 49 se muestran los estadísticos analizados de contenido de materia orgánica de una muestra de 4 datos de los pozos de exploración. Se observa que su coeficiente de variación es de 57.6% lo que es bastante alto, sin embargo, la heterogeneidad de los pozos de exploración respecto al contenido de materia orgánica contribuye a este elevado valor.

Tabla 49: Parámetros estadísticos del contenido de materia orgánica
Fuente: Elaboración propia

Parámetros estadísticos	Ensayos de elaboración propia
\bar{x} [%]	6.0
<i>CV</i> (%)	57.6
Nivel de confianza (%)	69.8
Intervalo de confianza 95% [%]	2.6 – 9.3

La Figura 86 presenta los datos del análisis de contenido de materia orgánica. Su media es de 6% con un nivel de confianza de 69.8% y un intervalo de confianza 95% de 2.6 a 9.3%.

De los 4 pozos analizados uno resultó ser de suelo orgánico con un contenido de materia orgánica de 4.76%.

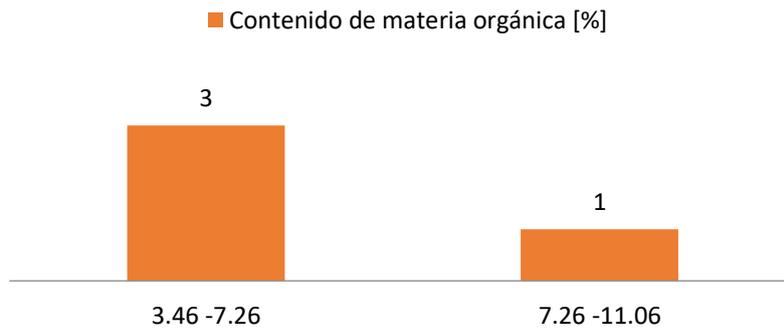


Figura 86: Datos de contenido de materia orgánica correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

Distribución granulométrica del suelo

La Tabla 50 presenta los valores de los estadísticos analizados para 4 datos de ensayos de elaboración propia. De la misma manera que para en la distribución granulométrica del suelo de Carmen de Guzho, el coeficiente de variación de la distribución granulométrica del suelo de Baños va aumentando conforme crece el tamaño de abertura de tamiz por la que pasa el suelo como se muestra en la Figura 87.

Tabla 50: Parámetros estadísticos de la distribución granulométrica
Fuente: Elaboración propia

Ensayos de elaboración propia				
Parámetros estadísticos	% de suelo que pasa el tamiz			
	#4	#10	#40	#200
\bar{x} [%]	100.0	99.7	91.8	78.4
CV (%)	0.1	0.5	7.5	16.6
Nivel de confianza (%)	64.5	69.2	77.1	71.3
Intervalo de confianza 95% [%]	99.9 – 100	100 – 99.2	85.0 – 98.5	65.7 – 91.1

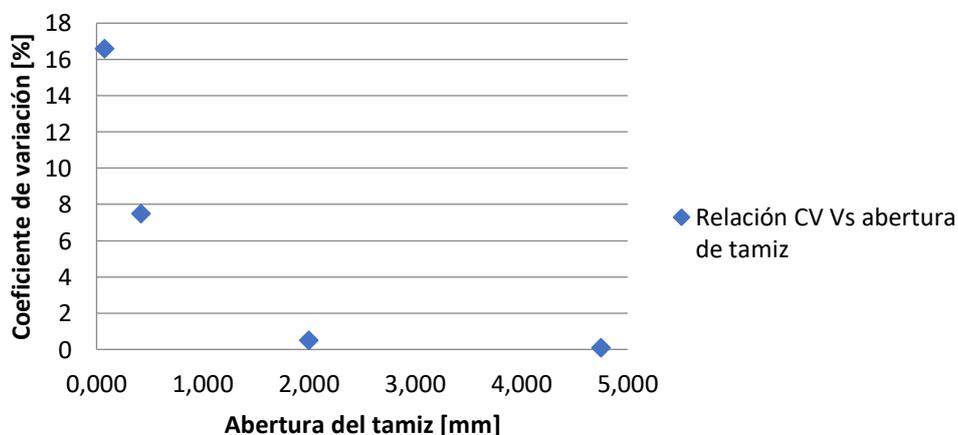


Figura 87: Relación de la variación de la abertura del tamiz y el coeficiente de variación

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de suelo que pasa el tamiz #4 está entre el 99.9 y 100%, su valor es centrado alrededor de un punto debido a que se trata del tamiz que separa el material granular del fino y la mayor parte de material pasa este tamiz. El coeficiente de variación es 0.1%, su media es 100%, la muestra tiene un nivel de confianza de 64.5% y su intervalo de confianza 95% es de 99.9 a 100%.

El porcentaje de suelo que pasa el tamiz #10 tiene un coeficiente de variación de 0.5%, su media es de 99.7%, tiene un nivel de confianza de 69.2% y su intervalo de confianza 95% está entre 99.2 a 100%. Los datos se presentan en la Figura 88.

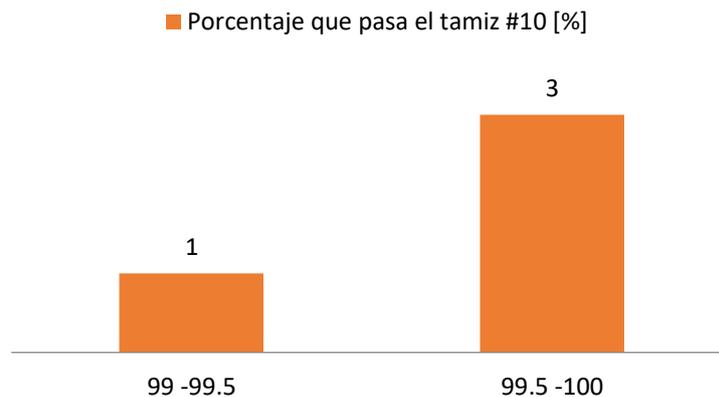


Figura 88: Datos de % tamiz #10 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

La Figura 89 muestra los datos de ensayos de elaboración propia de porcentaje de suelo que pasa el tamiz #40 con una media de 91.8%. Su coeficiente de variación es de 7.5%, la muestra tiene un nivel de confianza de 77.1% y su intervalo de confianza 95% está entre 85 y 98.5%.

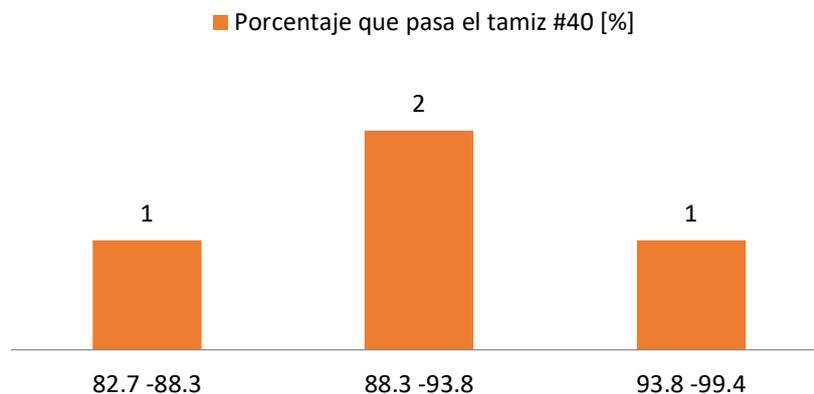


Figura 89: Datos de % tamiz #40 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 90 se muestran los datos del porcentaje de suelo que pasa la malla #200. La muestra tiene una media de 78.4%, su coeficiente de variación es de 16.6%, tiene un nivel de confianza de 71.3% y su intervalo de confianza 95% es de 65.7 a 91.1%.

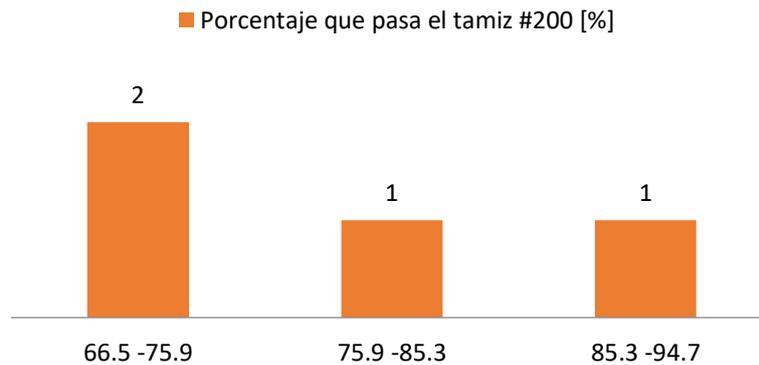


Figura 90: Datos de % tamiz #200 correspondientes a ensayos de elaboración propia
Fuente: Elaboración propia

La distribución granulométrica del suelo de Baños es la siguiente: grava entre 0 y 0.1%, arena entre 8.9 y 34.2% y material fino entre 65.7 y 91.1%

Los rangos de la distribución granulométrica para cada malla se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51: Rango de distribución granulométrica – Sector Baños
Fuente: Elaboración propia

Tamiz	Rango [%]
#4	99.9-100
#10	99.2-100
#40	85-98.5
#200	65.7-91.1

4.8.2.5. Resistencia del suelo

Los parámetros de resistencia analizados son la cohesión (C_u) y el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ). Se contó con un total de 59 datos en el sector de Baños, distribuidos en 46 y 13 datos respectivamente para cada parámetro.

Cohesión del suelo

Los estadísticos de la cohesión de cada ensayo se presentan en la Tabla 52. El análisis del coeficiente de variación se hizo en base a los rangos de la Tabla 12.

Entre todos los ensayos el menor CV es de 39.5% en el ensayo de penetrómetro y el mayor es de 78.8% en el ensayo de corte directo. El ensayo de laboratorio con menor CV es el ensayo de compresión simple con 46.4% de variación y el de mayor CV es el ensayo de corte directo con 78.8%. En los ensayos de campo el ensayo penetrómetro con CV de 39.5% es el menos variabilidad y el ensayo torvane el de mayor con CV de 70.1%.



Para el ensayo triaxial CV excede en 50% el rango para este ensayo y en 15% para la cohesión en general, pero se encuentra dentro de ensayos de laboratorio. El ensayo de corte directo con un CV de 78.8% está dentro del rango para ensayos de laboratorio pero no para cohesión en general. El coeficiente de variación en el ensayo de compresión simple está dentro del rango para este tipo de ensayos, ensayos de laboratorio y cohesión en general.

En el ensayo de cono dinámico el CV está cerca del límite superior para cohesión en general, para el ensayo de penetrómetro CV está dentro del rango de cohesión en general y para el ensayo torvane CV está fuera del rango estimado.

Las medias de los ensayos compresión simple y corte directo son cercanas a un valor de 34.3 kN/m^2 , lo contrario ocurre con las medias de los ensayos triaxial, penetrómetro y torvane que se encuentran en puntos alejados.

Tabla 52: Parámetros estadísticos de la cohesión en diferentes ensayos de laboratorio y de campo
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previos al estudio						
Parámetros estadísticos	Triaxial	Corte directo	Compresión simple	Cono dinámico	Penetrómetro	Torvane
\bar{x} [kN/m ²]	64.0	34.1	34.4	49.2	162.2	204.0
CV (%)	70.0	78.8	46.4	55.7	39.5	70.1
Nivel de confianza (%)	79.7	85.2	86.3	76.5	76.2	76.4
Intervalo de confianza 95% [kN/m ²]	33.0 – 95.0	12.6 – 55.6	26.3 – 42.5	27.3 – 71.1	110.9 – 213.5	78.7 – 329.3

En la Figura 91 se muestran los niveles de confiabilidad para la cohesión en cada ensayo. El ensayo de compresión simple tiene el nivel de confiabilidad más alto con 86.3% y el menor nivel con 76.2% corresponde al ensayo penetrómetro. En los ensayos de laboratorio el de mayor confiabilidad es el de compresión simple con 86.3% y en campo es el ensayo de cono dinámico con 76.5% seguido muy de cerca por el ensayo torvane con 76.4%.

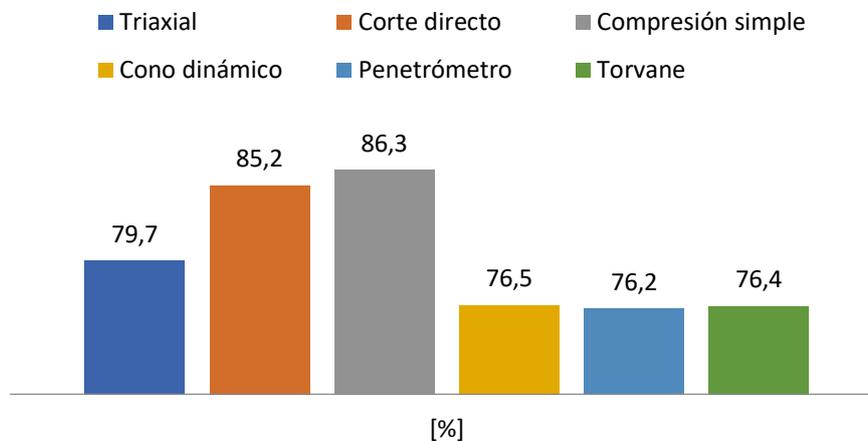


Figura 91: Nivel de confiabilidad de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 92 se presentan los intervalos de confianza de cada ensayo. El ensayo torvane y el ensayo penetrómetro presentan intervalos amplios y distintos a los intervalos de los otros ensayos, por lo que no es confiable y se descarta. Los ensayos triaxial, compresión simple y cono dinámico tienen intervalos de confianza similares de 33 a 95 kN/m², 26.3 a 42.5 kN/m² y 27.3 a 71.7 kN/m² respectivamente.

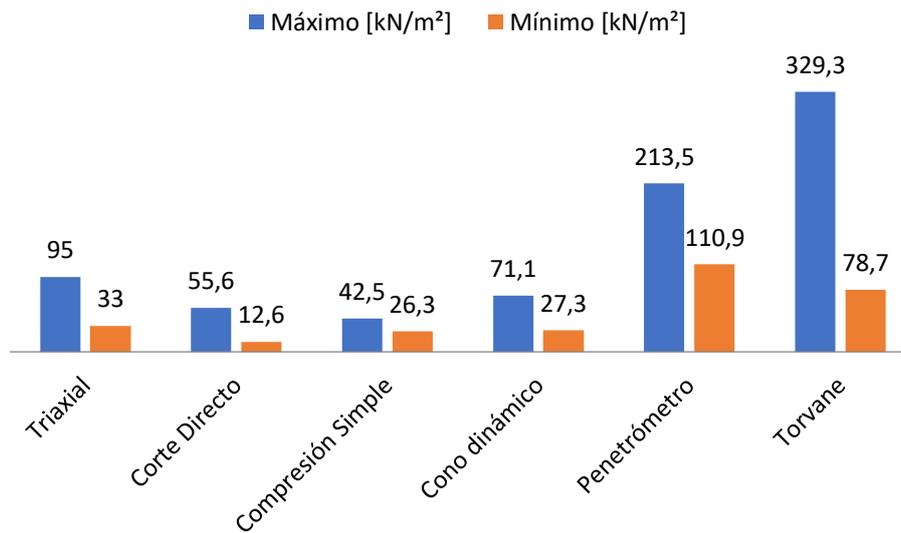


Figura 92: Intervalo de confianza de la cohesión en distintos ensayos de laboratorio y campo
Fuente: Elaboración propia

El rango de cohesión (C_u) en los ensayos de laboratorio es de 26.3 a 42.5 kN/m² y en ensayos de campo es de 27.3 a 71.1 kN/m²; el valor obtenido en campo tuvo un rango de variabilidad alto por lo que se recomienda ampliar los datos y disminuir la variación. Finalmente, de manera general la cohesión en general está entre 26.3 y 42.5 kN/m².

Para el intervalo de confianza de la cohesión (C_u) en el ensayo de compresión simple le corresponde un intervalo de resistencia a compresión (q_u) de 52.6 a 84.9 kN/m² que según la Tabla 6 corresponde a arcilla media.

4.8.2.6. Ángulo de fricción interna del suelo

Para (ϕ) el ensayo triaxial es la mayor fuente de información con un 54% como se muestra en la Figura 93, se analizaron un total de 13 datos de ensayos previos al estudio.

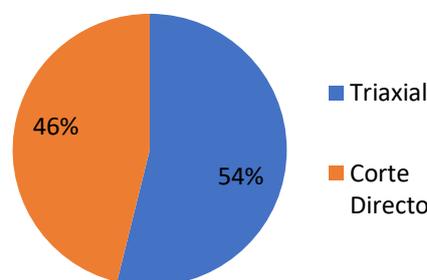


Figura 93: Datos de ángulo de fricción correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

Los parámetros estadísticos analizados se muestran en la Tabla 53. El coeficiente de variación para en el ensayo triaxial es de 86.2% y para el ensayo de corte directo es 97.2%. Ambas muestras están fuera del rango de variación de la muestra mostrado en la Tabla 12.

Tabla 53: Parámetros estadísticos del ángulo de fricción
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previos al estudio		
Parámetros estadísticos	Triaxial	Corte directo
\bar{x} [°]	13.9	16.2
CV (%)	86.2	97.2
Nivel de confianza (%)	74.4	73.4
Intervalo de confianza 95% [°]	5.0 – 22.7	2.0 – 30.4

En la Figura 94 se presentan los niveles de confianza para ambos ensayos; los valores de confianza difieren en un 10%, el ensayo triaxial tiene mayor confiabilidad.

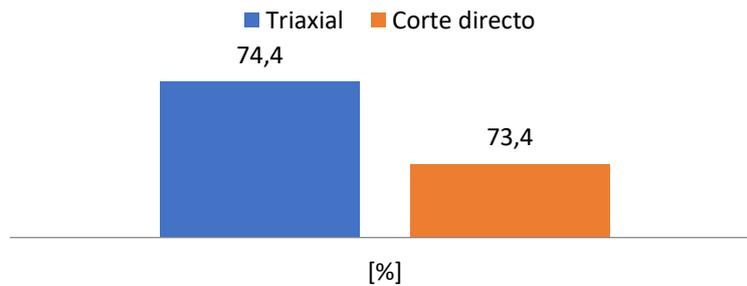


Figura 94: Nivel de confiabilidad del ángulo de fricción en distintos ensayos
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 95 se muestran los intervalos de confianza de cada parámetro. El ensayo de corte directo presenta un rango de 28.4° mientras que en el ensayo triaxial es de 17.7°.

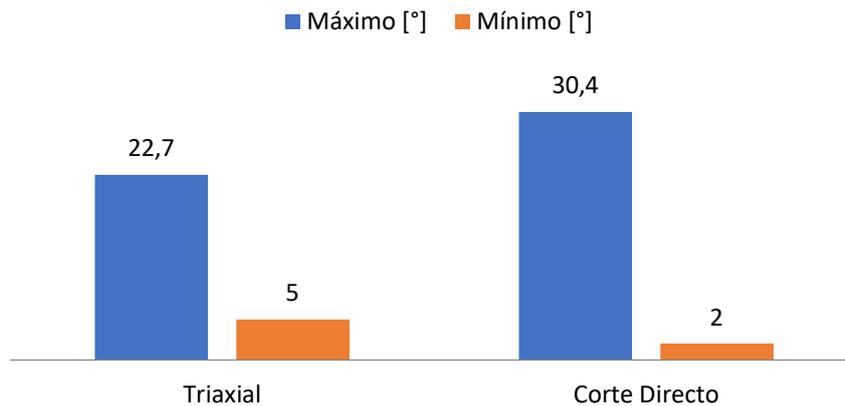


Figura 95: Intervalo de confianza del ángulo de fricción en distintos ensayos
Fuente: Elaboración propia

El rango para el ángulo de fricción interna del suelo (ϕ) es dado por el ensayo triaxial de 5 a 22.7° debido a que tiene menor variabilidad y mayor nivel de confianza, sin embargo, para mejorar el intervalo de confianza es recomendable ampliar el número de datos en el estudio.

