



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE ESPONJAMIENTO
PARA SUELOS DRAGADOS Y SU INCIDENCIA EN COSTOS DE
EXCAVACIÓN, TRASLADO Y DESCARGA, CANAL DE
NAVEGACIÓN UROS, PUNO - 2018**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JHOVANY QUISPE BUSTINCIO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

Gracias a Dios por bendecirme cada día,
con mucho más de lo que merezco.

A mis papás Bonifacio y Lucia, gracias por
su confianza y apoyo incondicional en todas
mis decisiones.

A Oscar, David y Juan Carlos, mis queridos
hermanos, por ser motivo de ejemplo cada
día de mi vida.

Esta Tesis, se realizó en gratitud a la primera
obra donde inicié mi vida en la Ingeniería
Civil, Canal de Navegación los Uros -
Puno.

A mis amigos Ober, Renso, Ángel, Pérez,
Carlitos Mayta, Frank, Saúl, Brumel y a
todos los integrantes del club “REAL
CIVIL”, que sirve de motivo para poder
reunirnos cada fin de semana y compartir
buenos momentos.

Jhovany Quispe Bustincio.



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento especial a:

A la Universidad Nacional del Altiplano, por ofrecernos una moderna infraestructura con todo el equipamiento necesario para poder estudiar y así aprender nuevos conocimientos.

A mis Docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la UNA, por su labor de enseñarnos los primeros pasos, pero valiosos en el mundo de la construcción.

A mis jurados de tesis: Ing. Emilio Castillo Aroni, Ing. José Luis Cutipa Arapa e Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia, por la disposición en las revisiones que sirvieron para realizar las correcciones necesarias para culminar la presente tesis.

A mi director de Tesis: Ing. Gino Laque Córdova, por su enseñanza académica y apoyo durante la realización de la presente tesis.

Al Ing. Martin Benavente Arias, por enseñarme los procedimientos constructivos correctos que se deben realizar en obra.

A la Ing. Tania Zapata Coacalla, por su apoyo desinteresado en la investigación durante la ejecución de la presente tesis.

Al Ing. Yasmani Vitulas Quille, por sus enseñanzas donde todo lo que se puede realizar en obra, también se puede programar.

Jhovany Quispe Bustincio.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 18

1.2.1 Problema General 18

1.2.2 Problemas Específicos 18

1.3 HIPÓTESIS..... 18

1.3.1 Hipótesis General..... 18

1.3.2 Hipótesis Específica..... 18

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO..... 18

1.5 OBJETIVOS..... 19

1.5.1 Objetivo General..... 19

1.5.2 Objetivos Específicos 19

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO 20

2.1.1 Antecedentes 20

2.1.2 El Suelo..... 22

2.1.2.1 Introducción 22

2.1.2.2 Definición. 22

2.1.2.3 Depósitos de Suelo Natural..... 22

2.1.2.4 Materiales Componentes del Suelo..... 23

2.1.2.4.1 La Grava 23

2.1.2.4.2 La Arena 23

2.1.2.4.3 Limo..... 23



2.1.2.4.4 Arcilla	23
2.1.2.4.5 Turba	23
2.1.2.4.6 Suelo Orgánico	24
2.1.2.5 Tamaño de las Partículas de Suelo	24
2.1.2.6 Propiedades del Suelo	24
2.1.2.6.1 Densidad de Sólidos.....	24
2.1.2.6.2 Análisis Mecánico del Suelo.....	24
2.1.3 Relaciones Volumétricas y Gravimétricas.....	26
2.1.3.1 Relaciones Volumétricas.	27
2.1.3.2 Relaciones Gravimétricas	27
2.1.4 Relaciones entre Peso Específico, Relación de Vacíos, Contenido de Agua y Densidad de Sólidos.....	29
2.1.5 Consistencia del Suelo	32
2.1.5.1 Límite Líquido (LL).....	32
2.1.5.2 Índice de Liquidez	33
2.1.6 Carta de Plasticidad	33
2.1.7 Clasificación del Suelo	34
2.1.7.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).....	34
2.1.8 Exploración del Subsuelo.	39
2.1.8.1 Programa de Exploración del Subsuelo.	39
2.1.8.1.1 Recolección de la Información Preliminar.	39
2.1.8.1.2 Reconocimiento.	39
2.1.8.1.3 Investigación del Sitio.	39