Expansión del suelo

La Tabla 54 muestra los parámetros estadísticos analizados de los 4 datos de ensayos previos al estudio que se observan en la Figura 96. El coeficiente de variación de la muestra es de 22.2%.

El nivel de confianza de la muestra es de 67.6% y su intervalo de confianza 95% cubre todo el rango de muestras de 0.5 a 1.8%.

Tabla 54: Parámetros estadísticos de expansión del suelo
Fuente: Elaboración propia

Ensayos previos al estudio	
Parámetros estadísticos	Hinchamiento libre [%]
\bar{x}	0.7
<i>CV</i> (%)	22.2
Nivel de confianza (%)	67.6
Intervalo de confianza 95%	0.5 – 1.8

Se recomienda realizar más ensayos para mejorar el nivel de confianza del parámetro, los datos reflejan un porcentaje de hinchamiento libre bajo.

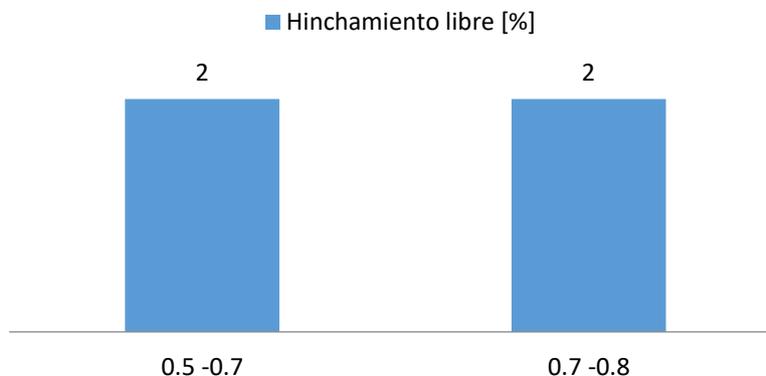


Figura 96: Datos correspondientes a ensayos previos al estudio
Fuente: Elaboración propia

4.9. Resumen de resultados

Una vez realizado todo el análisis que se propuso en la metodología, podemos obtener intervalos de valores para para zona de estudio. En la Tabla 55, se presenta la información anteriormente menciona para el sector Carmen de Guzho, además existen observaciones, que nos permiten asumir una aproximación de ciertos parámetros, al igual que el cuidado con el que se debe utilizar algunos resultados para ciertos parámetros en los que se debe añadir mayor información a fin de aumentar el nivel de confianza.

Tabla 55: Resumen de parámetros geotécnicos para el Sector Carmen de Guzho
Fuente: Elaboración propia

	Unidades	Intervalo	Observaciones
Densidad Húmeda	g/cm ³	1,772 - 1,957	
Densidad Seca	g/cm ³	1,344 - 1,597	



Límite Líquido	%	42 - 48	Suelos arcillosos
		42 - 55	Suelos finos
Límite Líquido orgánico	%	51 - 60	
Variación de LL y LL orgánico	-	5 - 33	
Límite Plástico	%	29 - 32	
		24 - 34	
Índice de Plasticidad	%	20 - 29	Suelo altamente plástico
Contenido de Materia Orgánica	%	5,7 - 7,9	
Cohesión	kN/m ²	45,7 - 93,4	Arcilla blanda y arcilla media
Ángulo de fricción	°	4,1 - 8,6	Triaxial
Presión de hinchamiento	kg/cm ²	0,05	Se recomiendan más ensayos
Hinchamiento libre	%	1,10	
	#4	97,2 - 100	
	#10	93 - 99,8	
	#40	80 - 95,8	
	#200	63,6 - 82,8	

De la misma manera que se describió la tabla anterior para el sector Carmen de Guzho, se tiene la información para el Sector Colegio Borja (Baños) en la Tabla 56.

Tabla 56: Resumen de parámetros geotécnicos para el Sector Colegio Borja (Baños)
Fuente: Elaboración propia

	Unidades	Intervalo	Observaciones
Densidad Húmeda	g/cm ³	1,534 - 1,834	
Densidad Seca	g/cm ³	1,289 - 1,491	
Límite Líquido	%	48 - 49	Nivel Confiabilidad=62,5 %
			Se recomiendan más ensayos
Límite Líquido orgánico	%	52 - 80	Se recomiendan más ensayos
Variación de LL y LL orgánico	-	13 - 44	
Límite Plástico	%	25 - 36	Suelos finos
Índice de Plasticidad	%	25 - 45	Suelo altamente plástico
Contenido de Materia Orgánica	%	2,6 - 9,3	
Cohesión	kN/m ²	52,6 - 84,9	Arcilla media
Ángulo de fricción	°	5 - 22,7	Triaxial



Hinchamiento libre	%	0,5 - 1,8	Se recomiendan más ensayos
	#4	97,2 - 100	
Granulometría	#10	93 - 99,8	
	#40	80 - 95,8	
	#200	63,6 - 82,8	

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente estudio tuvo como objetivo analizar geológicamente las zonas de interés para el Sector Carmen de Guzho. La geología de esta zona se encuentra influenciada por material proveniente de: Terraza Aluvial 4, partes de depósito coluvial y una parte de la Formación Turi. Visualmente los materiales descritos fueron hallados en diferentes zonas, de acuerdo a la primera inspección en campo, por ejemplo, material coluvial es encontrado en taludes de una potencia entre 6 y 9 m adyacentes a la vía, en las partes altas de Carmen de Guzho. Sin embargo, el sitio estudiado muestra homogeneidad significativa de material fino negro con una sensación al tacto de plasticidad.

Producto del deslizamiento en Guzho de 1999, en zonas específicas de exploración (Pozo 6 y Pozo 7) el material es variable espacialmente, por lo que se definiría como una zona de contacto situada luego del deslizamiento.

El análisis para la zona de Baños, determina material que conforma geológicamente la Formación Turi. Los suelos componentes para esta formación son relativamente jóvenes comparados con otras formaciones, por lo que al no estar completamente consolidados y ante el efecto de cantidades de agua, se generan inestabilidades en el del terreno. De igual manera, la densificación de la zona genera un alto riesgo a la población e infraestructura en la zona.

- Estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Cuenca, dentro de la cátedra de Mecánica de Suelos, generan información geotécnica para establecer rangos de parámetros físicos o mecánicos para una zona. También, se tiene información generada por parte de laboratorios geotécnicos de la ciudad de Cuenca y la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos.

Es necesario mencionar, que información proveniente de estos últimos organismos es únicamente para el Sector Carmen de Guzho, mientras que para la zona de Baños el estudio es nulo o bastante específico a obras de la zona; lo cual genera inquietud ante la falta de estudios en una zona que actualmente genera inconvenientes y preocupación a moradores de esta zona, quienes no tienen una idea clara de posibles fenómenos de inestabilidad que estén afectando la zona, con lo cual se acarrea una serie de problemas, tales como, falta de medidas correctivas para la construcción de infraestructura en la zona, medidas preventivas a posibles riesgos, entre otros.

- La ubicación de pozos de extracción de muestras responde al afloramiento espacial del suelo en estudio. Para la zona de Carmen de Guzho, la información recolectada de elaboración propia es amplia y responde a los ensayos de mayor relevancia al momento de obtener valores de varios parámetros geotécnicos. Unificados estos estudios con los previos a esta investigación, obtenemos un número representativo de muestras que permite estadísticamente dar un buen nivel de confianza a este estudio.

Para el caso de la zona de Baños, el estudio podía ampliarse a más pozos de extracción de muestras, sin embargo, debido a la negativa de diversos moradores

ante la extracción de muestras influyo drásticamente en la cantidad de información obtenida. Pese a esto, la información que si pudo ser obtenida presenta en algunos casos coeficientes de variación bajos que aumentan el nivel de confianza de estudio. La colaboración de información previa a este trabajo es significativa, pues, gracias a ello se obtiene un numero de muestras representativas que permiten general un rango aceptable de valores para cada parámetro geotécnico.

- La información obtenida de acuerdo a la elaboración propia de cada ensayo, responde a parámetros tales como: densidad húmeda (γ), densidad seca (γ_d), límite líquido (LL), límite líquido con contenido de materia orgánica (LL), límite plástico e índice de plasticidad (LP), además de los ensayos de granulometría por lavado y contenido de materia orgánica. Para el caso de información obtenida previamente al estudio, los parámetros son iguales a los descritos anteriormente y adicional se tiene información de parámetros de resistencia, producto de ensayos como compresión simple, ensayo triaxial (no consolidado, no drenado), ensayo de expansión libre y controlada, y el conjunto de ensayos en campo para la obtención de la cohesión del terreno.
- La presencia de materia orgánica influye principalmente en el valor de límite líquido, lo cual hará que este sea mayor o igual en muestras secadas al ambiente. En base a la información obtenida de acuerdo a la variación de límite líquido en condiciones de secado al horno y al ambiental, los valores más altos se registran en pozos que en su clasificación mediante SUCS, son orgánicos. Esto se debe a que estos tienen un alto contenido de materia orgánica que al momento del secado en el horno sufre pérdidas significativas producto de su calcinación. Por tanto, se recomienda que el análisis se realice en condiciones de secado al ambiente, de tal forma que no existan variaciones o valores irreales al momento de obtener el límite líquido.
- De acuerdo a la distribución granulométrica, para las dos zonas, el suelo presente se clasifica como suelo fino, este tipo de material es sensible a la presencia de agua, pudiendo generar inestabilidad. Razón que responde al deslizamiento producido en Guzho (1999). El suelo presente en el sector de Baños, muestra características muy similares, por lo que la presencia abundante de agua, y un sistema de drenaje no adecuado podría generar problemas como el suscitado en el sector de Guzho, por lo que sería imperante disminuir el ingreso de agua a este tipo de material.
- Los datos analizados de cada parámetro tienen variabilidad natural debido a la variación espacial causada por la heterogeneidad del suelo en las zonas de estudio. Otros factores que incide en la incertidumbre son la falta de información de algunos parámetros o en algunos sectores, la inconsistencia de datos y los errores de medición. Se eliminó la mayor cantidad posible de datos con estos errores para que su dispersión sea representativa de las condiciones reales de cada parámetro en campo.

En el caso de la actualización de información que viene realizando la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos en zonas de inestabilidad de la ciudad de Cuenca, se recomienda que a más de los ensayos que implican, se realice en zonas de deslizamiento como tal, varios ensayos de compresión simple y en campo, el ensayo de torvane; puesto que estos mantienen una estrecha relación, y su realización no implica mayores gastos en comparación a otro tipo de ensayos. La obtención de parámetros de cohesión como fricción en estas zonas son indispensables, pues, en



caso de se construyan diferentes infraestructuras se tendrá precaución al momento del diseño de cimentaciones, así como posibles estudios de estabilización del suelo o la obtención de superficies de falla en la zona.

- Los ensayos de compresión simple realizados en la zona difieren ampliamente de la información previa obtenida, y dado que los datos recopilados no permitían llegar a un nivel de confiabilidad aceptable, fueron descartados. Sin embargo, los datos obtenidos eran bastante altos sin correspondencia para el tipo de suelo que se detalla en varias fuentes, por lo que, una de las posibles respuestas es la acción del agua en muestras, pues, en Guzho donde se presenciaron niveles freáticos los valores eran mayores en comparación a las otras muestras. Debido a estas inconsistencias, se recomienda que se amplíen los estudios en esta zona con diversos métodos que permitan comprobar y comparar información con los valores del intervalo de variación obtenido en este estudio en base a información previa a la iniciación de este proyecto.
- Se recomienda que la información obtenida por esta investigación se extienda. Inicialmente, con la topografía localizada para las zonas de afección, de tal manera que la clasificación de suelos de cada pozo pueda ser procesada y mediante procesos como polígonos de Thiessen, se localice y delimite la afloración de cada tipo de suelo en la zona. Bases como estas, permiten principalmente a la Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, tomar medidas en cuanto a ordenamiento territorial en estas zonas, y planes de contingencia y riesgo ante desastres naturales como deslizamientos.

Se debe poner especial interés en la generación de información de Baños, pues, los datos son escasos para dar respuesta o solución al problema de inestabilidad. Dicha situación permite generalizar a un problema más grande, como lo es la falta de información geotécnica en zonas de deslizamiento en diversas zonas de la ciudad y alrededores de Cuenca.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AASHTO T 258-81. (2018). Standard Method of Test for Determining Expansive Soils. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- AASHTO T267-86. (2008). Standard Method of Test for. *Determination of Organic Content in Soils by Loss on Ignition*. American Association of State Highway and Transportation Officials - Designation.
- Abril, B., & Knight, D. (2004). *Stabilising the Paute riven in Ecuador*. ICE Civil Engineering.
- Angelone, S. (2007). Identificación - Clasificación. *Geología y geotécnia, Segunda*. Geología y Geotécnia. Obtenido de https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Identificacion%20y%20Clasificacion%20de%20suelos_2007.pdf
- ASTM D 1586 / D1586M-18. (2018). Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D2166. (2016). Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. (D. Subcommittee, Ed.) ASTM International.
- ASTM D2167-15. (2015). Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method. ASTM Internacional.
- ASTM D2573 / D2573M-18. (2018). Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D3441-10. (2016). Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D422-63. (2007). Standar Test Method for Paricle-Size Analysis of Soils. ASTM International.
- ASTM D4318-17e1. (2017). Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Pasticity Index of Soils. (D. Subcommittee , Ed.) ASTM International.
- ASTM D4531-15. (2015). Standard Test Methods for Bulk and Dry Density of Peat and Peat Productos. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D5778 -12. (2012). Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM D6708-18. (2018). *Standard Practice for Statistical Assessment and Improvement of Expected Agreement Between Two Test Methods that Purport to Measure the Same Property of a Material*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM E2586-18. (2018). *Standard Practice for Calculating and Using Basic Statistics*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM E456-13A-e2. (2017). *Standard Terminology Relating to Quality and Statistics*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Baecher, G. B., & Christian, J. T. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Bañon Blázquez, L., & Bevía García, J. F. (2000). *Manual de Carreteras*. (Vol. 1: elementos y proyecto). Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Basabe, P. (Mayo de 1999). Mapa geológico del área del proyecto. Cuenca: Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado.



- Berry, G., & Armitage, P. (1994). *Statistical Methods in Medical Research*. Blackwell Science.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Castillo I, A. (s/f). *Desastres naturales y obras de ingeniería y arquitectura*. Curso de prevención y mitigación de riesgos.
- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica. (2010). *Código estratigráfico Norteamericano*. México, D.F.: Servicio Geológico Mexicano.
- Cordero, M. F. (s/f). "Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión territorial y ambiental". En *Análisis de conflictos y propuestas de uso del suelo de la ciudad de Cuenca y su área de influencia*. Tesis del postgrado de especialización.
- Crespo V, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Quinta ed.). México: Limusa.
- Cullquipuma Muñoz, E. D., & Maldonado Sigüencia, W. A. (2014). *Estudio del procedimiento de compactación a aplicar en la construcción de las presas del proyecto Pacalori*. Cuenca: Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Sacramento: Thopsom.
- Das, B. M. (2010). *Soil Mechanics Laboratory Manual*. New York: Oxford University Press.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). México D.F.: CENGAGE Learning.
- Dirección Municipal de Gestión de Riesgos. (Abril de 2017). Elaboración y actualización del Mapa de Amenaza por fenómenos de inestabilidad de terrenos e inundaciones en un área de 3.86 Km² que involucra parte de las parroquias Turi, Yanuncay y Huayna Cápac. *Informe geología y geotécnica*. RASTER Ingeniería de Proyectos.
- Duque, G., & Escobar, C. (2016). Origen formación y constitución del suelo, fisicoquímica de las arcillas. *Geomecánica para ingenieros*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/53252/85/introduccion.pdf>
- Erikson, G., Ramirez, C., Concha, J., Tisnado, M., & Urquidi, B. (1989). Landslides hazard in the central and southern Andes. (B. E. E., & H. B. L, Edits.) *Extent and Ecological Significance*, 111-117.
- Escobar Potes, C. E., & Duque Escobar, G. (2016). *Geotécnica para el trópico andino*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Espinoza Pineda, A., & Valdiviezo Ortiz, C. (2002). *Instrumentación en la Zona de Deslizamientos de Turi - Cuenca*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- FAO. (2017). *Insifnia de los Suelos*. Alianza Mundian de la Juventud y las Naciones Unidas (YUNGA).
- García Trejo, S. L., & Ramírez López, M. O. (2006). Propuesta de un manual de laboratorio de mecánica de suelos conforme a la Norma ASTM 2003. Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador.
- Garroux G, D., & et al. (2018). Consistency Index and Its Correlation with EPB Excavation of Mixed Clay–Sand Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*.
- Geoportal GifeX. (1986). *Mapa General de Suelos del Ecuador*. Obtenido de https://www.gifex.com/fullsize/2011-10-31-14743/Mapa_General_de_Suelos_del_Ecuador_1986.html
- González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON Educación.
- González de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.



- Hidalgo, C., & Pacheco de Assis, A. (2011). Herramientas para análisis por confiabilidad en Geotecnia: La Teoría. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 69-78.
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Mecánica de suelos* (Vol. Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos). Limusa, Ed.
- Lacasse, S., & Nadim, F. (1996). Uncertainties in Characterizing Soil Properties. *Uncertainty in the Geological Environment*, 49-75.
- Lozano, A., Bussmann, P., & Kueppers, M. (2016). Landslides as ecosystem disturbance - their implications and importance in Southern Ecuador. *Journal of ecology and application*.
- Meza, V. (2005). Influencia de la succión matricial en el comportamiento deformacional de dos suelos expansivos. Medellín, Colombia: Tesis previo a la obtención del título de Magister en Ingeniería Universidad Nacional de Colombia.
- Narsilio, G., & Santamarina, C. (2016). Clasificación de suelos: Fundamento físico, practicas actuales y recomendaciones. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology.
- Nieto, K., & Zambrano, J. S. (2018). *Análisis en laboratorio de la eficiencia de diferentes tipos de filtros para un suelo limo arcilloso de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.
- Onyejekwe, S. (2012). Characterization of soil variability for reliability based design. *Doctoral Dissertations Missouri University of Science and Technology*, (pág. 42). Missouri.
- Pasotti, P. (s/f). Estratigrafía. *Subsuelo de Rosario*. Departamento de Ciencias Geológicas.
- Patrone, J., & Prefumo, J. E. (s.f.). *La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. Métodos de prevención y control*. Montevideo: Primera Jornada de Ingeniería de Cimentaciones Facultad de Ingeniería de la Universidad de Montevideo.
- Phoon, K.-K., & Kulhawy, F. H. (1999). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 612-624.
- PRECUPA. (1996). *Informe sintético de la primera etapa*. Cuenca.
- PRECUPA. (1998). *Informe final tomo I de II*. Cuenca .
- PRECUPA e Ilustre Municipalidad de Cuenca. (s.f.). *Geoportal*. Obtenido de <http://ide.cuenca.gob.ec/geoportal-web/viewer.jsf?map=5>
- Proyecto PRECUPA. (Noviembre de 1998). Mapa. *Área de Influencia de la ciudad de Cuenca*. Cuenca: PRECUPA - INECCEL, I. Municipio de Cuenca, ETAPA, R.S.A. Universidad de Cuenca.
- Puy Santín, A. J. (2005). *Influencia de la temperatura en el límite líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3282>
- Quesada, S. (s/f). *Encabezado continuo: Clasificación de un suelo según SUCS*.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Departamento Suelos y Aguas - Universidad de la República, Montevideo.
- Salvador, R., & Ortiz, R. (2001). Guía Estratigráfica Internacional - Versión Abreviada . *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 14(3-4), 271-293.



- Segnini, S. (21 de Diciembre de 2018). *webdelprofesor*. Obtenido de Anexo A: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk:
http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/segninis/Docencia/ANEXO_A_Sahapiro-Wilks.pdf
- Serret Moreno-Gil, J. (1995). *Manual de estadística universitaria inductiva*. Madrid: ESIC.
- Suarez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamientos.
- Suarez, J. (s.f.). *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Técnico Profesional. (2012). *www.educarchile.cl*. Obtenido de Factores que intervienen en la inestabilidad del terreno:
http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_odas_2012/5%20Mineria/ODA%2025_Perforaciones/Factores%20que%20interviene n%20en%20la%20inestabilidad.pdf
- Van der Hammen, T. (1988). *South America. Vegetation History*. Kluwer Academic Publisher.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Estado de México: Pearson.
- Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). *Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador*.