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	40
3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	41
3.3 PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	41
3.3.1 Metodología.....	41
3.3.1.1 Tipo de Investigación.....	41
3.3.1.2 Nivel de Investigación	42
3.3.1.3 Método de Investigación.....	42
3.3.2 Información Preliminar de la Zona de Estudio.....	42



3.3.3	Lugar de Extracción de Muestras	42
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.	44
3.4.1	Número de Muestras a Extraer.	44
3.4.2	Progresivas de las Muestras a Extraer.	45
3.4.3	Equipo de Extracción de Muestras.	46
3.4.4	Profundidad de las Muestras a Extraer.	47
3.4.5	Procedimiento de Extracción de Muestras.....	49
3.5	DISEÑO ESTADÍSTICO.....	55
3.5.1	Estadística	55
3.5.2	Selección del Test	56
3.5.3	Distribución T de Student	56
3.6	PROCEDIMIENTO.	56
3.6.1	Ensayo de Contenido de Humedad.....	56
3.6.1.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad.....	56
3.6.1.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad.	58
3.6.2	Ensayo de Granulometría.....	60
3.6.2.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Granulometría.	60
3.6.2.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Granulometría.	61
3.6.3	Ensayo de Límite Líquido.....	67
3.6.3.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Límite Líquido.	67
3.6.3.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Límite Líquido.	69
3.6.4	Ensayo de Límite Plástico.....	73
3.6.4.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Límite Plástico.	73
3.6.4.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Límite Plástico.	75
3.6.5	Clasificación del Suelo.	77
3.6.5.1	Índice de Plasticidad.	77
3.6.5.2	Suelo Orgánico.	78
3.6.5.3	Carta de Plasticidad.	80
3.6.6	Ensayo de Densidad de Masa.	82
3.6.6.1	Método de Inmersión en Agua.....	83
3.6.6.2	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Densidad de Masa.	83
3.6.6.3	Cálculos y Resultados del Ensayo de Densidad de Masa.	86
3.6.6.3.1	Peso Específico de la Parafina	86



3.6.6.3.2	Peso Específico o Densidad de Masa	87
3.6.7	Ensayo de Gravedad Específica.....	89
3.6.7.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Gravedad Específica	91
3.6.7.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Gravedad Específica	94
3.6.8	Ensayo de Compresión Simple.....	98
3.6.8.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Compresión Simple.....	99
3.6.8.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Compresión Simple.....	101
3.6.9	Ensayo de Peso Específico Suelto.	105
3.6.9.1	Equipos y Procedimiento del Ensayo de Peso Específico Suelto.	106
3.6.9.2	Cálculos y Resultados del Ensayo de Peso Específico Suelto.....	109
3.7	VARIABLES	112
3.7.1	Operacionalización de Variables.	112
3.8	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	114
3.8.1	Costos de Movimiento de Tierras en Suelos Dragados	114
3.8.1.1	Grado de Saturación del Suelo.....	114
3.8.1.2	Esponjamiento de Suelos.	114
3.8.1.3	Metrados.	114
3.8.1.4	Análisis de Costos Unitarios en el Canal de Navegación los Uros Tramo II.	114
3.8.1.4.1	Excavación de Material Suelto Bajo Agua.	114
3.8.1.4.2	Traslado de Material Extraído.	115
3.8.1.4.3	Descarga y Conformación de Relleno para Descanso de Aves.	116
3.8.1.5	Presupuesto.	117

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PROPIEDADES DE SUELOS DRAGADOS.....	118
4.1.1	Relación de Vacíos	118
4.1.2	Grado de Saturación.....	120
4.1.3	Características de un Suelo Orgánico	121
4.1.4	Tipos de Suelo Orgánico.....	122
4.1.5	Consistencia del Suelo Orgánico	124
4.1.6	Compresibilidad del Suelo Orgánico	125
4.1.7	Determinación del Factor de Esponjamiento.....	126



4.1.8	Incidencia del Factor de Esponjamiento en Costos de Excavación, Traslado y Descarga.	130
4.1.9	Análisis Estadístico.....	136
V.	CONCLUSIONES.....	143
VI.	RECOMENDACIONES	144
VII.	REFERENCIAS.....	145
	ANEXOS.....	147

TEMA: Factor de esponjamiento en suelos dragados

ÁREA: Geotecnia

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Geotecnia

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de enero de 2020.