7. ANEXOS

Anexo 1: Clasificación de materiales para subrasantes de carreteras (AASHTO)

Fuente: "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Braja M Das, pág. 36.

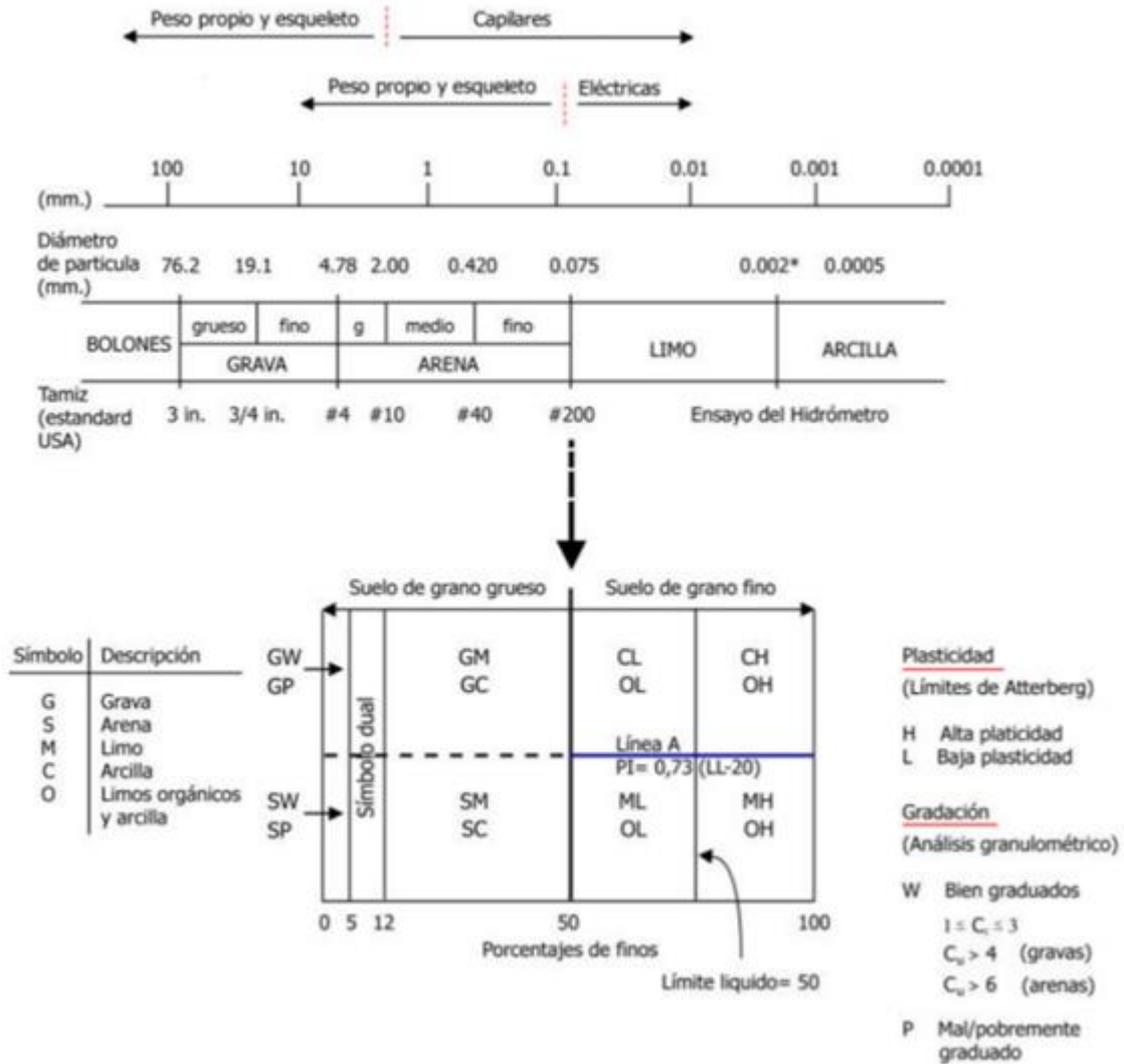
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

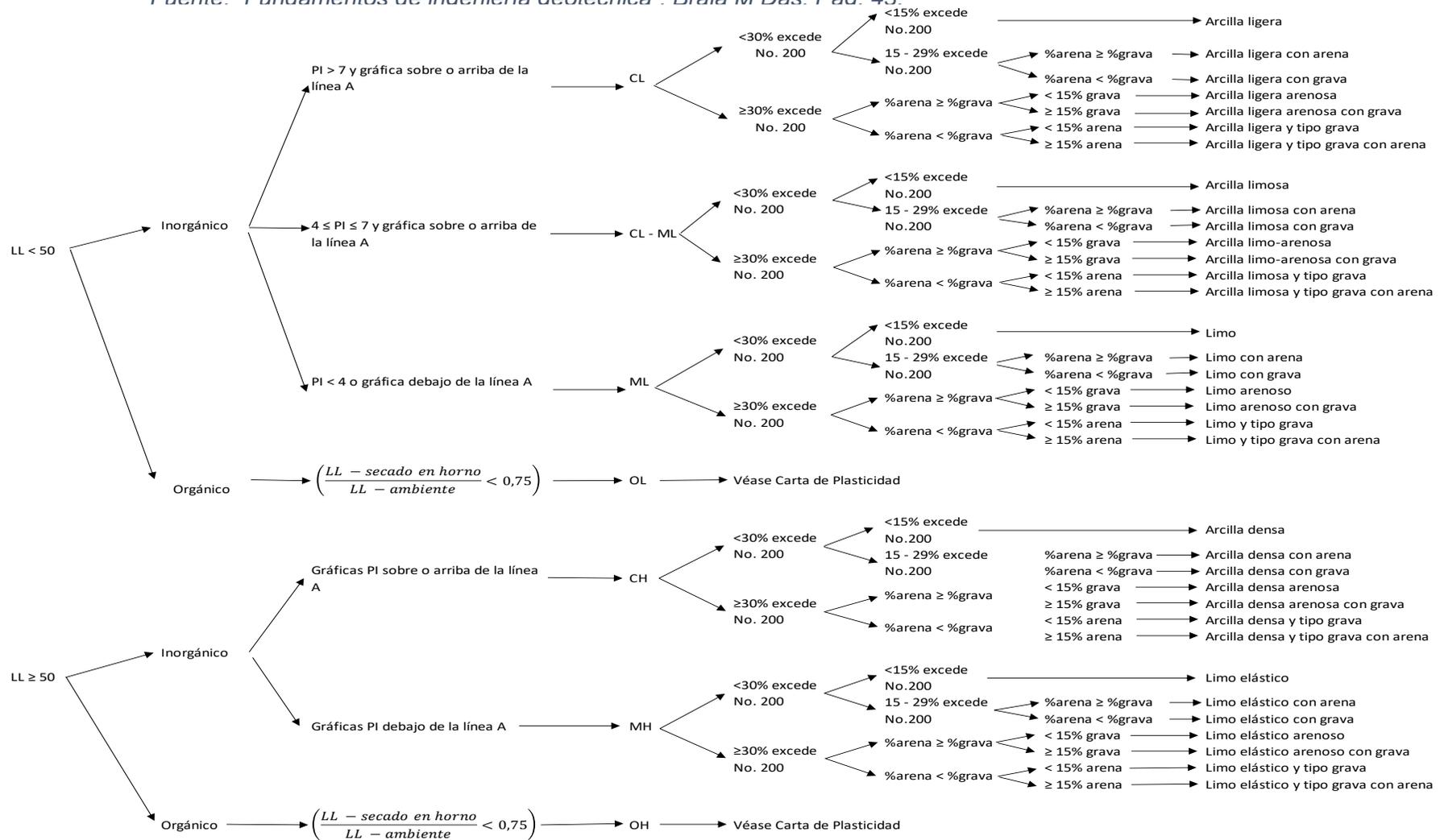
Anexo 2: Esquema simplificado del SUCS

Fuente: Clasificación de suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones. Narsilio, G. & Santamarina, C. Pág. 3.





Anexo 3: Diagrama de flujo para nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos (según ASTM,1998)
 Fuente: "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Braia M Das. Páa. 43.





Anexo 4: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos
Fuente: Elaboración Propia

ENSAYOS DE PROPIEDADES FUNDAMENTALES						ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG			
Año	Código	Peso específico húmedo	Peso específico seco	Humedad	Saturación	Año	Código	Límite Plástico	Límite Líquido
		Y	Yd	w	S			%	%
		g/cm3	g/cm3	%	%				
2005	G1	1.719	1.423	20.8	62.0	2005	G1	30.93	42.98
2005		1.767	1.330	32.9	86.0	2007	G8	11.47	38.90
2017	G2	1.841	1.389	32.5		2006	G3	7.13	39.37
			1.388	32.6					38.20
		1.810	1.353	33.8		2006	G18	37.94	66.60
			1.325	36.6		2008	G25	12.4	38.70
		1.798	1.338	34.4		2009	G26	25	38.00
		2.203	1.740	26.6		2007	G30	17.681	36.70
		1.747	1.391	25.6					32.33
				25.4					31.28
				25.0		2009	G31	19	52.00
				26.6					
		1.847	1.390	32.8					
				30.5					
				32.2					
				31.2					
2006	G3	1.790	1.266	41.4					
				42.1					
		1.890	1.341	40.9					
				40.2					
		1.700	1.185	43.4					
				41.9					
		1.830	1.267	44.4					
				43.8					
		1.880	1.495	25.8					
				28.3					
		1.870	1.493	25.2					
				24.0					
		1.850	1.478	25.2					
				23.9					
		1.760	1.296	35.8	94.3				
		1.790	1.326	35.0	96.9				
		1.800	1.297	38.8	93.6				
		1.760	1.315	33.9	91.8				
2007	G4			31.7					
				32.1					
				26.3					
				29.4					
		1.830	1.450	25.7	82.7				
2017	G6	1.659	1.309	26.7					
		1.672	1.298	28.8					
		1.670	1.258	32.8					
		1.741	1.341	29.8					
		1.740	1.293	34.6	88.8				
		1.834	1.364	34.4	94.3				
		1.841	1.389	32.5	92.4				
		1.810	1.339	35.2	92.9				
2017	G5	1.778	1.291	37.7					
		1.784	1.296	37.7					
		1.785	1.296	37.7					
2017	G7	1.620	1.364	18.8	84.0				
		1.590	1.258	26.4					
		1.350	1.067	26.6					
		1.590	1.108	43.6					
		1.660	1.251	32.7					
2008	G11	1.901	1.440	32.0					
		1.694	1.228	38.0					
		1.766	1.380	28.0					
2017	G10	1.790	1.494	19.8					
		1.870	1.540	21.4					
2006	G13	1.840	1.480	24.0	78.0				
		1.830	1.480	24.0	76.0				
		1.760	1.420	24.0	71.0				
2007	G14	1.775	1.374	29.2					
2006	G18	1.807	1.557	31.94	58.57				
		1.919	1.454						



	G26		1.61		
	G27	1.83	1.45	25.68	82.66
	G28	1.82	1.42		85.18
		1.68	1.18		89.38
		1.85	1.41		93.62
	G31	1.85	1.49	23.96	82.23
	G32	1.621	1.115	44.66	87.41



Anexo 5: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos

Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS DE EXPANSIÓN			
Año	Código	Deformación mm	% Volumen
2017	G6	0.15	
2017	G15	0.40	
2005	G16	0.50	0.80
2005	G17	0.07	0.47
2006	G3		
2017	G7	0.09	

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE			
Año	Código	Cohesión no drenada	Resistencia a compresión simple
		Cu	qu
		kg/cm2	kg/cm2
2006	G3		0.000
2006		0.850	1.700
2007	G4	0.171	0.341
2017	G2	0.474	0.948
2017		0.479	0.957
2017	G5	0.319	0.637
2017		0.270	0.540
2017	G7	0.292	0.583
2017		0.326	0.652
2017	G10		2.820
2017			2.710
2017	G6	0.441	0.882
2017			
2017	G15	0.17	0.34
		0.11	0.22

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO			
Año	Código	Arcilla	
		Ángulo de fricción	Cohesión
		ϕ	c
		°	kg/cm2
2017	G6	11.3	0.584
2017	G5	2.2	0.410
2017	G7	25.2	0.739
2005	G1	1.1	0.200
2017	G10	27.7	0.695

ENSAYOS EN CAMPO				
Año	Código	Cohesión no drenada		
		Cu		
		kg/cm2		
		Cono dinámico	Penetrómetro de bolsillo	Torvane
2017	G2	0.325	2.71	0.524
2017	G5	0.225	1.41	0.260
2017	G6	0.63	0.45	0.370
2017	G7	0.12	3.97	0.135
2017	G10	0.732	2.77	0.294
2017	G15	0.225	1.27	0.36

ENSAYOS TRIAXIALES			
Año	Código	Ángulo de fricción	Cohesión
		ϕ	c
		°	kg/cm2
2017	G2	3.9	0.361
2006	G3		
2017	G5	5.4	0.307
2017	G6	1.2	0.506
	G9	8.0	0.21
2008	G11	9.4	0.408
2005	G12	8.0	0.3
2005		6.0	
2017	G15	8.5	0.484



Anexo 6: Información obtenida por la Dirección de Gestión de Riesgos (Ensayo SPT)

Fuente: (Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, 2017)

DATOS DE EXPLORACIÓN (Reporte ensayo SPT)

Estación 1														
Coordenadas UTM: 718448 E 9676583 S				Ubicación: Parroquia Turi- Sector Carmen de Guzho										
Cota: 2579 m.s.n.m.				Nivel freático: --- m										
Cota m.s.n.m.	Profundidad m	SUCS	AASHTO	LL %	LP %	IP %	H %	% Retenido				N	N60	N60'
								# 4	# 10	# 40	# 200			
2578	1	SM	A-6	67,1	40,3	26,8	38	11	22	37	54	8	6	14
2577	2	MH	A-6	56,9	43,7	13,2	30,5	3	8	16	38	20	15	25
2576	3	MH	A-6	63,4	35,5	27,9	28,6	0	6	28	48	68	58	78
2575	4	ML	A-6	44,2	32,1	12,1	21,8	0	2	5	32	95	81	95
Estación 2														
Coordenadas UTM: 718459 E 9676564 S				Ubicación: Parroquia Turi- Sector Carmen de Guzho										
Cota: 2584 m.s.n.m.				Nivel freático: --- m										
Cota m.s.n.m.	Profundidad m	SUCS	AASHTO	LL %	LP %	IP %	H %	% Retenido				N	N60	N60'
								# 4	# 10	# 40	# 200			
2583	1	CH	A-6	59,3	29,9	29,4	27,5	1	7	23	41	12	9	21
2582	2	SM	A-2-6	55	32,4	22,6	18,1	4	10	50	73	12	9	15
2581	3	MH	A-6	64	43,3	20,7	27,1	6	12	29	47	11	9	12
2580	4	SM	A-6	63	37	26	22,2	3	12	35	62	20	17	20
2579	5	SM	A-2-6	51	30	21	20,1	0	4	38	71	43	41	43
2578	6	SP	A-2-6	51,4	33,6	17,8	20,8	1	5	12	96	37	35	34
2577	7	SM	A-6	52,6	37,4	15,2	20,7	3	8	30	60	65	62	56
2576	8	SM	A-2-6	46,9	30,8	16,1	21,5	0	1	32	67	66	63	53
2575	9	MH	A-6	56,7	38	18,7	28	0	4	18	47	100	100	81
Estación 3														
Coordenadas UTM: 718445 E 9676598 S				Ubicación: Parroquia Turi- Sector Carmen de Guzho										
Cota: 2575 m.s.n.m.				Nivel freático: --- m										



Cota m.s.n.m.	Profundidad m	SUCS	AASHTO	LL %	LP %	IP %	H %	% Retenido				N	N60	N60'
								# 4	# 10	# 40	# 200			
2574	1	MH	A-6	58,9	31	27,9	8,8	0	2	16	36	18	14	32
2573	2	SC	A-2-6	48,7	23,4	25,3	9,1	23	47	76	88	8	6	10
2572	3	SC	A-2-6	50,7	24,2	23,5	30	9	17	46	70	25	21	29
2571	4	SM	A-2-6	51	35	16	18,8	5	14	50	76	25	21	25
2570	5	SM	A-6	62,6	40,9	21,7	32,7	2	12	36	55	56	53	56
2569	6	MH	A-6	69	44,5	24,5	33,5	2	19	41	41	71	67	65
2568	7	SM	A-6	65,3	37,7	27,6	36,3	10	20	36	54	61	58	52
2567	8	MH	A-6	68,2	40,2	28	34,4	2	5	19	37	100	100	100

Estación 4

Coordenadas UTM:	718201	E	9676190	S	Ubicación:	Parroquia Turi
Cota:	2596	m.s.n.m.			Nivel freático:	--- m

Cota m.s.n.m.	Profundidad m	SUCS	AASHTO	LL %	LP %	IP %	H %	% Retenido				N	N60	N60'
								# 4	# 10	# 40	# 200			
2595	1	SM	A-6	59,5	42,7	16,8	47,3	6	14	35	65	18	14	33
2594	2	SM	A-2-6	71,2	50,3	20,9	46,6	30	48	69	79	26	20	34
2593	3	SM	A-1-b	NP	NP	NP	40,5	24	38	57	76	41	33	45
2592	4	SM	A-2-6	60,3	39,1	21,2	43,3	0	15	50	70	18	16	19
2591	5	SW-SM	A-2-6	50,1	34,4	15,7	41,7	33	53	74	92	24	22	23
2590	6	SP	A-3	NP	NP	NP	26	0	6	18	100	32	30	29
2589	7	SP	A-2-6	46,2	36,1	10,1	31,2	6	26	56	100	34	33	30
2588	8	GP	A-2-6	45	34,7	10,3	18,2	54	76	88	100	81	80	67
2587	9	SP	A-2-6	59,8	46	13,8	30,3	16	38	74	100	38	38	30
2586	10	SM	A-6	52,3	37,3	15	29,2	3	8	17	50	70	70	52
2585	11	SM	A-6	49,2	32,6	16,6	27,2	0	0	4	51	56	56	40
2584	12	SM	A-6	54,1	39	15,1	25,2	3	7	24	55	77	77	52
2583	13	SM	A-6	50,3	38,1	12,2	26,4	1	7	30	56	100	100	78

Estación 5

Coordenadas UTM:	718952	E	9676556	S	Ubicación:	Parroquia Turi
Cota:	2603	m.s.n.m.			Nivel freático:	--- m



Cota m.s.n.m.	Profundidad m	SUCS	AASHTO	LL %	LP %	IP %	H %	% Retenido				N	N60	N60'
								# 4	# 10	# 40	# 200			
2595	1	CL	A-6	41,4	24,7	16,7	15,9	4	7	20	38	47	35	83
2594	2	CH	A-6	52,3	28,5	23,8	20,6	7	11	22	40	55	41	69
2593	3	ML	A-6	49	33	16	21	9	14	27	50	70	57	78
2592	4	SM	A-2-6	45	29,3	15,7	25,4	10	19	40	69	52	45	53
2591	5	SM	A-2-6	40,6	28,8	11,8	23,7	11	19	45	78	46	42	44
2590	6	SM	A-2-5	37,5	29,3	8,2	18,3	3	8	45	83	45	42	41
2589	7	SM	A-2-5	0	0	0	24,3	11	20	46	77	63	61	54
2588	8	SM	A-2-5	0	0	0	24,9	10	18	42	72	67	66	55
2587	9	SM	A-6	41,4	31	10,4	27,2	7	16	33	61	74	74	58
2586	10	SM	A-6	53,3	35	18,3	37,3	6	11	27	53	7	7	5
2585	11	SM	A-2-6	51,3	35,3	16	25,5	16	23	40	65	38	38	27

Anexo 7: Información geotécnica de la Calicata 1

Fuente: (Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, 2017)

MONOGRAFÍA DE CALICATAS							
POZO EXPLORACIÓN: PCA-01		Ubicado en la margen derecha del río Tarqui para caracterización de los suelos laterales al río.					
<i>Elaboración Y Actualización Del Mapa De Amenaza Por Fenómenos De Inestabilidad De Terrenos E Inundaciones En Un Area De 3.86 Km2 Que Involucra Parte De Las Parroquias Turi, Yanuncay Y Huayna Capac</i>							
Proyecto:		Coordenadas UTM: 718565 E 9676863 N		Datum: WGS84	Tipo de Excavación: Manual		
Altitud: 2561 m s.n.m.	Profundidad Calicata: 2.10 m	Nivel Freático: 2.00 m		Muestras Extraídas: 2			
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN DEL SUELO						
0.00	Capa vegetal con raíces				Foto 1 y 2: Indica los materiales encontrados en el PCA-01		
0.50							
	Material arcilloso de color café con una plasticidad media, mezclado con un contenido considerable de arenas, un contenido bajo de gravas, y presenta una consistencia media.						
	Muestra 1		Clasificación				
	LL:	46.8%	SUCS:	CL		Grava:	3%
	LP:	26.2%	AASTHO:	A-7-5		Arena:	29%
	IP:	20.6%				Finos:	68%
	% Humedad:		21.2%				
1.60							
	Material areno arcilloso de baja plasticidad, con un contenido nulo de gravas y presenta consistencia media.						
	Muestra 2		Clasificación				
	LL:	37.4%	SUCS:	SC		Grava:	0%
	LP:	23.5%	AASTHO:	A-2-6		Arena:	71%
	IP:	13.9%				Finos:	29%
	% Humedad:		32.1%				
2.10							

Anexo 8: Información geotécnica de la Calicata 2

Fuente: (Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, 2017)

cuenco GAD MUNICIPAL		GESTIÓN DE RIESGOS DIRECCIÓN MUNICIPAL		RASTER INGENIERIA DE PROYECTOS																													
MONOGRAFÍA DE CALICATAS																																	
POZO EXPLORACIÓN: PCA-02			Ubicado en la margen derecha del río Tarqui para caracterización de los suelos laterales al río.																														
Proyecto: <i>Elaboración Y Actualización Del Mapa De Amenaza Por Fenómenos De Inestabilidad De Terrenos E Inundaciones En Un Area De 3.86 Km2 Que Involucra Parte De Las Parroquias Turi, Yanuncay Y Huayna Capac</i>																																	
Coordenadas UTM: 718680 E 9676818 N		Datum: WGS84		Tipo de Excavación: Manual																													
Altitud: 2560 m s.n.m.		Profundidad Calicata: 2.20		Nivel Freático: 2.10 m																													
Muestras Extraídas: 2																																	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN DEL SUELO				Foto 1 y 2: Indica los materiales encontrados en el PCA-02																												
0.00	Capa vegetal con raíces																																
0.50																																	
1.70	Material areno arcilloso de color café claro con una plasticidad baja y consistencia media.																																
	<table border="0"> <tr> <td>Muestra 1</td> <td colspan="2">Clasificación</td> <td colspan="2">Gradación:</td> </tr> <tr> <td>LL:</td> <td>39.1%</td> <td>SUCS:</td> <td>SC</td> <td>Grava:</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>LP:</td> <td>24.3%</td> <td>AASTHO:</td> <td>A-6</td> <td>Arena:</td> <td>51%</td> </tr> <tr> <td>IP:</td> <td>14.8%</td> <td></td> <td></td> <td>Finos:</td> <td>49%</td> </tr> <tr> <td>% Humedad:</td> <td>19.1%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Muestra 1	Clasificación		Gradación:		LL:	39.1%	SUCS:	SC	Grava:	0%	LP:	24.3%	AASTHO:	A-6	Arena:	51%	IP:	14.8%			Finos:	49%	% Humedad:	19.1%		
Muestra 1	Clasificación		Gradación:																														
LL:	39.1%	SUCS:	SC	Grava:	0%																												
LP:	24.3%	AASTHO:	A-6	Arena:	51%																												
IP:	14.8%			Finos:	49%																												
% Humedad:	19.1%																																
2.20	Material areno limoso de color café, de plasticidad baja y consistencia media, con un contenido bajo de gravas.																																
	<table border="0"> <tr> <td>Muestra 2</td> <td colspan="2">Clasificación</td> <td colspan="2">Gradación:</td> </tr> <tr> <td>LL:</td> <td>NP</td> <td>SUCS:</td> <td>SM</td> <td>Grava:</td> <td>6%</td> </tr> <tr> <td>LP:</td> <td>NP</td> <td>AASTHO:</td> <td>A-2-4</td> <td>Arena:</td> <td>78%</td> </tr> <tr> <td>IP:</td> <td>NP</td> <td></td> <td></td> <td>Finos:</td> <td>16%</td> </tr> <tr> <td>% Humedad:</td> <td>30.5%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Muestra 2	Clasificación		Gradación:		LL:	NP	SUCS:	SM	Grava:	6%	LP:	NP	AASTHO:	A-2-4	Arena:	78%	IP:	NP			Finos:	16%	% Humedad:	30.5%		
Muestra 2	Clasificación		Gradación:																														
LL:	NP	SUCS:	SM	Grava:	6%																												
LP:	NP	AASTHO:	A-2-4	Arena:	78%																												
IP:	NP			Finos:	16%																												
% Humedad:	30.5%																																



Anexo 9: Tabulación de datos (propiedades físicas) – cátedra de Mecánica de Suelos

Fuente: Elaboración Propia

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO						ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG			
Año	Código	Peso específico o húmedo	Peso específico o seco	Humedad	Saturación	Año	Código	Límite Plástico	Límite Líquido
		Y	Yd	w	S			%	%
		gr/cm3	gr/cm3	%	%				
2018	GB-1	1,6993		26,49	72,75	2016	GB-7	34,4	75,30
2017	GB-2			13,51		2006	GB-10	24,35	92,81
				13,91					
2017	GB-3	1,830		32,99					
		1,830		33,81					
		1,678		32,60					
		1,659		33,33					
2006	GB-5			41,64					
2008	GB-6	1,55	1,32	17,3	44				
		1,58	1,32	20	52				
2017	GB-4	1,759		43,944	99,39				
		1,78		43,992	101,602				
		1,691		20,45	35,372				
		1,993		21,893	52,116				
2007	GB-10	1,55	1,32	17,3	44				
		1,58	1,32	20	52				
2007	GB-11	1,78	1,31	36,55					
		1,73	1,26	37,95					
2006	GB-14	1,847	1,371	34,73					
2005	GB-15	1,76	1,28	37,64	93,16				
2005	GB-17	1,802	1,372	31,32	88,406				
2016	GB-18	1,63			69,9				
		1,71			75,39				
2016	GB-20	2,15	1,81						
		1,95	1,61						
2006	GB-5	1,86	1,414		100				
		1,971	1,546						
		1,86	1,429						
2016	GB-21	2,05		20,52					
		1,89		29,02					
		1,55		35,15					
		1,75		22					
		1,75		22					



		1,62		31	
2017	GB-18	1,889		32,939	94,886
		1,811		32,793	94,701
		1,8		31,283	92,534
2006	GB-22	1,959		4,95	33,8
2017	GB-3	1,71	1,21	40,85	93,88
2016	GB-21	2,05	1,68	21,85	98



Anexo 10: Tabulación de datos (propiedades mecánicas) – cátedra de Mecánica de suelos

Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE EXPANSIÓN			
Año	Código	Deformación	Expansión
		mm	%
2017	GB-4	0,152	0,76
2006	GB-14	0,128	0,50
2016	GB-20	0,080	4,26
2017	GB-18	0,152	0,76
2017	GB-3	0,360	
2017	GB-2	1,900	
2016	GB-21		0,60
ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE			
Año	Código	Cohesión no drenada	Resistencia a compresión simple
		Cu	qu
		kg/cm2	kg/cm2
2017	GB-8	0,496	
2017	GB-4	0,317	0,634
2017		0,322	0,644
2007	GB-11	0,430	0,860
2007		0,340	0,680
2007	GB-12	0,315	0,630
2007		0,345	0,690
2005	GB-15	0,525	1,050
2005	GB-16	0,521	1,042
2005		0,557	1,114
2005	GB-17	0,116	0,232
2005		0,142	0,283
2017	GB-19	0,233	0,465
2016	GB-20	0,056	0,111
2016	GB-21	0,546	1,092

ENSAYO CORTE DIRECTO		
Código	Ángulo de fricción	Cohesión
	ϕ	c
	°	kg/cm2
GB-4	2,70	0,156
GB-2	1,96	0,778
GB-19	17,00	35,000
GB-20	13,88	0,245
GB-21	4,72	0,530
GB-22	51,67	0,019
ENSAYO TRIAXIAL		
Código	Ángulo de fricción	Cohesión
	ϕ	c
	°	kg/cm2
GB-2	8,0	1,300
GB-3	-	4,970
GB-4	-	0,362
	5,0	0,430
GB-13	5,0	0,165
GB-20	8,0	1,360
	11,0	0,820
GB-21	37,1	0,346
GB-18	23,0	0,437

ENSAYOS EN CAMPO DE RESISTENCIA					
Año	Código	Cu kg/cm2			
		Cono dinámico		Penetrómetro de bolsillo	Torvane
		NSPT	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
2017	GB-4	4,67	0,25 - 0,5	1,1	3,02
2016	GB-20	1,79	0,12 - 0,25	2,2	3,83
2016	GB-21	1,62	0,5 - 1,2	1,1	2,35
2017	GB-18	1,40	0,5 - 1,2	2,7	0,82
2017	GB-2	6,00	0,25 - 0,5	1,4	
2017	GB-3	5,00	0,26 - 0,5	1,5	0,38



Anexo 11: Propiedades fundamentales pozos de exploración - Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

Pozo	Prof.	Humedad	Densidad húmeda	Densidad seca	Contenido materia orgánica
	m	%	g/cm ³	g/cm ³	%
1	1	22.7	2.059	1.678	5.05
	1.8	25.9	2.049	1.628	5.04
2	1	18.4	1.786	1.509	8.09
	1.3	30.5	1.886	1.445	10.45
3	1.8	36.5	1.686	1.235	9.19
	1.9	45.9	1.855	1.271	10.19
4	1	11.8	1.978	1.770	5.21
	1.8	17.2	1.890	1.611	3.9
5	1	29.5	1.748	1.350	8.96
	1.4	29.6	1.901	1.466	6.39
6	0.9-1	20.3	1.804	1.500	4.98
	1	21.6	1.964	1.615	5.11
	2	31.4	1.994	1.518	5.47
7	0.5	11.9	2.004	1.790	7.14



Anexo 12: Clasificación en pozos de exploración – Sector Carmen de Guzho

Fuente: *Elaboración propia*

Pozo	Prof.	Límite plástico	Límite líquido orgánico	Índice de plasticidad	Porcentaje que pasa (%)				Clasificación			
	m	%	%	%	#4	#10	#40	#200	AASHTO		SUCS	
1	1	34	54	20	100.0%	99.8%	94.4%	79.1%	A-7-5	18	MH	Limo elástico con arena
	1.8	33	59	26	100.0%	99.7%	95.0%	82.6%	A-7-5	25	MH	Limo elástico con arena
2	1	31	60	29	100.0%	99.6%	92.1%	77.2%	A-7-5	24	OH	Limo orgánico con arena
	1.3	28	53	25	100.0%	100.0%	93.9%	78.0%	A-7-6	21	CH	Arcilla densa con arena
3	1.8	37	55	18	100.0%	99.9%	97.1%	87.7%	A-7-5	20	MH	Limo elástico
	1.9	31	64	33	100.0%	100.0%	97.1%	84.2%	A-7-5	32	CH	Arcilla densa con arena
4	1	30	48	18	100.0%	99.5%	90.3%	65.6%	A-7-5	11	ML	Limo arenoso
	1.8	32	46	14	99.8%	99.1%	87.8%	64.3%	A-7-5	9	ML	Limo arenoso
5	1	33	75	42	100.0%	100.0%	99.0%	93.1%	A-7-5	47	CH	Arcilla densa
	1.4	24	47	23	100.0%	99.9%	97.7%	74.1%	A-7-6	17	CL	Arcilla limosa con arena
6	0.9-1	30	64	34	100.0%	99.3%	89.6%	74.7%	A-7-5	27	OH	Limo orgánico con arena
	1	26	48	22	100.0%	99.7%	94.3%	81.0%	A-7-6	19	OL	Arcilla orgánica con arena
	2	28	55	27	100.0%	99.8%	95.4%	84.5%	A-7-6	25	CH	Arcilla densa con arena
7	0.5	30	43	13	99.7%	99.5%	93.7%	76.1%	A-7-6	11	ML	Limo con arena



Anexo 13: Propiedades fundamentales pozos de exploración – Sector Baños

Fuente: *Elaboración propia*

Pozo	Profundidad	Humedad	Densidad húmeda	Densidad seca	Contenido materia orgánica
	m	%	g/cm ³	g/cm ³	%
1	0.5	29.6	1.819	1.404	4.76
	1	21.2	1.689	1.394	3.46
2	0.8	17.5	1.843	1.569	4.62
3	0.8	19.9	1.370	1.193	11.06

Anexo 14: Clasificación en pozos de exploración – Sector Baños

Fuente: *Elaboración propia*

Pozo	Prof.	Límite plástico	Límite líquido orgánico	Índice de plasticidad	Porcentaje que pasa (%)				Clasificación			
	m	%	%	%	#4	#10	#40	#200	AASHTO		SUCS	
1	0.5	41	87	46	100.0%	100.0%	99.4%	94.7%	A-7-5	55	OL	Limo orgánico
	1	24	65	41	100.0%	99.8%	92.7%	69.4%	A-7-5	28	CH	Arcilla densa con arena
2	0.8	28	57	29	99.9%	99.0%	82.7%	66.5%	A-7-6	19	CH	Arcilla densa con arena
3	0.8	34	55	21	100.0%	99.9%	92.3%	83.0%	A-7-5	21	MH	Limo elástico con arena



Anexo 15: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.10m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	1				
Profundidad:	1.10 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718380 9676476				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	105.3 g				
Perdida por Lavado	394.7 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.4	0.4	0.1	99.9
10	2.000	0.4	0.8	0.2	99.8
16	1.190	2.3	3.1	0.6	99.4
30	0.590	11.0	14.1	2.8	97.2
40	0.420	14.1	28.2	5.6	94.4
50	0.297	15.5	43.7	8.7	91.3
100	0.149	34.6	78.3	15.7	84.3
200	0.074	26.4	104.7	20.9	79.1
Fondo + lavado		395.3	500.0	100.0	
Fondo		0.6			
Masa total		500.0			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	54	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	34	
Arena = 20.9		Índice de Plasticidad:	IP =	20	
Finos = 79.1		Contenido de Humedad:	Wn =	22.7	
		Grado de Consistencia:	Kw =	1.56	
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	MH - Limos elástico con arena				
AASHTO:	A-7-5 (18)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
31	44.9	36.3	76.9	71.2	920	900
10	44.9	42.7	84.0	77.1	923	900
HUMEDAD (%)		22.7	γ (gr/cm3)	2.059	γd (gr/cm3)	1.678

LÍMITE LÍQUIDO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
32	35	59.9	55.4	46.9	52.1	54
56	29	57.1	52.3	43.3	53.0	
42	16	51.2	46.6	38.4	57.1	
70	14	56.5	51.7	43.4	57.2	
LÍMITE PLÁSTICO						
42		47.9	47.6	46.6	35.0	34
27		43.1	42.8	41.8	30.0	
17		48.9	48.5	47.4	38.1	

HUMEDAD vs No. GOLPES

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
15	57.2
20	57.1
25	53.0
35	52.1

CURVA GRANULOMÉTRICA

Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
100.00	100.0
75.00	100.0
60.00	100.0
47.50	100.0
37.50	100.0
30.00	100.0
25.00	100.0
20.00	100.0
15.00	100.0
12.50	100.0
10.00	100.0
7.50	100.0
6.00	100.0
4.75	100.0
3.75	100.0
3.00	100.0
2.50	100.0
2.00	100.0
1.50	100.0
1.25	100.0
1.00	100.0
0.75	100.0
0.60	100.0
0.475	100.0
0.375	100.0
0.300	100.0
0.250	100.0
0.200	100.0
0.150	100.0
0.125	100.0
0.100	100.0
0.075	79.1



Anexo 16: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	2				
Profundidad:	1.80 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718380 9676476				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	87.8 g				
Perdida por Lavado	412.2 g				
Porcentaje de error	0.2 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	1.1	1.1	0.2	99.8
10	2.000	0.4	1.5	0.3	99.7
16	1.190	2.4	3.9	0.8	99.2
30	0.590	10.1	14.0	2.8	97.2
40	0.420	10.8	24.8	5.0	95.0
50	0.297	12.5	37.3	7.5	92.5
100	0.149	28.4	65.7	13.2	86.8
200	0.074	21.0	86.7	17.4	82.6
Fondo + lavado		412.5	499.2	100.0	
Fondo		0.3			
Masa total		499.2			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	59	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	33	
Arena = 17.4		Índice de Plasticidad:	IP =	26	
Finos = 82.6		Contenido de Humedad:	Wn =	25.9	
		Grado de Consistencia:	Kw =	1.27	
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	MH - Limos elástico con arena				
AASHTO:	A-7-5 (25)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
25A	5.3	34.2	36.3	30.3	918	900
21	8.4	22.4	28.0	24.0	913	900
HUMEDAD (%)		25.9	γ (gr/cm3)	2.049	γd (gr/cm3)	1.628

MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Ensayo: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Norma: ASTM D 4318-17						
LÍMITE LÍQUIDO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
4	45	52.4	47.8	39.2	53.8	59
M1	29	58.3	53.5	45.1	56.6	
24	23	54.3	49.6	41.8	59.9	
74	14	56.1	52.1	45.5	61.8	
LÍMITE PLÁSTICO						
31		46.2	45.8	44.6	29.2	33
36		42.1	41.7	40.6	36.4	
168		47.8	47.3	46.0	34.6	