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 TIPOS DIFERENTES DE CURVAS GRANULOMETRICAS	25
FIGURA 2-2 (A) ELEMENTOS DE SUELO EN ESTADO NATURAL; (B) TRES FASES DEL ELEMENTO DE SUELO	26
FIGURA 2-3 FASES SEPARADAS DE UN SUELO CON VOLUMEN DE SOLIDOS IGUAL A 1....	29
FIGURA 2-4 SUELO SATURADO CON VOLUMEN DE SOLIDOS DE SUELO IGUAL A 1	31
FIGURA 2-5 LIMITES DE ATTERBERG	32
FIGURA 2-6 EQUIPO PARA LA PRUEBA	33
FIGURA 2-7 DIMENSIONES DEL RANURADOR	33
FIGURA 2-8 CARTA DE PLASTICIDAD	34
FIGURA 2-9 NOMBRES DE GRUPO DE SUELOS TIPO GRAVA Y ARENOSOS (ASTM 1998).....	37
FIGURA 2-10 NOMBRES DE GRUPO DE SUELOS LIMOSOS, INORGANICOS Y ARCILLOSOS	38
FIGURA 2-11 NOMBRES DE GRUPO DE SUELOS LIMOSOS ORGANICOS Y ARCILLOSOS (ASTM 1998)	39
FIGURA 3-1 ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO	40
FIGURA 3-2 UBICACIÓN DE LA ISLA DE LOS UROS, TAQUILE Y AMANTANI.....	40
FIGURA 3-3 CROQUIS PARA LLEGAR A LA ZONA DE ESTUDIO	41
FIGURA 3-4 TIPO DE SUELO CLASIFICADO SEGÚN EXP. TECNICO MODIFICADO.....	42
FIGURA 3-5 DRAGADO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN LOS UROS TRAMO II	43
FIGURA 3-6 LONGITUD DEL TRAMO DE ESTUDIO	43
FIGURA 3-7 TIPOS DE BARRENOS A) POSTEADORA; B) HELICOIDAL	46
FIGURA 3-8 COTA RASANTE DURANTE SEGÚN EXPEDIENTE TÉCNICO	48
FIGURA 3-9 COTA DEL NIVEL DE AGUA PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS	48
FIGURA 3-10 PARADERO TERRESTRE "KALAPAJRA"	49
FIGURA 3-11 ARMADO DEL BARRENO TIPO POSTADORA Y MEDICIÓN DE SU LONGITUD.50	
FIGURA 3-12 UBICACIÓN DE PUNTOS CON HITO Y PROGRESIVAS CON GPS NAVEGADOR50	
FIGURA 3-13 ISLA DE LOS UROS - PUNO	51
FIGURA 3-14 TOMA DE MUESTRAS DE TURBA CON EL BARRENO TIPO POSTEADORA	51
FIGURA 3-15 SEÑALIZACIÓN EN EL CANAL DE NAVEGACIÓN.....	52
FIGURA 3-16 TOMA DE MUESTRAS DE SUELO ORGÁNICO	52
FIGURA 3-17 TOMA DE MUESTRAS: ARCILLA ORGÁNICA Y LIMO ORGÁNICO RESPECTIVAMENTE	53
FIGURA 3-18 REGISTRO Y GUARDADO DE MUESTRAS	53
FIGURA 3-19 UBICACIÓN DE BOTADEROS	54
FIGURA 3-20 TOMA DE MUESTRAS DE 0.30X0.30X0.30 EN LOS BOTADEROS.....	54
FIGURA 3-21 TRASLADO DE MUESTRAS AL LABORATORIO DE SUELOS.....	55
FIGURA 3-22 PESO DE TARAS VACIAS DE ALUMINIO Y HORNO DE SECADO	57
FIGURA 3-23 MUESTRA LLEVADA A HORNO Y ENFRIADA UNOS 15 MINUTOS ANTES DE PESAR	58
FIGURA 3-24 TOMA DE DATOS DE LOS PESOS RETENIDOS EN CADA MALLA Y JUEGO DE TAMICES	61
FIGURA 3-25 CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	64
FIGURA 3-26 CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	66
FIGURA 3-27 MUESTRA DESPUES DE TAMIZADO POR LA MALLA N40.....	68
FIGURA 3-28 CORTE DE LA PASTA DE SUELO CON EL RANURADOR EN LA CUCHARA DE CASAGRANDE.....	68
FIGURA 3-29 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL LÍMITE LÍQUIDO	69
FIGURA 3-30 LÍMITE LÍQUIDO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	71
FIGURA 3-31 LÍMITE LÍQUIDO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	72
FIGURA 3-32 CILINDROS DE 3 MM Y 10 CM DE LARGO PARA EL LÍMITE PLÁSTICO	74
FIGURA 3-33 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL LÍMITE PLÁSTICO	74
FIGURA 3-34 GRÁFICO DE PLASTICIDADES	81
FIGURA 3-35 RESUMEN DE LA UBICACIÓN DEL SUELO ORGÁNICO EN LA CARTA DE PLASTICIDAD	82
FIGURA 3-36 PREPARACION DE LA PARAFINA DERRETIDA	84
FIGURA 3-37 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL PESO SUMERGIDO DE LA MUESTRA ..	84



FIGURA 3-38 MUESTRA SUMERGIDA SIN TOCAR LAS PAREDES DEL CILINDRO DE VIDRIO	85
FIGURA 3-39 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LA PARAFINA EN LABORATORIO ...	85
FIGURA 3-40 PESO Y VOLUMEN (250 ML) DEL PICNOMETRO	92
FIGURA 3-41 MUESTRA APROXIMADA PARA EL PICNOMETRO DE 250 CM ³	93
FIGURA 3-42 MUESTRA HUMEDA EN EL PICNOMETRO Y BAÑO MARIA	93
FIGURA 3-43 ELIMINACIÓN DEL AIRE ATRAPADO Y CORRECCIÓN CON EL TERMOMETRO	94
FIGURA 3-44 MOLDE PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN	99
FIGURA 3-45 OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DEL MOLDE	99
FIGURA 3-46 MUESTRA REMOLDEADA CON PLÁSTICO ALREDEDOR	100
FIGURA 3-47 ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN EL EQUIPO TRIAXIAL	100
FIGURA 3-48 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	105
FIGURA 3-49 CÍRCULO DE MOHR DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	105
FIGURA 3-50 VERIFICACIÓN DE LA DIMENSIONES DEL MOLDE (MTC E 203-2000)	107
FIGURA 3-51 MUESTRA SECA CON GRUMOS, DESHACIENDO CON LA COMBA DE GOMA	107
FIGURA 3-52 PESO DEL MOLDE CILÍNDRICO VACÍO	108
FIGURA 3-53 ENRASE DE LA MUESTRA EN EL MOLDE CILÍNDRICO	108
FIGURA 3-54 PESO DE LA MUESTRA MÁS EL MOLDE CILÍNDRICO COMO MINIMO 3 VECES	108
FIGURA 4-1 RESULTADOS DE LA CLASIFICACION DE SUELO ORGANICO	122
FIGURA 4-2 GRAFICO DE PLASTICIDADES	123
FIGURA 4-3 COMPARACIÓN ENTRE EL PRESUPUESTO CON ARCILLA ORGÁNICA	132
FIGURA 4-4 COMPARACION DE COSTOS ENTRE FACTORES DE ESPONJAMIENTO	134
FIGURA 4-5 COMPARACIÓN ENTRE EL FACTOR DE ESPONJAMIENTO Y EL GRADO DE SATURACIÓN	134
FIGURA 4-6 COMPARACIÓN ENTRE EL FACTOR DE ESPONJAMIENTO Y EL CONTENIDO DE HUMEDAD	135
FIGURA 4-7 COMPARACIÓN ENTRE LA COHESIÓN Y HUMEDAD EN ARCILLAS ORGÁNICAS	135
FIGURA 4-8 COMPARACIÓN ENTRE LA COHESIÓN Y GRADO DE SATURACIÓN EN ARCILLAS ORGÁNICAS	136
FIGURA 4-9 COMPARACIÓN ENTRE LA COHESIÓN Y EL FACTOR DE ESPONJAMIENTO EN ARCILLAS ORGÁNICAS	136
FIGURA 4-10 INGRESO DE DATOS EN EL PROGRAMA SPSS PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES	137
FIGURA 4-11 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS DE DATOS	137
FIGURA 4-12 PROCESAMIENTO DE VARIABLES PARA ANALIZAR	138
FIGURA 4-13 PROCEDIMIENTO PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA VARIANZA	140
FIGURA 4-14 ASIGNACIÓN DE VARIABLES PARA LA VARIANZA	140
FIGURA 4-15 DEFINICIÓN DE GRUPOS PARA LA VARIANZA	141
FIGURA 4-16 ASIGNACIÓN DEL INTERVALO DE CONFIANZA	141