HUMEDAD vs No. GOLPES

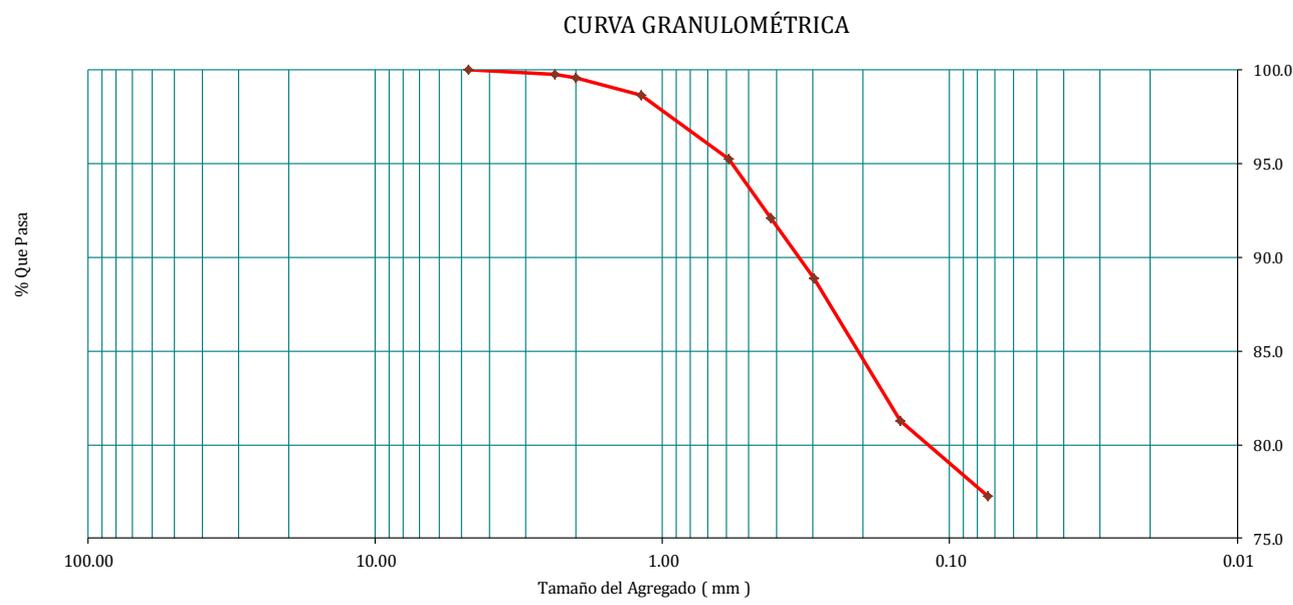
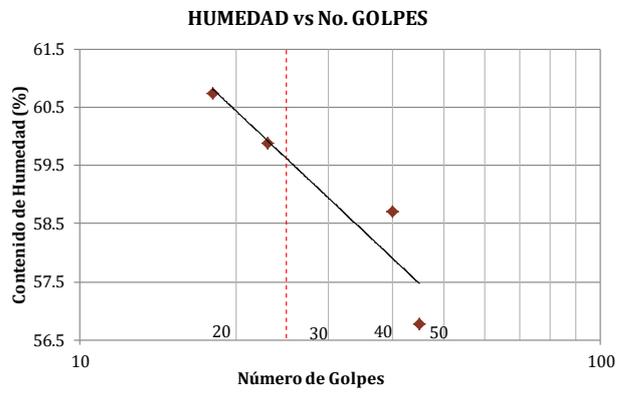
CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo 17: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA										
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES	Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS							
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA	Norma :	ASTM D 4531-15							
Calicata No :	1	DENSIDAD DE SUELOS								
Profundidad:	1.00 m	N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)		
Material :	Suelo Natural	19	8.26	34.6	39.1	34.8	920	900		
Lugar de Extracción :	Carmen de Guzho	54	45.8	22.2	64.6	62.0	915	900		
Coordenadas:	718353 9676479	HUMEDAD (%)		18.4	γ (gr/cm3)	1.786	γd (gr/cm3)	1.509		
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO	Ensayo :	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD							
Norma :	ASTM D 422-63	Norma :	ASTM D 4318-17							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO		LÍMITE LÍQUIDO								
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0	g	N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	
Peso de la Muestra Después del Lavado	114.2	g	135	45	52.3	47.9	40.1	56.8	60	
Perdida por Lavado	385.8	g	158	40	61.3	56.8	49.0	58.7		
Porcentaje de error	0.0	%	62	23	55.3	50.4	42.3	59.9		
			41	18	56.3	52.2	45.5	60.7		
RESUMEN		LÍMITE PLÁSTICO								
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		% Que Pasa					
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0					
8	2.380	1.3	1.3	0.3	99.7	29	39.1	38.9	38.2	35.7
10	2.000	0.9	2.2	0.4	99.6	16	40.5	40.2	39.1	28.6
16	1.190	4.4	6.6	1.3	98.7	54	47.1	46.9	46.0	29.4
30	0.590	17.3	23.9	4.8	95.2					
40	0.420	15.5	39.4	7.9	92.1					
50	0.297	16.2	55.6	11.1	88.9					
100	0.149	37.9	93.5	18.7	81.3					
200	0.074	20.4	113.9	22.8	77.2					
Fondo + lavado		386.2	500.1	100.0						
Fondo		0.4								
Masa total		500.1								
RESUMEN		Límite Líquido:		LL =	60					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Plástico:		LP =	31					
Grava = 0.0		Índice de Plasticidad:		IP =	29					
Arena = 22.8		Contenido de Humedad:		Wn =	18.4					
Finos = 77.2		Grado de Consistencia:		Kw =	1.43					
		Grado de Consistencia:		Media, Sólida						
CLASIFICACION DE SUELOS										
SUCS :	OH -Limo orgánico con arena									
AASHTO :	A-7-5 (24)									

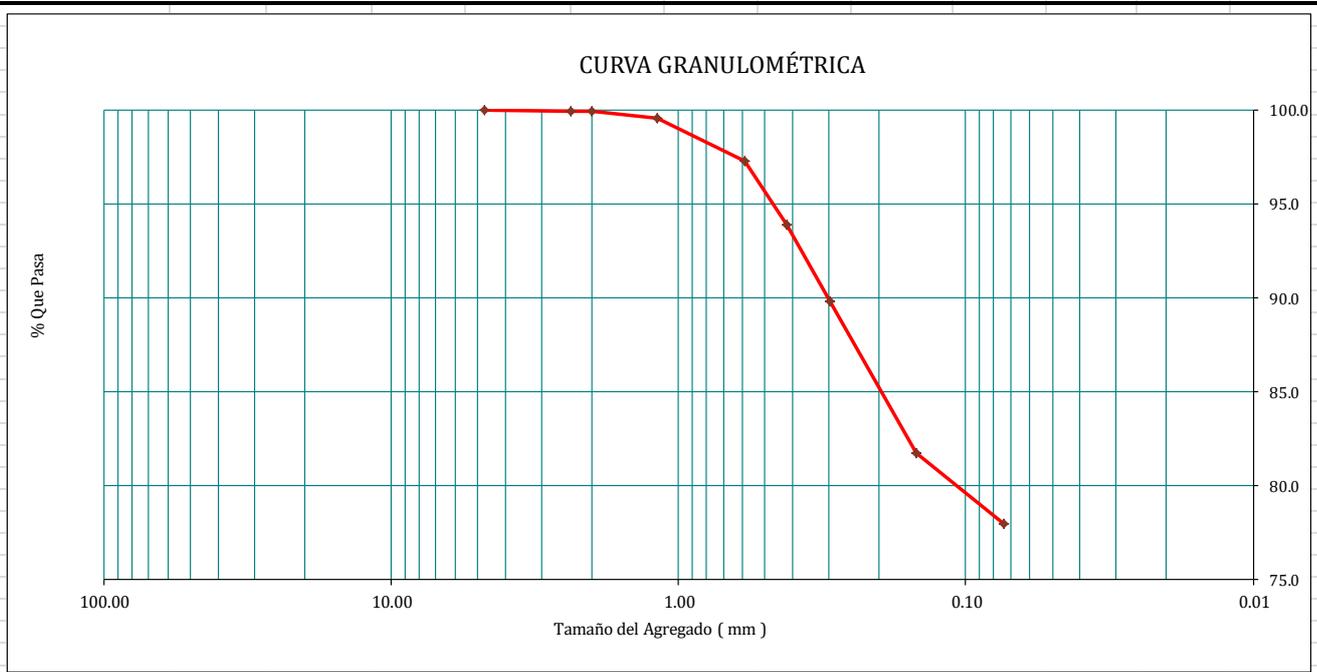
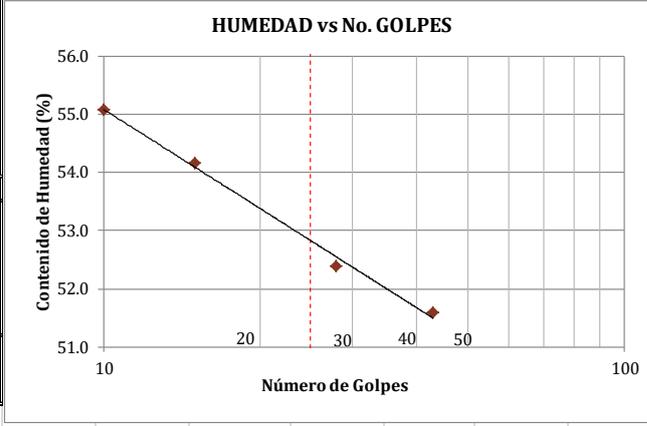




Anexo 18: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 1.30m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA						
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES					
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA					
Calicata No.:	2					
Profundidad:	1.30 m					
Material:	Suelo Natural					
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho					
Coordenadas:	718353 9676479					
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Norma:	ASTM D 422-63					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO						
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g					
Peso de la Muestra Después del Lavado	110.1 g					
Perdida por Lavado	389.9 g					
Porcentaje de error	0.1 %					
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa	
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	
8	2.380	0.2	0.2	0.0	100.0	
10	2.000	0.0	0.2	0.0	100.0	
16	1.190	1.9	2.1	0.4	99.6	
30	0.590	11.4	13.5	2.7	97.3	
40	0.420	16.9	30.4	6.1	93.9	
50	0.297	20.5	50.9	10.2	89.8	
100	0.149	40.4	91.3	18.2	81.8	
200	0.074	18.8	110.1	22.0	78.0	
Fondo + lavado		390.2	500.3	100.0		
Fondo		0.3				
Masa total		500.3				
RESUMEN						
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	53		
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	28		
Arena = 22.0		Índice de Plasticidad:	IP =	25		
Finos = 78.0		Contenido de Humedad:	Wn =	30.5		
		Grado de Consistencia:	Kw =	0.90		
		Grado de Consistencia:	Plástica			
CLASIFICACION DE SUELOS						
SUCS:	CH - Arcilla densa con arena					
AASHTO:	A-7-6 (21)					
Ensayo:	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD					
Norma:	ASTM D 4318-17					
LÍMITE LÍQUIDO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
16	43	54.9	50.9	43.0	51.6	53
3	28	54.1	50.8	44.5	52.4	
168	15	58.1	54.8	48.8	54.2	
31	10	55.0	51.2	44.3	55.1	
LÍMITE PLÁSTICO						
		41.0	40.8	40.1	28.6	28
		41.5	40.2	35.1	26.7	
		39.3	39.1	38.6	27.3	





Anexo 19: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	1				
Profundidad:	1.80 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718265 9676540				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	72.6 g				
Perdida por Lavado	427.4 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.2	0.2	0.0	100.0
10	2.000	0.4	0.6	0.1	99.9
16	1.190	1.3	1.9	0.4	99.6
30	0.590	5.7	7.6	1.5	98.5
40	0.420	6.8	14.4	2.9	97.1
50	0.297	10.4	24.8	5.0	95.0
100	0.149	27.6	52.4	10.5	89.5
200	0.074	9.2	61.6	12.3	87.7
Fondo + lavado		438.4	500.0	100.0	
Fondo		11.0			
Masa total		500.0			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	55	
Grava =		Límite Plástico:	LP =	37	
Arena =		Índice de Plasticidad:	IP =	18	
Finos =		Contenido de Humedad:	Wn =	36.5	
		Grado de Consistencia:	Kw =	1.03	
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	MH - Limo elástico				
AASHTO:	A-7-5 (20)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
18	40.7	40.3	73.6	65.1	928	
4	40.7	46.3	81.0	70.5	930	
HUMEDAD (%)		36.5	γ (gr/cm3)	1.686	γd (gr/cm3)	1.235

MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Ensayo: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Norma: ASTM D 4318-17						
LÍMITE LÍQUIDO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
29	28	53.1	48.7	40.5	54.6	55
41	26	52.2	47.6	39.4	55.5	
3	17	54.8	50.4	42.8	57.2	
97	12	55.7	52.1	45.9	58.5	
LÍMITE PLÁSTICO						
34		43.3	43.0	42.0	36.8	37
190		50.1	49.8	49.0	37.5	
96		44.1	43.8	42.8	36.8	



Anexo 20: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 1.90m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	2				
Profundidad:	1.90 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718265 9676540				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	79.6 g				
Perdida por Lavado	420.4 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.2	0.2	0.0	100.0
10	2.000	0.0	0.2	0.0	100.0
16	1.190	1.1	1.3	0.3	99.7
30	0.590	5.0	6.3	1.3	98.7
40	0.420	8.4	14.7	2.9	97.1
50	0.297	12.8	27.5	5.5	94.5
100	0.149	32.1	59.6	11.9	88.1
200	0.074	19.3	78.9	15.8	84.2
Fondo + lavado		421.1	500.0	100.0	
Fondo		0.7			
Masa total		500.0			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA	Límite Líquido:	LL =	64		
Grava =	Límite Plástico:	LP =	31		
Arena =	Índice de Plasticidad:	IP =	33		
Finos =	Contenido de Humedad:	Wn =	45.9		
	Grado de Consistencia:	Kw =	0.55		
	Grado de Consistencia:		Suave		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	CH - Arcilla densa con arena				
AASHTO:	A-7-5 (32)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
35	39.3	19.6	56.7	51.9	811	800
101	43.9	21.9	63.3	57.9	813	800
HUMEDAD (%)		45.9	γ (gr/cm3)	1.855	γd (gr/cm3)	1.271

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Norma: ASTM D 4318-17						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
103	33	55.5	51.5	44.9	61.4	64
34	28	58.7	53.4	44.9	62.4	
42	24	56.9	51.8	44.0	64.7	
135	18	51.8	47.4	40.8	65.9	
LÍMITE PLÁSTICO						
41		45.2	44.9	43.9	30.0	31
135		41.7	41.5	40.5	26.3	
62		45.5	45.2	44.4	37.5	

HUMEDAD vs No. GOLPES

CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo 21: Clasificación del suelo- Pozo 4- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	1				
Profundidad:	1.00 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718286 9676408				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	172.7 g				
Perdida por Lavado	327.3 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	1.6	1.6	0.3	99.7
10	2.000	0.9	2.5	0.5	99.5
16	1.190	6.4	8.9	1.8	98.2
30	0.590	20.9	29.8	6.0	94.0
40	0.420	18.7	48.5	9.7	90.3
50	0.297	22.0	70.5	14.1	85.9
100	0.149	61.8	132.3	26.5	73.5
200	0.074	39.6	171.9	34.4	65.6
Fondo + lavado		328.1	500.0	100.0	
Fondo		0.8			
Masa total		500.0			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	48	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	30	
Arena = 34.4		Índice de Plasticidad:	IP =	18	
Finos = 65.6		Contenido de Humedad:	Wn =	11.8	
		Grado de Consistencia:	Kw =	2.01	
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	ML -Limo arenoso				
AASHTO:	A-7-5 (11)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo:	DENSIDAD DE SUELOS					
Norma:	ASTM D 4531-15					
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
62	44.6	46.5	82.2	78.4	930	930
135	40.5	24.5	63.0	60.7	913	900
HUMEDAD (%)		11.8	γ (gr/cm3)	1.978	γd (gr/cm3)	1.770

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo:	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD					
Norma:	ASTM D 4318-17					
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
26	43	55.0	51.9	44.7	43.1	48
31	33	60.9	56.6	47.3	46.5	
24	22	53.9	50.6	43.9	48.5	
17	18	62.3	57.9	49.3	50.3	
LÍMITE PLÁSTICO						
29		39.7	39.4	38.2	25.0	30
16		40.2	39.9	39.1	31.3	
54		47.4	47.1	46.0	33.3	

HUMEDAD vs No. GOLPES

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
20	50.3
33	46.5
43	43.1

CURVA GRANULOMÉTRICA

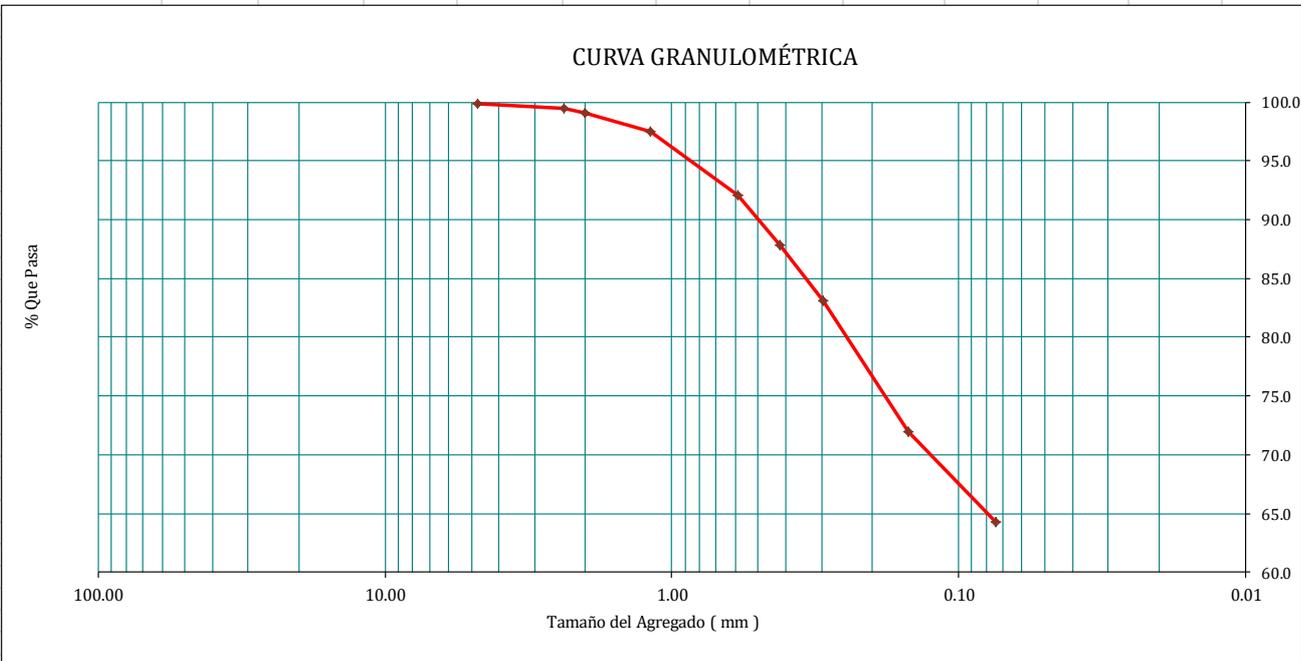
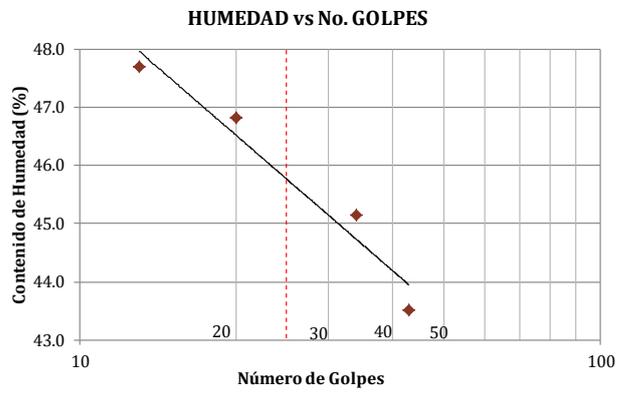
Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
100.00	100.0
4.750	100.0
2.380	99.7
2.000	99.5
1.190	98.2
0.590	94.0
0.420	90.3
0.297	85.9
0.149	73.5
0.074	65.6



Anexo 22: Clasificación del suelo- Pozo 4- Profundidad 1.80m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA						
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES					
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA					
Calicata No.:	2					
Profundidad:	1.80 m					
Material:	Suelo Natural					
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho					
Coordenadas:	718286 9676408					
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Norma:	ASTM D 422-63					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO						
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g					
Peso de la Muestra Después del Lavado	179.2 g					
Perdida por Lavado	320.8 g					
Porcentaje de error	0.1 %					
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa	
4	4.750	0.8	0.8	0.2	99.8	
8	2.380	2.1	2.9	0.6	99.4	
10	2.000	1.6	4.5	0.9	99.1	
16	1.190	8.0	12.5	2.5	97.5	
30	0.590	27.0	39.5	7.9	92.1	
40	0.420	21.5	61.0	12.2	87.8	
50	0.297	23.6	84.6	16.9	83.1	
100	0.149	55.6	140.2	28.0	72.0	
200	0.074	38.4	178.6	35.7	64.3	
Fondo + lavado		321.8	500.4	100.0		
Fondo		1.0				
Masa total		500.4				
RESUMEN						
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	46		
Grava = 0.2		Límite Plástico:	LP =	32		
Arena = 35.5		Índice de Plasticidad:	IP =	14		
Finos = 64.3		Contenido de Humedad:	Wn =	17.2		
		Grado de Consistencia:	Kw =	2.06		
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida			
CLASIFICACION DE SUELOS						
SUCS:	ML -Limo arenoso					
AASHTO:	A-7-5 (9)					
Ensayo:	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD					
Norma:	ASTM D 4318-17					
DENSIDAD DE SUELOS						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
42	44.1	37.6	77.2	72.7	924	
96	47	34.6	78.0	73.6	919	900
HUMEDAD (%)			17.2	γ (gr/cm3)	1.890	γd (gr/cm3)
						1.611
LÍMITE LÍQUIDO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
16	43	52.4	49.0	41.3	43.5	46
1	34	53.4	50.1	42.9	45.1	
96	20	56.9	53.6	46.5	46.8	
42	13	51.3	48.2	41.7	47.7	
LÍMITE PLÁSTICO						
172		47.0	46.7	45.7	30.0	32
135		43.6	43.3	42.3	31.6	
35		43.0	42.8	42.2	33.3	