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2-1 LIMITES DE TAMAÑO DE SUELOS SEPARADOS	24
TABLA 2-2 TAMAÑO DE MALLAS STANDAR EN ESTADOS UNIDOS	25
TABLA 2-3 SIMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS TIPO GRAVA (SUCS)	35
TABLA 2-4 SIMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS ARENOSOS (SUCS)	36
TABLA 2-5 SIMBOLOS DE GRUPO PARA SUELOS LIMOSOS Y ARCILLOSOS	36
TABLA 3-1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	41
TABLA 3-2 NÚMERO DE MUESTRAS A EXTRAER	45
TABLA 3-3 PROGRESIVA DE CADA MUESTRA A EXTRAER	45
TABLA 3-4 COTAS PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS	49
TABLA 3-5 CANTIDAD MINIMA DE ESPECIMEN DE MATERIAL HUMEDO	57
TABLA 3-6 CONT. HUMEDAD DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGANICA)	58
TABLA 3-7 CONT. HUMEDAD DE LA MUESTRA G (LIMO ORGANICO)	59
TABLA 3-8 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	60
TABLA 3-9 CANTIDAD MÍNIMA PARA REALIZAR EL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA	61
TABLA 3-10 REGISTRO DE PESOS DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	62
TABLA 3-11 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	62
TABLA 3-12 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (MUESTRA A)	63
TABLA 3-13 REGISTRO DE PESOS DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	64
TABLA 3-14 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	65
TABLA 3-15 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL (MUESTRA G)	66
TABLA 3-16 CONT. DE HUMEDAD DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	69
TABLA 3-17 LIMITE LIQUIDO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	70
TABLA 3-18 CONT. DE HUMEDAD DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	71
TABLA 3-19 LIMITE LIQUIDO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	72
TABLA 3-20 RESUMEN DEL ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	73
TABLA 3-21 LÍMITE PLÁSTICO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	75
TABLA 3-22 LÍMITE PLÁSTICO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	76
TABLA 3-23 RESUMEN DEL ENSAYO DE LÍMITE PLÁSTICO	77
TABLA 3-24 RESUMEN DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD	78
TABLA 3-25 CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS EXTRAIDAS	79
TABLA 3-26 RESUMEN DEL SUELO ORGÁNICO	80
TABLA 3-27 SÍMBOLO Y DENOMINACIÓN DEL SUELO ORGÁNICO	82
TABLA 3-28 DIMENSIONES DEL MOLDE PARA EL ENSAYO DE DENSIDAD DE LA PARAFINA	86
TABLA 3-29 PESO ESPECIFICO DE LA PARAFINA	86
TABLA 3-30 DENSIDAD DE MASA DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	87
TABLA 3-31 DENSIDAD DE MASA DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	88
TABLA 3-32 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD DE MASA	89
TABLA 3-33 FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y DENSIDAD DEL AGUA	91
TABLA 3-34 CANTIDAD DE MUESTRA PARA EL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA	92
TABLA 3-35 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	95
TABLA 3-36 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	96
TABLA 3-37 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA	98
TABLA 3-38 CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS SATURADAS EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	98
TABLA 3-39 DIMENSIONES DEL MOLDE	101
TABLA 3-40 COLOCACIÓN DE LA MUESTRA EN EL MOLDE	102
TABLA 3-41 REGISTRO DE DATOS DE LAS MUESTRAS	102
TABLA 3-42 DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO EN EL ENSAYO N°1 DE LA MUESTRA A ...	104
TABLA 3-43 DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO EN EL ENSAYO N°2 DE LA MUESTRA A ...	104
TABLA 3-44 VOLUMEN DEL MOLDE SEGUN EL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO	109
TABLA 3-45 DIMENSIONES DEL MOLDE CILÍNDRICO	109
TABLA 3-46 VOLUMEN DEL MOLDE CILÍNDRICO	110
TABLA 3-47 PESO ESPECÍFICO SUELTO DE LA MUESTRA A (ARCILLA ORGÁNICA)	110
TABLA 3-48 PESO ESPECÍFICO SUELTO DE LA MUESTRA G (LIMO ORGÁNICO)	111



TABLA 3-49 RESUMEN DE RESULTADOS DEL PESO ESPECÍFICO SUELTO	112
TABLA 3-50 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	113
TABLA 3-51 METRADOS DE MOVIMIENTO DE TIERRAS SEGÚN EXP. TECNICO	114
TABLA 3-52 PARTIDA DE EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA.....	115
TABLA 3-53 PARTIDA DE TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	116
TABLA 3-54 PARTIDA DE DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO PARA DESCANSO DE AVES	116
TABLA 3-55 PRESUPUESTO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CON F.E. DE 1.00	117
TABLA 4-1 RESULTADOS DE LA RELACION DE VACIOS	120
TABLA 4-2 GRADO DE SATURACION DE SUELOS	120
TABLA 4-3 RESULTADOS DEL GRADO DE SATURACION	121
TABLA 4-4 CARACTERÍSTICAS DE UN SUELO ORGÁNICO	122
TABLA 4-5 OBTENCION DEL TIPO DE SUELO ORGANICO	124
TABLA 4-6 CONSISTENCIA DE LAS ARCILLAS SATURADAS EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	124
TABLA 4-7 RESULTADOS DE LA CONSISTENCIA DE ARCILLA ORGANICA	125
TABLA 4-8 COMPRESIBILIDAD DE UN SUELO.....	125
TABLA 4-9 RESULTADOS DE COMPRESIBILIDAD DE SUELOS ORGÁNICOS	126
TABLA 4-10 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE ESPONJAMIENTO EN ARCILLA ORGÁNICA	128
TABLA 4-11 RESULTADOS DE LOS FACTORES DE ESPONJAMIENTO EN LIMO ORGÁNICO	128
TABLA 4-12 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ESPONJAMIENTO.....	129
TABLA 4-13 METRADOS DE ACUERDO AL TIPO DE SUELO	130
TABLA 4-14 RESUMEN DE METRADOS PARA SUELOS ORGÁNICOS	130
TABLA 4-15 PRESUPUESTO INICIAL CON ARCILLA ORGÁNICA	131
TABLA 4-16 PRESUPUESTO CONSIDERANDO EL FACTOR DE ESPONJAMIENTO EN ARCILLA ORGÁNICA.....	131
TABLA 4-17 PRESUPUESTO INICIAL CON LIMO ORGÁNICO	132
TABLA 4-18 PRESUPUESTO CONSIDERANDO EL FACTOR DE ESPONJAMIENTO EN LIMO ORGÁNICO.....	133
TABLA 4-19 PRESUPUESTO DE MOVIMIENTO DE TIERRAS CONSIDERANDO EL SUELO ORGÁNICO.....	133
TABLA 4-20 RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE CASOS	138
TABLA 4-21 RESULTADOS ESTADÍSTICOS	139
TABLA 4-22 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE NORMALIDAD	139
TABLA 4-23 NORMALIDAD DEL FACTOR DE ESPONJAMIENTO.....	140
TABLA 4-24 ESTADÍSTICA DE GRUPO DE SUELOS ORGÁNICOS	141
TABLA 4-25 RESULTADOS DEL T STUDENT PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES	142
TABLA 4-26 IGUALDAD DE VARIANZA.....	142
TABLA 4-27 ACEPTACIÓN DE HIPÓTESIS ALTERNATIVA	142



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

Y	: Variación de costos
X	: Factor de esponjamiento
V _s	: Volumen de sólidos del suelo
V _v	: Volumen de vacíos
V _w	: Volumen de agua en los vacíos
V _a	: Volumen de aire en los vacíos
W _s	: Peso de los sólidos del suelo
W _w	: Peso del agua
e	: Relación de vacíos
n	: Porosidad
S	: Grado de saturación
γ	: Peso específico
γ _d	: Peso específico seco
p	: Densidad
p _s	: Densidad seca
m	: Masa total de la muestra de suelo
m _s	: Masa de sólidos de suelo en la muestra
g	: Aceleración de la gravedad
γ _{sat}	: Peso específico saturado del suelo
p _{sat}	: Densidad saturada
p _w	: Densidad del agua
LL	: Limite líquido
LP	: Limite plástico
LI	: Índice de liquidez
N	: Número mínimo de estaciones de muestreo
S	: Superficie del área objeto del dragado, excluida la superficie de las zonas tipos M y C, expresada en metros cuadrados.
25* √S	: Superficie representada por cada estación de muestreo suponiendo una distribución equidistante de las mismas.
w (%)	: Contenido de humedad del suelo
γ parafina	: Peso específico de la parafina