Anexo 23: Clasificación del suelo- Pozo 5- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	1				
Profundidad:	1.00 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718153 9676337				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	35.0 g				
Perdida por Lavado	465.0 g				
Porcentaje de error	0.1 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.1	0.1	0.0	100.0
10	2.000	0.0	0.1	0.0	100.0
16	1.190	0.7	0.8	0.2	99.8
30	0.590	2.2	3.0	0.6	99.4
40	0.420	2.0	5.0	1.0	99.0
50	0.297	3.4	8.4	1.7	98.3
100	0.149	13.9	22.3	4.5	95.5
200	0.074	12.0	34.3	6.9	93.1
Fondo + lavado		465.2	499.5	100.0	
Fondo		0.2			
Masa total		499.5			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA	Límite Líquido:	LL =	75		
Grava =	Límite Plástico:	LP =	33		
Arena =	Índice de Plasticidad:	IP =	41		
Finos =	Contenido de Humedad:	Wn =	29.5		
	Grado de Consistencia:	Kw =	1.08		
	Grado de Consistencia:	Media, Sólida			
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	CH - Arcilla densa				
AASHTO:	A-7-5 (47)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo:	DENSIDAD DE SUELOS					
Norma:	ASTM D 4531-15					
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
M1	7.9	31.2	34.7	28.8	920	920
85	43.5	31.1	70.8	64.6	920	900
HUMEDAD (%)		29.5	γ (gr/cm3)	1.748	γd (gr/cm3)	1.350

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo:	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD					
Norma:	ASTM D 4318-17					
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
10	45	52.3	48.0	41.3	64.2	75
168	39	56.7	51.7	44.1	65.8	
135	20	52.0	47.8	42.2	76.6	
42	18	55.9	50.8	44.5	82.4	

LÍMITE PLÁSTICO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
103		41.4	41.1	40.1	30.0	33
36		45.4	45.1	44.3	37.5	
31		43.7	43.4	42.4	31.6	

HUMEDAD vs No. GOLPES

CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo 24: Clasificación del suelo- Pozo 5- Profundidad 1.40m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	2				
Profundidad:	1.40 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718153 9676337				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	148.5 g				
Perdida por Lavado	351.5 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.4	0.4	0.1	99.9
10	2.000	0.1	0.5	0.1	99.9
16	1.190	0.6	1.1	0.2	99.8
30	0.590	4.5	5.6	1.1	98.9
40	0.420	6.0	11.6	2.3	97.7
50	0.297	11.4	23.0	4.6	95.4
100	0.149	64.6	87.6	17.5	82.5
200	0.074	41.9	129.5	25.9	74.1
Fondo + lavado		370.7	500.2	100.0	
Fondo		19.2			
Masa total		500.2			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	47	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	24	
Arena = 25.9		Índice de Plasticidad:	IP =	23	
Finos = 74.1		Contenido de Humedad:	Wn =	29.6	
		Grado de Consistencia:	Kw =	0.76	
		Grado de Consistencia:	Plástica		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	CL - Arcilla limosa con arena				
AASHTO:	A-7-6 (17)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
168	48	27.9	72.9	67.3	918	
27	39.2	23.5	59.7	55.1	913	900
HUMEDAD (%)		29.6	γ (gr/cm3)	1.901	γd (gr/cm3)	1.466

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Norma: ASTM D 4318-17						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
135	37	53.8	50.3	42.7	45.1	47
172	27	57.8	54.7	48.2	46.6	
31	20	51.0	48.4	42.9	47.3	
158	17	54.4	51.1	44.4	48.5	

LÍMITE PLÁSTICO						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
103		45.7	45.5	44.6	22.2	24
36		48.2	48.0	47.3	26.7	
31		41.7	41.5	40.7	23.5	

HUMEDAD vs No. GOLPES

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
20	48.5
27	47.3
37	46.6
40	45.1

CURVA GRANULOMÉTRICA

Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
100.00	100.0
10.00	100.0
1.00	100.0
0.85	99.9
0.75	99.8
0.60	98.9
0.425	97.7
0.25	95.4
0.15	82.5
0.075	74.1



Anexo 25: Clasificación del suelo- Pozo 6- Profundidad 1.00m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	1				
Profundidad:	1.00 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718673 9676613				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	95.2 g				
Perdida por Lavado	404.8 g				
Porcentaje de error	0.0 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	Ret Acumulado (%)	% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.9	0.9	0.2	99.8
10	2.000	0.6	1.5	0.3	99.7
16	1.190	3.7	5.2	1.0	99.0
30	0.590	12.1	17.3	3.5	96.5
40	0.420	11.4	28.7	5.7	94.3
50	0.297	13.2	41.9	8.4	91.6
100	0.149	30.6	72.5	14.5	85.5
200	0.074	22.7	95.2	19.0	81.0
Fondo + lavado		405.0	500.2	100.0	
Fondo		0.2			
Masa total		500.2			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	48	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	26	
Arena = 19.0		Índice de Plasticidad:	IP =	22	
Finos = 81.0		Contenido de Humedad:	Wn =	21.6	
		Grado de Consistencia:	Kw =	1.20	
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	OL -Arcilla orgánica con arena				
AASHTO:	A-7-6 (19)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo:	DENSIDAD DE SUELOS					
Norma:	ASTM D 4531-15					
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
190	49.7	53.6	97.8	89.0	931	900
36	41.2	32.1	70.0	65.3	918	900
HUMEDAD (%)		21.6	γ (gr/cm3)	1.964	γd (gr/cm3)	1.615

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo:	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD					
Norma:	ASTM D 4318-17					
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
17	41	58.5	54.6	46.2	45.6	48
31	39	56.1	52.5	44.9	46.7	
15	24	55.6	51.5	42.8	48.0	
74	12	54.0	50.4	43.3	50.7	
LÍMITE PLÁSTICO						
42		43.1	42.9	41.9	26.3	26
16		44.3	44.1	43.4	26.7	
35		48.5	48.3	47.5	25.0	

HUMEDAD vs No. GOLPES

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
17	45.6
31	46.7
15	48.0
74	50.7
42	26.3
16	26.7
35	25.0

CURVA GRANULOMÉTRICA

Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
100.0	100.0
75.0	100.0
60.0	100.0
47.5	100.0
37.5	100.0
30.0	100.0
25.0	100.0
20.0	100.0
15.0	100.0
12.5	100.0
10.0	100.0
7.5	100.0
6.0	100.0
4.75	100.0
3.75	99.8
3.0	99.7
2.5	99.0
2.0	96.5
1.5	94.3
1.19	91.6
1.0	85.5
0.75	81.0
0.6	81.0
0.425	81.0
0.3	81.0
0.25	81.0
0.2	81.0
0.15	81.0
0.125	81.0
0.1	81.0
0.075	81.0
0.06	81.0
0.05	81.0
0.0425	81.0
0.03	81.0
0.025	81.0
0.02	81.0
0.015	81.0
0.0125	81.0
0.01	81.0



Anexo 26: Clasificación del suelo- Pozo 6- Profundidad 2.00m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA					
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES				
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA				
Calicata No.:	2				
Profundidad:	2.00 m				
Material:	Suelo Natural				
Lugar de Extracción:	Carmen de Guzho				
Coordenadas:	718673 9676613				
Ensayo:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO				
Norma:	ASTM D 422-63				
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g				
Peso de la Muestra Después del Lavado	77.5 g				
Perdida por Lavado	422.5 g				
Porcentaje de error	0.1 %				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		% Que Pasa
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0
8	2.380	0.5	0.5	0.1	99.9
10	2.000	0.6	1.1	0.2	99.8
16	1.190	3.5	4.6	0.9	99.1
30	0.590	10.1	14.7	2.9	97.1
40	0.420	8.4	23.1	4.6	95.4
50	0.297	10.1	33.2	6.6	93.4
100	0.149	26.3	59.5	11.9	88.1
200	0.074	18.2	77.7	15.5	84.5
Fondo + lavado		422.7	500.4	100.0	
Fondo		0.2			
Masa total		500.4			
RESUMEN					
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	55	
Grava = 0.0		Límite Plástico:	LP =	28	
Arena = 15.5		Índice de Plasticidad:	IP =	27	
Finos = 84.5		Contenido de Humedad:	Wn =	31.4	
		Grado de Consistencia:	Kw =	0.88	
		Grado de Consistencia:	Plástica		
CLASIFICACION DE SUELOS					
SUCS:	CH - Arcilla densa con arena				
AASHTO:	A-7-6 (25)				

DENSIDAD DE SUELOS						
Ensayo: DENSIDAD DE SUELOS						
Norma: ASTM D 4531-15						
N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)
39	46.3	28.7	72.5	66.5	915	915
70	47.6	43.5	86.2	77.1	926	900
HUMEDAD (%)		31.4	γ (gr/cm3)	1.994	γd (gr/cm3)	1.518

LÍMITE LÍQUIDO						
Ensayo: MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD						
Norma: ASTM D 4318-17						
N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO
17	43	56.5	52.8	45.6	51.8	55
31	26	55.1	50.7	42.5	54.6	
15	23	53.5	49.5	42.3	55.2	
74	10	58.1	53.6	46.1	59.3	
LÍMITE PLÁSTICO						
29		39.6	39.3	38.2	27.3	28
3		40.5	40.2	39.0	30.4	
54		47.0	46.8	46.0	25.0	

HUMEDAD vs No. GOLPES

CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo 27: Clasificación del suelo- Pozo 7- Profundidad 0.40m- Sector Carmen de Guzho

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA										
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES	Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS							
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA	Norma :	ASTM D 4531-15							
Calicata No :	1	DENSIDAD DE SUELOS								
Profundidad:	0.40 m	N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)		
Material :	Suelo Natural	103	44.9	17.4	60.5	59.0	910	900		
Lugar de Extracción :	Carmen de Guzho	168	48.0	21.5	66.7	64.9	912	900		
Coordenadas:	718739 9676624	HUMEDAD (%)	11.9	γ (gr/cm3)	2.004	γd (gr/cm3)	1.790			
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO	Ensayo :	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD							
Norma :	ASTM D 422-63	Norma :	ASTM D 4318-17							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO			LÍMITE LÍQUIDO							
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0	g	N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	
Peso de la Muestra Después del Lavado	120.5	g	97	35	57.6	54.1	45.9	42.7	43	
Perdida por Lavado	379.5	g	29	30	48.4	45.4	38.4	42.9		
Porcentaje de error	0.0	%	41	21	49.8	47.5	42.2	43.4		
			1	10	54.3	50.9	43.4	44.4		
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g) (%)		LÍMITE PLÁSTICO					
					29		39.3	39.0	38.2	29.4
4	4.750	1.3	1.3	0.3	16		40.2	39.9	39.1	31.3
8	2.380	0.9	2.2	0.4	54		46.8	46.7	46.4	28.6
10	2.000	0.3	2.5	0.5						
16	1.190	2.4	4.9	1.0						
30	0.590	11.8	16.7	3.3						
40	0.420	14.7	31.4	6.3						
50	0.297	17.3	48.7	9.7						
100	0.149	41.5	90.2	18.0						
200	0.074	29.1	119.3	23.9						
Fondo + lavado		380.8	500.1	100.0						
Fondo		1.3								
Masa total		500.1								
RESUMEN										
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	43						
Grava =	0.3	Límite Plástico:	LP =	30						
Arena =	23.6	Índice de Plasticidad:	IP =	13						
Finos =	76.1	Contenido de Humedad:	Wn =	11.9						
		Grado de Consistencia:	Kw =	2.39						
		Grado de Consistencia:	Media, Sólida							
CLASIFICACION DE SUELOS										
SUCS:	ML -Limo con arena									
AASHTO:	A-7-6 (11)									

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
10	44.4
25	43.4
30	42.9
40	42.7

Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
75	100.0
150	100.0
300	100.0
600	100.0
1200	99.7
2500	99.6
5000	99.5
10000	99.0
20000	96.7
40000	93.7
75000	90.3
150000	82.0
300000	76.1
600000	76.1
1000000	76.1



Anexo 28: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 0.50m- Sector Baños

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA		DENSIDAD DE SUELOS								
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES		Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS						
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA		Norma :	ASTM D 4531-15						
Calicata No.:	1		N° TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)	
Profundidad:	0.50 m		190	49.6	30.5	78.0	71.3	818		
Material:	Suelo Natural		135	40.5	24.5	62.3	57.5	815	800	
Lugar de Extracción:	Baños		HUMEDAD (%)			29.6	γ (gr/cm ³)	1.819	γ_d (gr/cm ³)	1.404
Coordenadas:	716505	9676930	Ensayo : MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD							
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO		Norma : ASTM D 4318-17							
Norma :	ASTM D 422-63									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO			LÍMITE LÍQUIDO							
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0	g	N° TARRO	N° GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO	
Peso de la Muestra Después del Lavado	25.2	g	135	30	45.2	42.9	40.1	83.9	87	
Perdida por Lavado	474.8	g	62	25	49.5	46.8	43.7	87.1		
Porcentaje de error	0.3	%	94	22	48.6	46.0	43.1	89.7		
			4	12	48.9	46.1	43.2	94.9		
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)		% Que Pasa		LÍMITE PLÁSTICO			
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	168	46.9	46.6	46.0	41
8	2.380	0.0	0.0	0.0	100.0	74	43.8	43.6	43.1	
10	2.000	0.0	0.0	0.0	100.0	41	40.8	40.6	40.1	
16	1.190	0.1	0.1	0.0	100.0					
30	0.590	1.0	1.1	0.2	99.8					
40	0.420	1.9	3.0	0.6	99.4					
50	0.297	3.0	6.0	1.2	98.8					
100	0.149	11.1	17.1	3.4	96.6					
200	0.074	9.7	26.8	5.3	94.7					
Fondo + lavado		474.8	501.6	100.0						
Fondo		0.0								
Masa total		501.6								
RESUMEN										
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:		LL = 87						
Grava = 0.0		Límite Plástico:		LP = 41						
Arena = 5.3		Índice de Plasticidad :		IP = 46						
Finos = 94.7		Contenido de Humedad :		Wn = 29.6						
		Grado de Consistencia :		Kw = 1.25						
		Grado de Consistencia :		Media, Sólida						
CLASIFICACION DE SUELOS										
SUCS :	Ol -Limos orgánico									
AASHTO :	A-7-5 (55)									



Anexo 29: Clasificación del suelo- Pozo 1- Profundidad 1.00m- Sector Baños

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA		DENSIDAD DE SUELOS										
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES		Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS								
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA		Norma :	ASTM D 4531-15								
Calicata No.:	1		DENSIDAD DE SUELOS									
Profundidad:	1.00 m		Nº TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)			
Material:	Suelo Natural		190	44.4	27.8	68.6	64.3	818	800			
Lugar de Extracción:	Baños		135	49.9	29.2	76.1	72.1	819	800			
Coordenadas:	716505	9676930	HUMEDAD (%)		21.2	γ (gr/cm3)	1.689	γ_d (gr/cm3)	1.394			
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO		Ensayo :	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
Norma :	ASTM D 422-63		Norma :	ASTM D 4318-17								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO			LÍMITE LÍQUIDO									
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0	g	Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO			
Peso de la Muestra Después del Lavado	151.7	g	190	45	58.8	54.4	46.9	59.3	65			
Perdida por Lavado	348.3	g	18	32	51.0	46.8	40.1	63.9				
Porcentaje de error	0.4	%	70	22	57.9	52.2	43.4	65.7				
			13	15	50.3	47.4	43.2	68.2				
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)		% Que Pasa		LÍMITE PLÁSTICO					
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	135		48.0	47.8	47.2	23.1	24
8	2.380	0.7	0.7	0.1	99.9	172		43.5	43.2	42.0	26.1	
10	2.000	0.1	0.8	0.2	99.8	103		51.2	51.0	50.1	22.2	
16	1.190	2.0	2.8	0.6	99.4							
30	0.590	12.5	15.3	3.0	97.0							
40	0.420	21.2	36.5	7.3	92.7							
50	0.297	26.5	63.0	12.5	87.5							
100	0.149	61.5	124.5	24.8	75.2							
200	0.074	29.2	153.7	30.6	69.4							
Fondo + lavado		348.5	502.2	100.0								
Fondo		0.2										
Masa total		502.2										
RESUMEN												
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	65								
Grava =	0.0	Límite Plástico:	LP =	24								
Arena =	30.6	Índice de Plasticidad :	IP =	41								
Finos =	69.4	Contenido de Humedad :	Wn =	21.2								
		Grado de Consistencia :	Kw =	1.07								
		Grado de Consistencia :	Media, Sólida									
CLASIFICACION DE SUELOS												
SUCS :	CH -Arcilla densa con arena											
AASHTO :	A-7-5 (28)											

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
18	63.9
22	65.7
24	23.1
32	63.9
45	59.3

Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
100.00	100.0
10.00	100.0
1.00	99.8
0.85	99.4
0.75	97.0
0.60	92.7
0.425	75.2
0.25	69.4
0.075	23.1



Anexo 30: Clasificación del suelo- Pozo 2- Profundidad 0.80m- Sector Baños

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA		DENSIDAD DE SUELOS									
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES		Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS							
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA		Norma :	ASTM D 4531-15							
Calicata No.:	1		Nº TARRO	PESO TARRO (g)	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)	VOLUMEN INICIAL (cm3)		
Profundidad:	0.80 m		19	35.5	34.6	76.1	71.7	821			
Material:	Suelo Natural		54	30.6	22.2	68.1	64.6	819	800		
Lugar de Extracción:	Baños		HUMEDAD (%)			17.5	γ (gr/cm3)	1.843	γ_d (gr/cm3)	1.569	
Coordenadas:	717437	9676619	Ensayo : MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD								
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO		Norma : ASTM D 4318-17								
Norma :	ASTM D 422-63										
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO			LÍMITE LÍQUIDO								
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0	g	Nº TARRO	Nº GOLPES	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD	PROMEDIO		
Peso de la Muestra Después del Lavado	166.6	g	31	45	52.5	50.1	45.4	52.7	57		
Perdida por Lavado	333.4	g	34	31	46.6	44.4	40.6	56.6			
Porcentaje de error	0.2	%	56	14	51.5	49.3	45.7	58.9			
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	% Que Pasa	24	18	50.9	48.1		43.4	58.5
4	4.750	0.7	0.7	0.1	LÍMITE PLÁSTICO						
8	2.380	3.3	4.0	0.8	172		49.3	49.0	47.9	27.3	
10	2.000	1.1	5.1	1.0	34		43.6	43.4	42.5	29.4	
16	1.190	10.8	15.9	3.2	41		42.0	41.7	40.6	27.3	
30	0.590	40.9	56.8	11.3							
40	0.420	30.0	86.8	17.3							
50	0.297	22.0	108.8	21.7							
100	0.149	39.5	148.3	29.6							
200	0.074	19.3	167.6	33.5							
Fondo + lavado	333.4	501.0	100.0								
Fondo	0.0										
Masa total	501.0										
RESUMEN											
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	57							
Grava =	0.1	Límite Plástico:	LP =	28							
Arena =	33.3	Índice de Plasticidad :	IP =	29							
Finos =	66.5	Contenido de Humedad :	Wn =	17.5							
		Grado de Consistencia :	Kw =	1.36							
		Grado de Consistencia :	Media, Sólida								
CLASIFICACION DE SUELOS											
SUCS :	CH -Arcilla densa con arena										
AASHTO :	A-7-6 (19)										

Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
15	59.0
20	58.5
30	56.5
45	53.0

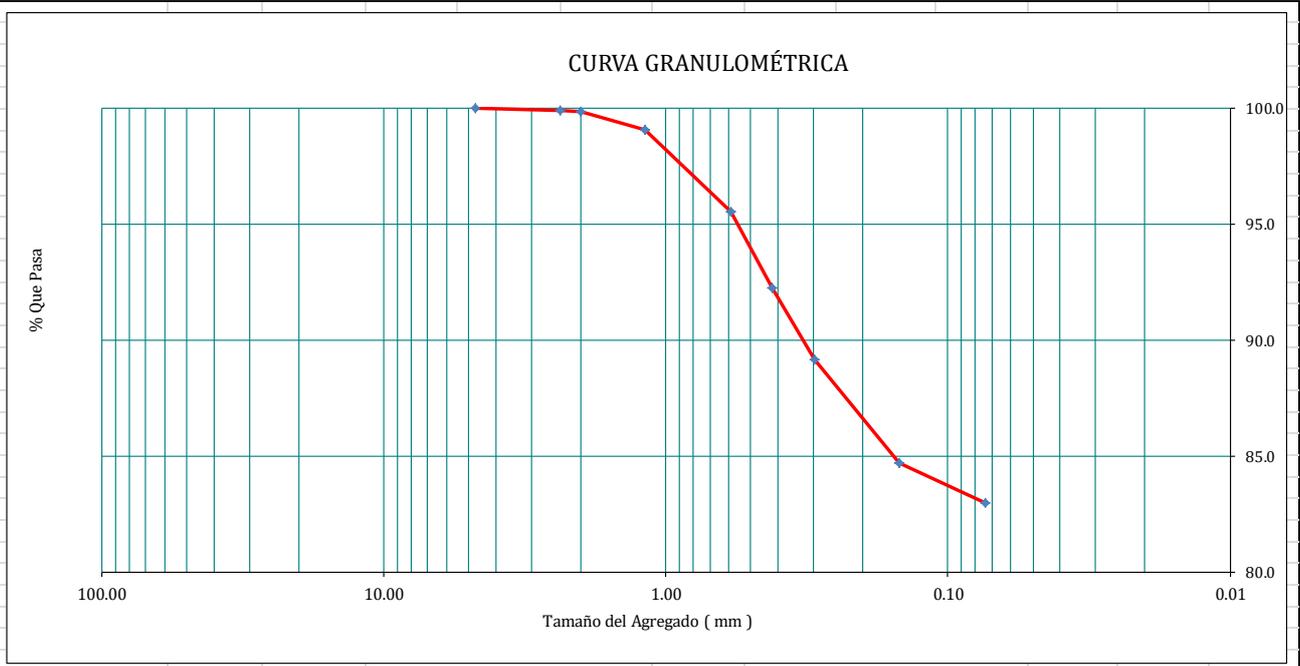
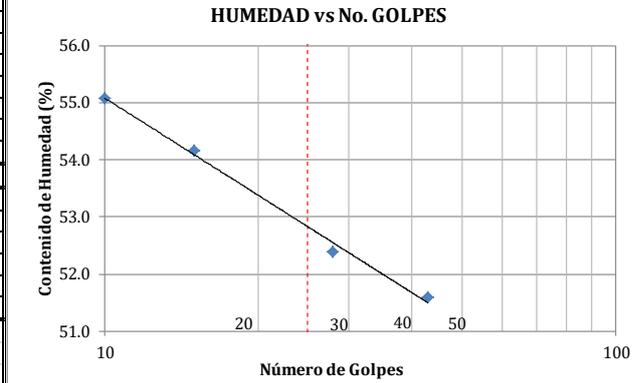
Tamaño del Agregado (mm)	% Que Pasa
75	100
60	100
47.5	100
37.5	100
30	100
25	100
20	100
15	100
12.5	100
10	100
7.5	100
6	100
4.75	100
3.75	100
3	100
2.5	100
2	100
1.5	100
1.18	100
0.85	100
0.75	100
0.6	100
0.425	100
0.3	100
0.25	100
0.15	100
0.075	100
0.075	33.5
0.075	66.5



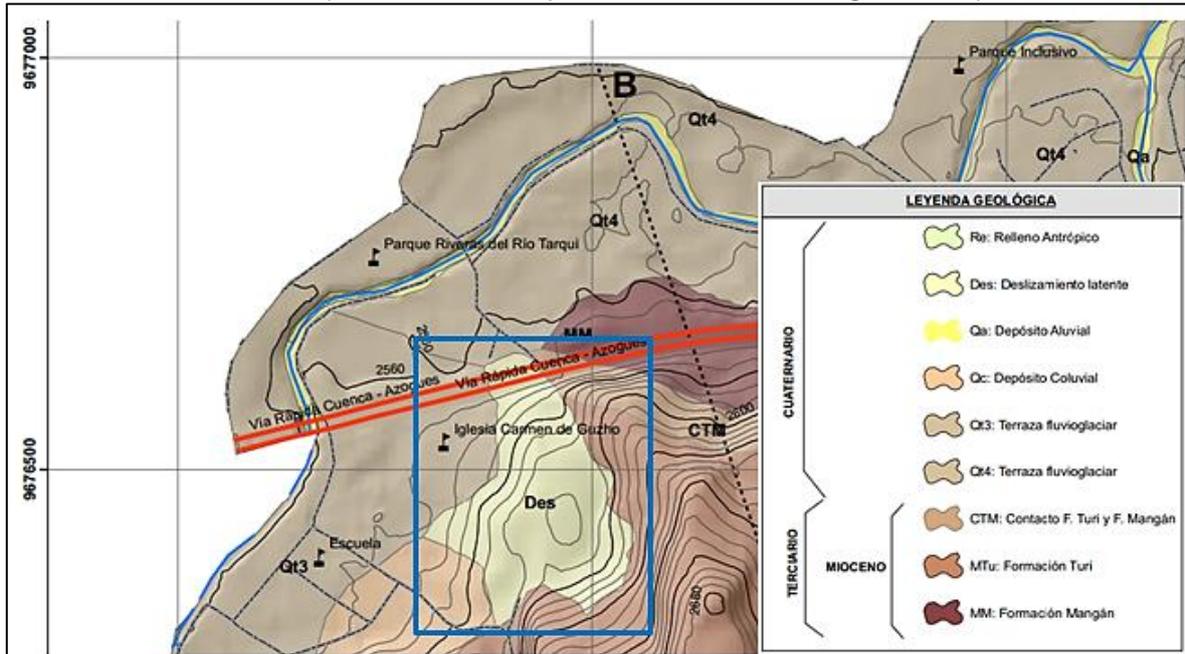
Anexo 31: Clasificación del suelo- Pozo 3- Profundidad 0.80m- Sector Baños

Fuente: Elaboración propia

UNIVERSIDAD DE CUENCA						
PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EN SUELOS INESTABLES	Ensayo :	DENSIDAD DE SUELOS			
REALIZADO POR:	GEOVANNA PAOLA SÁNCHEZ ADRIANA PRISCILA SUMBA	Norma :	ASTM D 4531-15			
Calicata No.:	1	DENSIDAD DE SUELOS				
Profundidad:	0.80 m	Nº TARRO	PESO TARRO (g)			
Material :	Suelo Natural	PESO CON PARAFINA (g)	PESO HUMEDO (g)			
Lugar de Extracción :	Baños	PESO SECO (g)	VOLUMEN FINAL (cm3)			
Coordenadas:	717629 9676676	HUMEDAD (%)	VOLUMEN INICIAL (cm3)			
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO					
Norma :	ASTM D 422-63	Ensayo :	MÉTODO ESTÁNDAR PARA LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO		Norma :	ASTM D 4318-17			
Peso Inicial de la Muestra Seca	500.0 g	LÍMITE LÍQUIDO				
Peso de la Muestra Después del Lavado	83.9 g	Nº TARRO	Nº GOLPES			
Perdida por Lavado	416.1 g	PESO HUMEDO (g)	PESO SECO (g)			
Porcentaje de error	0.3 %	PESO TARRO (g)	% DE HUMEDAD			
Tamiz	Abertura (mm)	Ret Parcial (g)	Ret Acumulado (g)	% Que Pasa		
4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	
8	2.380	0.6	0.6	0.1	99.9	
10	2.000	0.1	0.7	0.1	99.9	
16	1.190	4.0	4.7	0.9	99.1	
30	0.590	17.7	22.4	4.5	95.5	
40	0.420	16.4	38.8	7.7	92.3	
50	0.297	15.5	54.3	10.8	89.2	
100	0.149	22.5	76.8	15.3	84.7	
200	0.074	8.5	85.3	17.0	83.0	
Fondo + lavado		416.1	501.4	100.0		
Fondo		0.0				
Masa total		501.4				
RESUMEN						
PORCENTAJE GRANULOMETRIA		Límite Líquido:	LL =	53		
Grava =	0.0	Límite Plástico:	LP =	34		
Arena =	17.0	Índice de Plasticidad :	IP =	19		
Finos =	83.0	Contenido de Humedad :	Wn =	19.9		
		Grado de Consistencia :	Kw =	1.74		
		Grado de Consistencia :	Media, Sólida			
CLASIFICACION DE SUELOS						
SUCS :	MH - Limo elástico con arena					
AASHTO :	A-7-5 (21)					

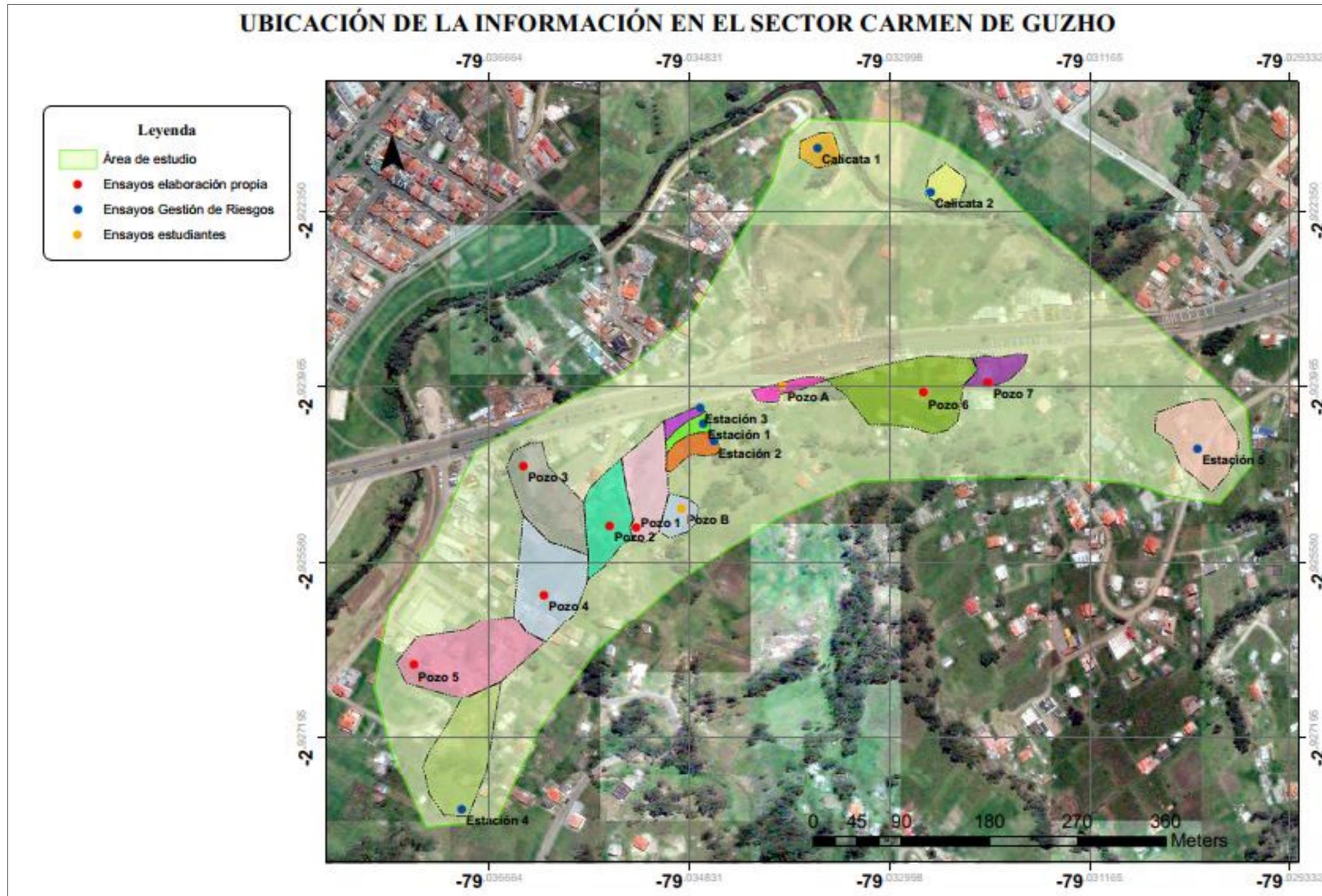


Anexo 32: Zona de deslizamiento sector Carmen de Guzho
 Fuente: (Dirección Municipal de Gestión de Riesgos, 2017)

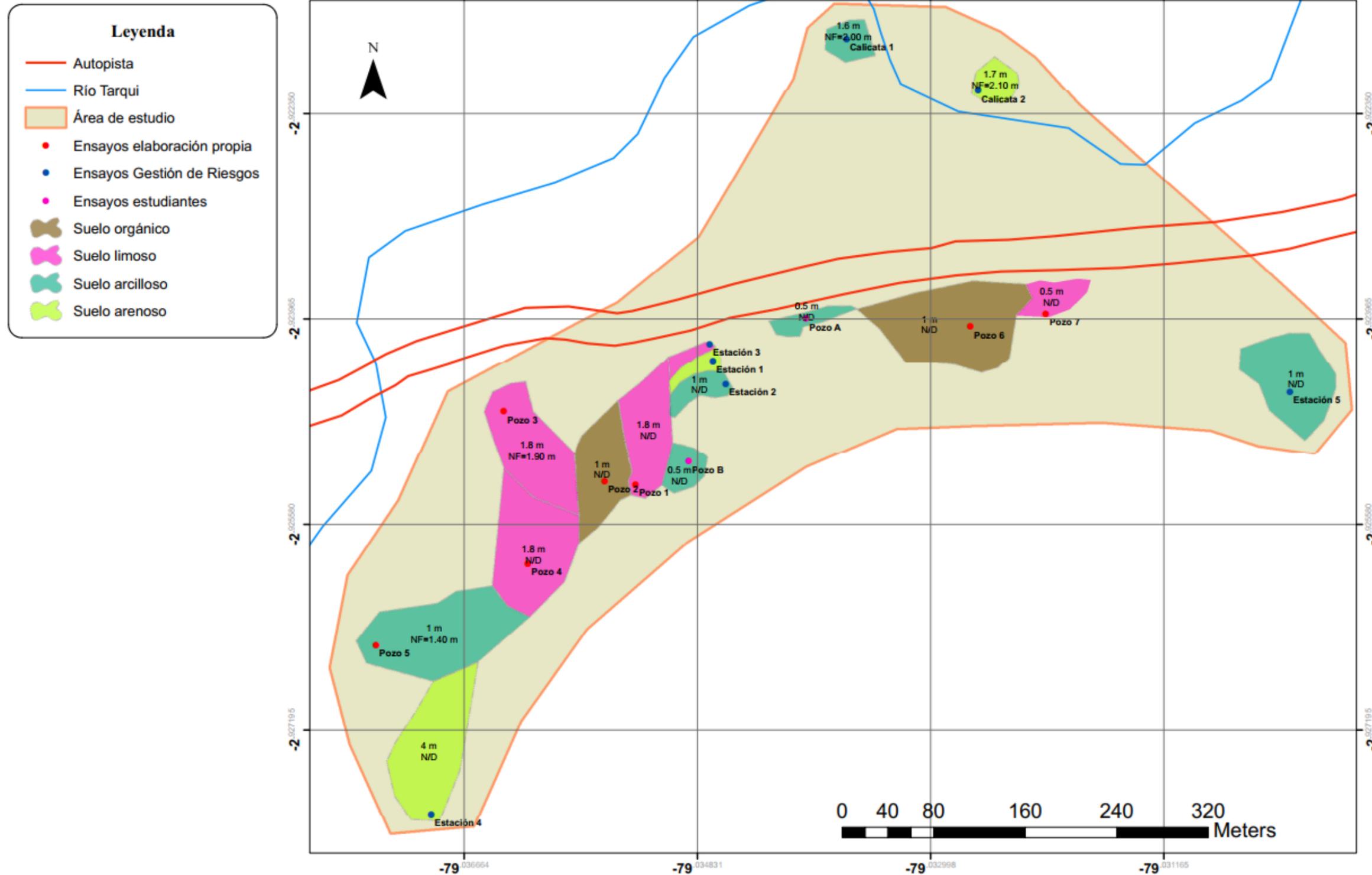


Anexo 33: Mapas generales de análisis espacial - Carmen de Guzho (5/5)

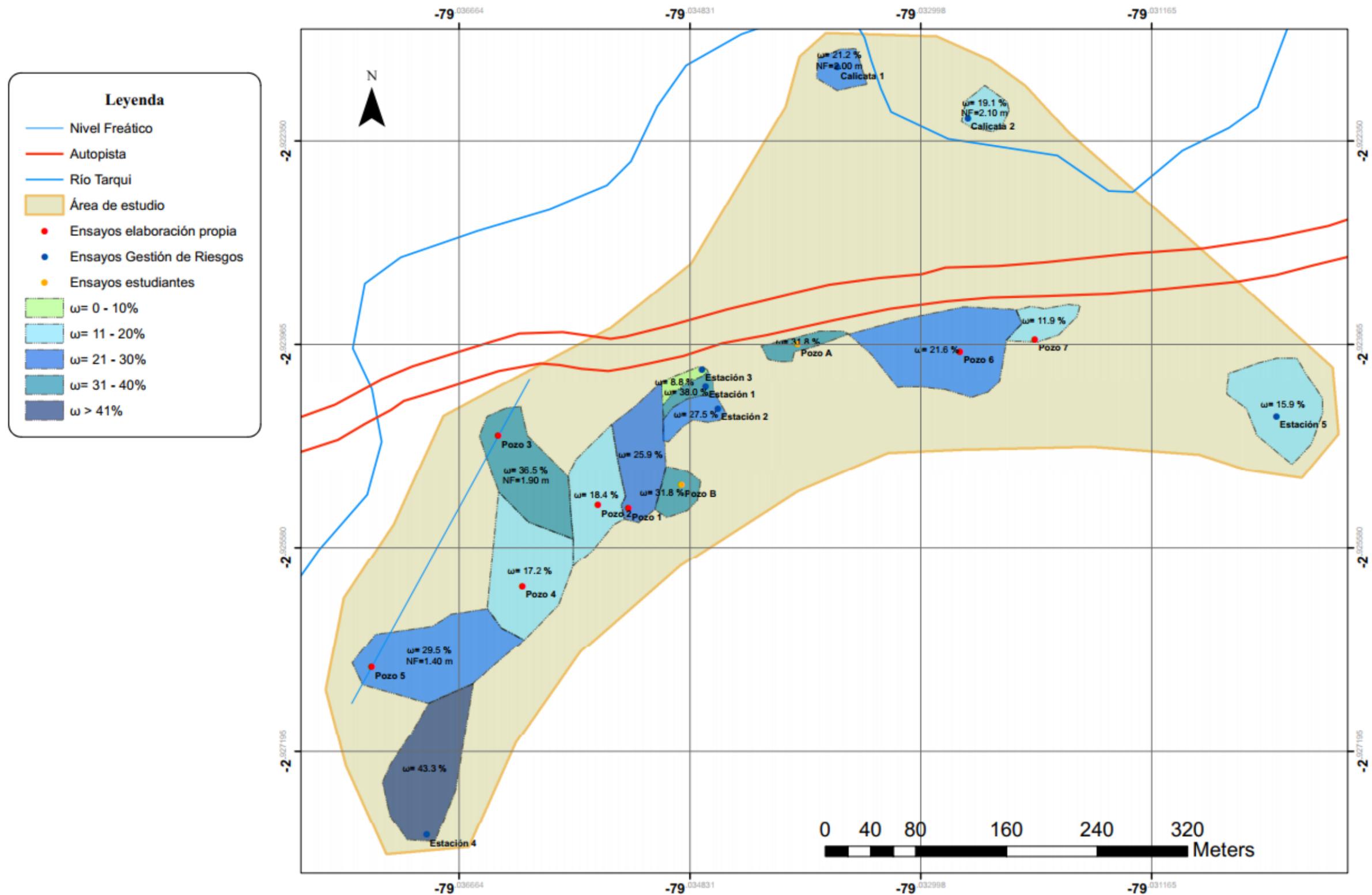
Fuente: Elaboración propia



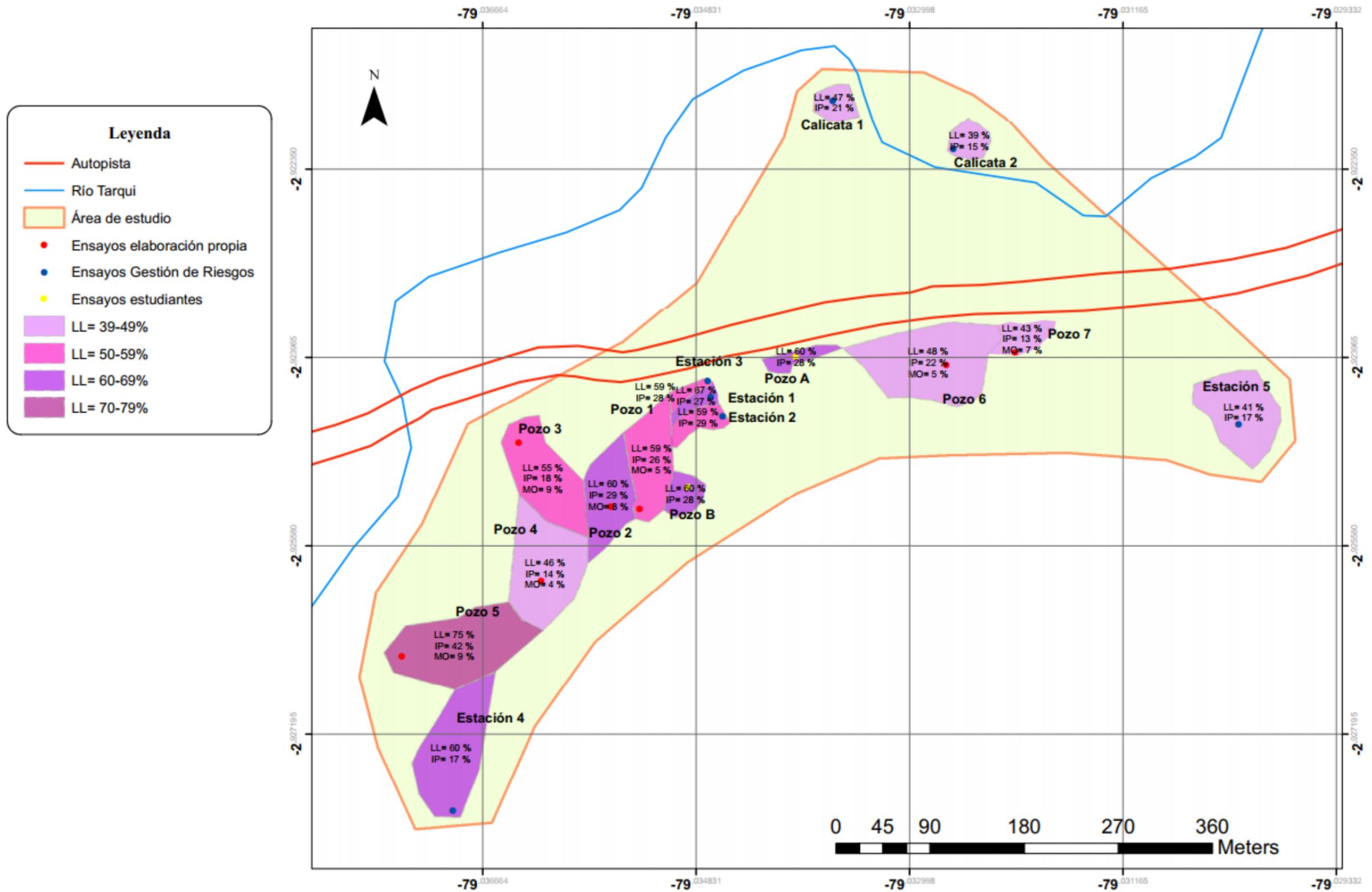
POTENCIA DEL ESTRATO Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO



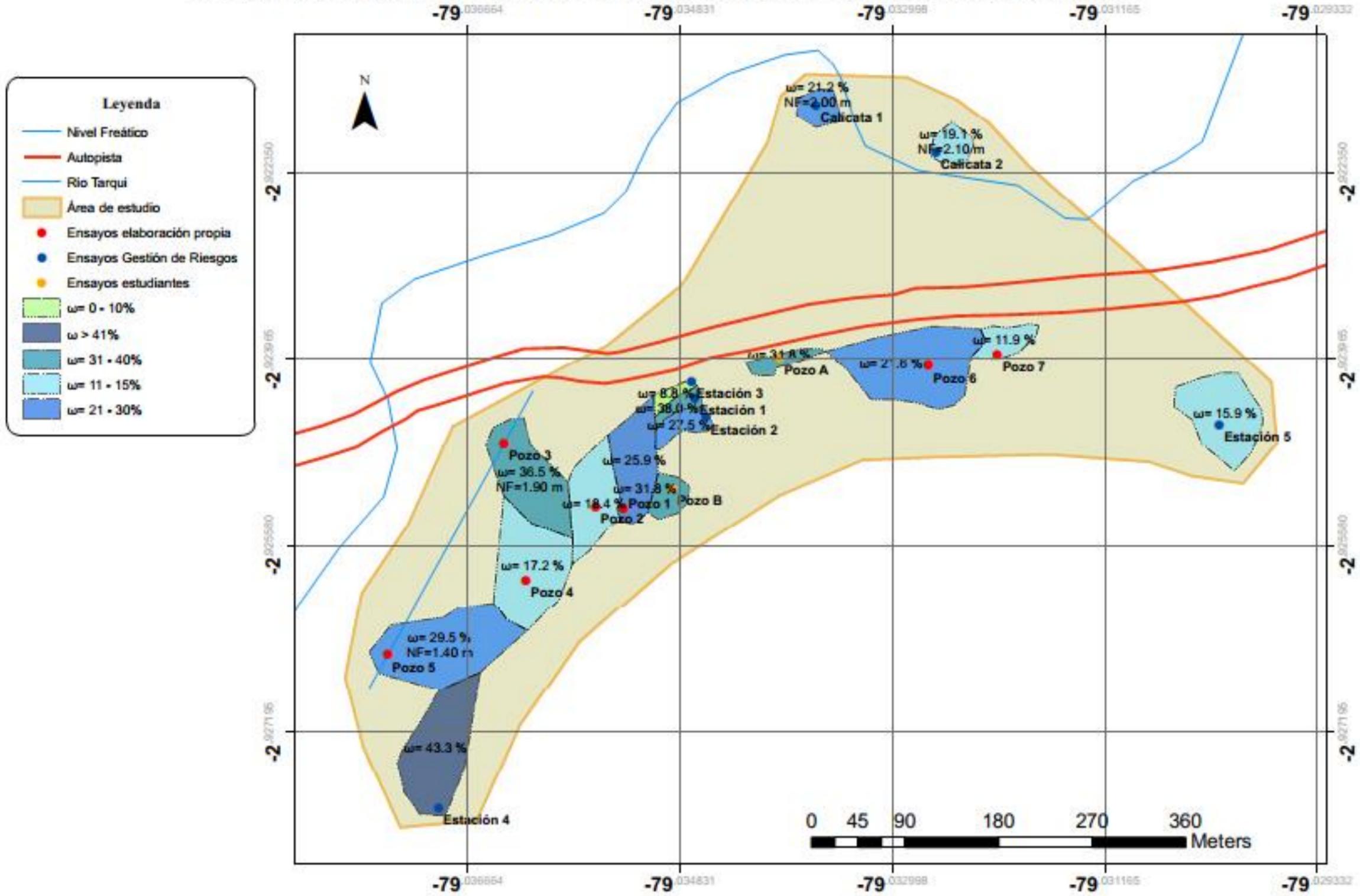
HUMEDAD Y NIVEL FREÁTICO DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO



LÍMITES DE ATTERBERG Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

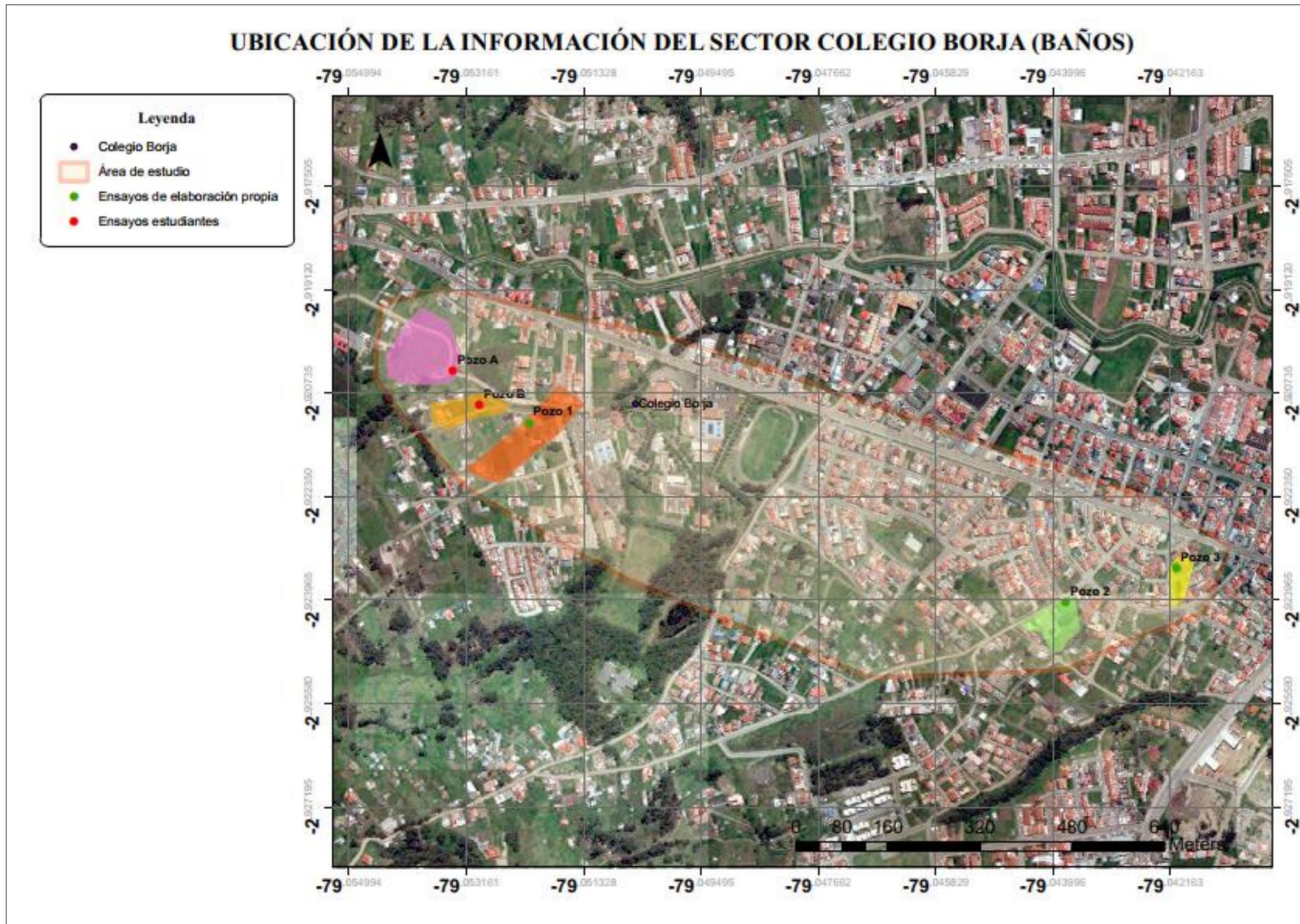


HUMEDAD Y NIVEL FREÁTICO DEL SUELO SECTOR CARMEN DE GUZHO

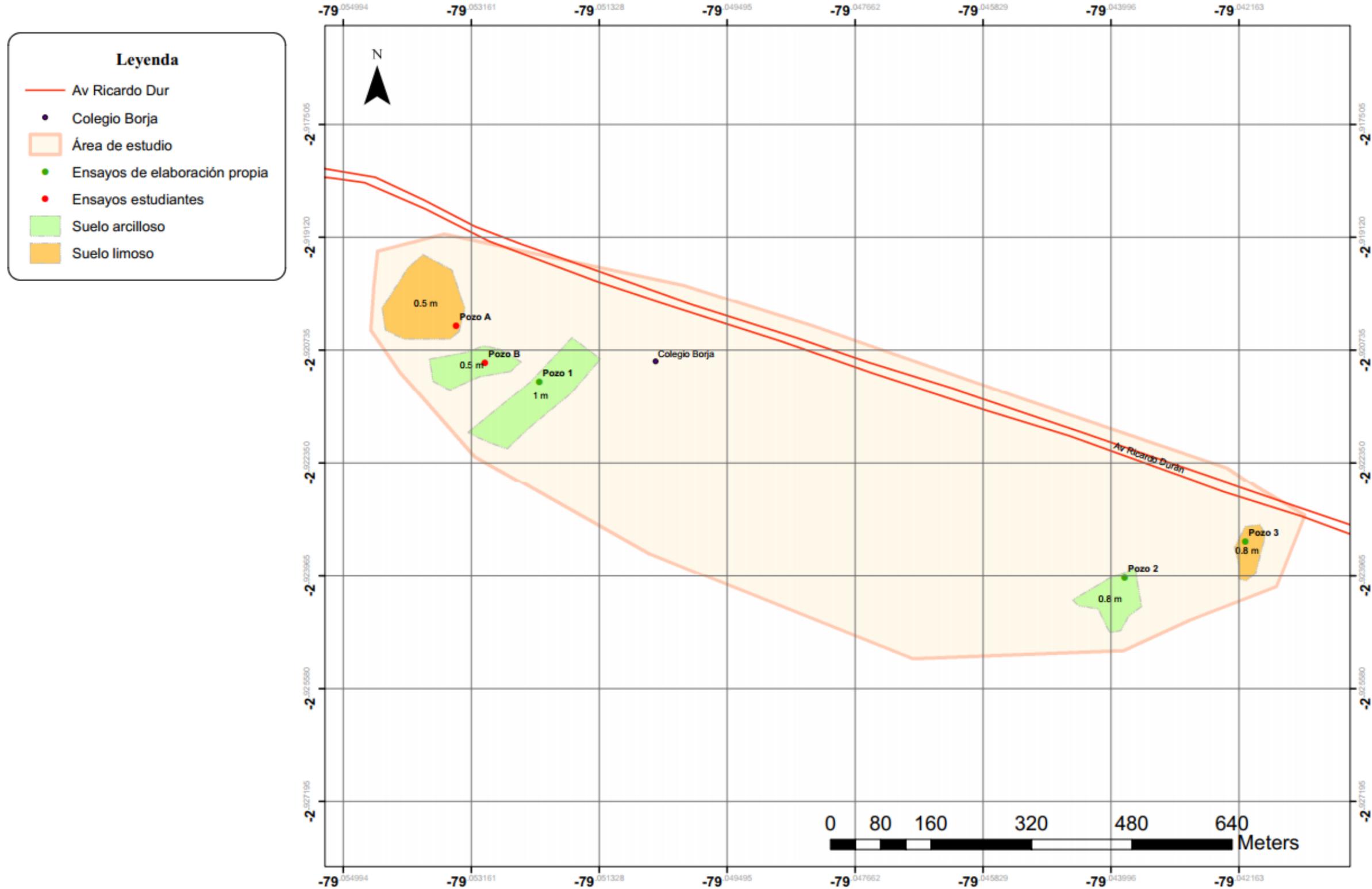


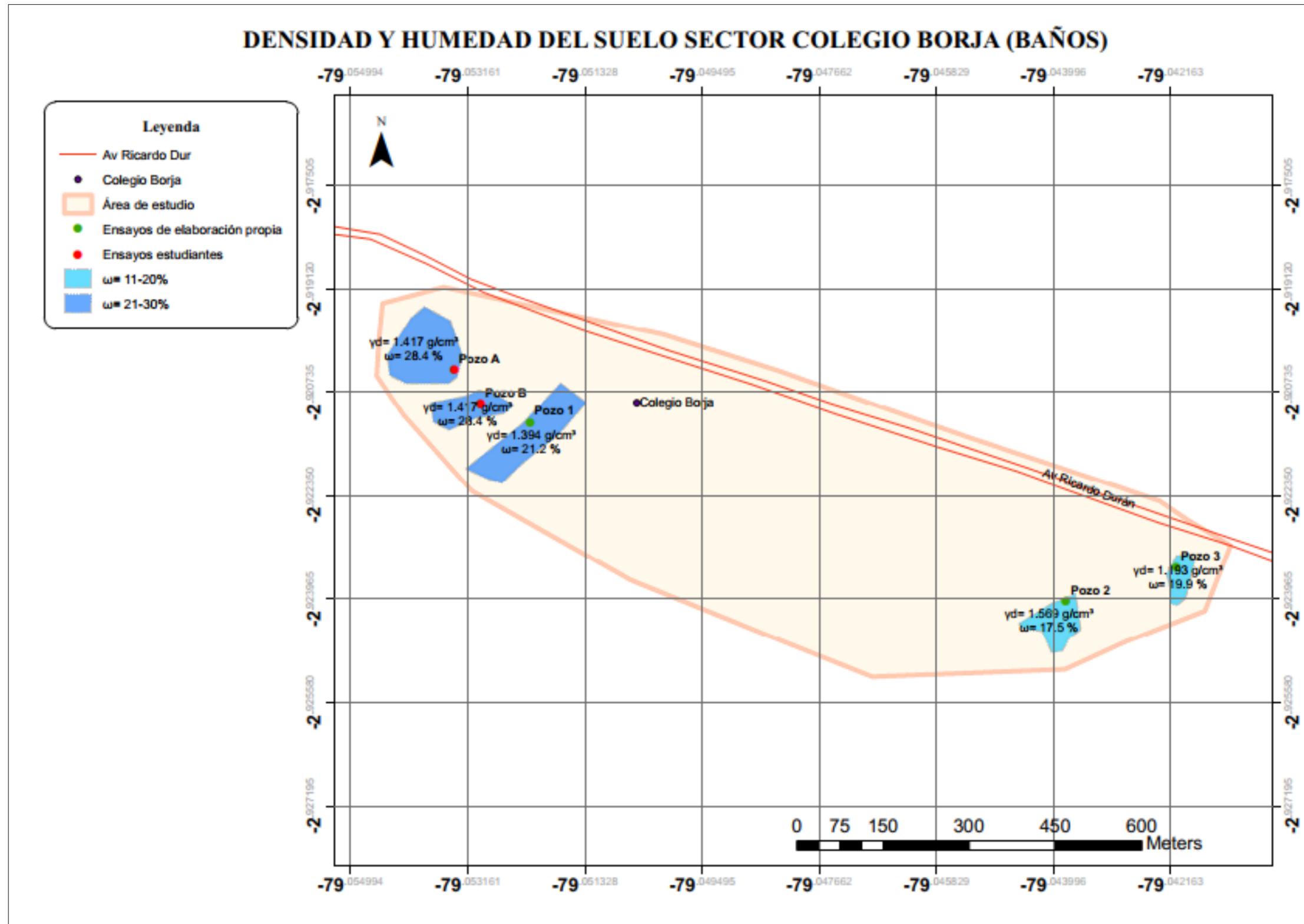
Anexo 34: Mapas generales de análisis espacial – Colegio Borja / Baños (4/4)

Fuente: Elaboración propia



POTENCIA DEL ESTRATO Y CLASIFICACIÓN DEL SUELO SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)





LÍMITES DE ATTERBERG Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO SECTOR COLEGIO BORJA (BAÑOS)