γ sólidos	: Peso específico de solidos
γ suelto	: Peso específico suelto
γ_d suelto	: Peso específico seco suelto
Gs	: Gravedad especifica
FE	: Factor de esponjamiento
u	: Media aritmética.
σ^2	: Varianza.
σ	: Desviación estándar.
H ₀	: Hipótesis nula.
H ₁	: Hipótesis alternativa.
α	: Nivel de significancia.
Z ₀	: Estadístico de prueba.
ASTM	: American Society of Testing Materials.
NTP	: Norma técnica peruana.



RESUMEN

El presente tema de investigación se realizó en el Canal de Navegación los Uros Tramo II - Puno, que comprendió desde la Isla de los Uros hasta unos cuatro kilómetros en dirección a la Isla de Taquile, El Factor de Esponjamiento planteado inicialmente en el dragado de dicho canal, fue de 1.0, sin embargo, estas muestras fueron sacadas de una profundidad diferente a la que indicaba la cota rasante del Expediente Técnico Reformulado y el resumen de estudio geotécnico indicaba que era suelo inorgánico. El objetivo de la investigación es conocer las propiedades de un suelo dragado, cuando se tiene la presencia constante de agua, presencia de suelo orgánico, plasticidad, cohesión, consistencia, entre otros. El procedimiento de campo fue realizado en agosto del año 2018, donde consistió en extraer muestras representativas a una cota rasante aproximada de 3,805.30 m.s.n.m, mediante un barreno tipo posteadora, para luego poder identificarlas y tomar muestras de mayores dimensiones en los botaderos del canal, con las muestras extraídas y con el uso del laboratorio de suelos, se pudo identificar dos tipos de suelos orgánicos como son: arcilla orgánica y limo orgánico, donde se pudo obtener el factor de esponjamiento para arcillas orgánicas de 1.05 y para limos orgánicos de 1.11. En partidas de movimiento de tierras en dragados, el mayor costo que se genera en una obra de dragado, son las partidas de excavación, transporte y descarga de material dragado, donde se pudo identificar que estas inciden con el factor de esponjamiento; se llegó a concluir que, el presupuesto de las partidas de excavación, transporte y descarga de materiales dragados en el canal de navegación de los Uros Tramo II en Puno, son mayores en un 4.41%, esto debido a que, se encontraron suelos orgánicos que no fueron considerados inicialmente.

Palabras Claves: Factor de Esponjamiento, arcilla orgánica, limo orgánico, dragado, movimiento de tierras.



ABSTRACT

The present research topic was carried out in the Navigation Channel Uros Section II, which comprises from the Uros Island up to four kilometers towards the Island of Taquile, The Sponge Factor initially raised in the dredging of said channel, was 1.0, however, these samples were taken from a different depth than the level indicated in the Reformulated Technical File and the geotechnical study summary indicated that it was inorganic soil. The objective of the research was to know the properties of a dredged soil, when it has the constant presence of water, presence of organic soil, plasticity, cohesion, consistency, among others. The field procedure was carried out in August of year 2018, where it consisted of extracting representative samples at an approximate level of 3.805.30 m.s.n.m, by means of a post hole type in said channel, in order to later identify them and take larger samples in the dumps of the canal, With the extracted samples and with the use of the soil laboratory, a more approximate value of the swelling factor could be determined, where two types of organic soils could be identified, such as: organic clay and organic silt. where it was possible to obtain the sponge factor for organic clays of 1.05 and for organic silts of 1.11, In dredged earthmoving items, the highest cost generated in a dredging work, they are the excavation, transport and discharge items of dredged material, where it was possible to identify that they affect the sponge factor; it was concluded that, the budget for the excavation, transport and discharge of dredged materials in the Uros Section II navigation channel in Puno, they are 4.41% higher, this is because organic soils were found that were not initially considered.

Keywords: Spinging factor, organic clay, organic slime, dredging, earth movements.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las actividades sobre mejoramiento de canales de navegación mediante dragados en la Bahía Interior del Lago Titicaca, se tuvo el tramo que comprende desde la Isla de los Uros hasta unos cuatro kilómetros en dirección a las Islas de Taquile y Amantani, en dicho tramo se han observado las siguientes dificultades:

- Se realizó un estudio preliminar de suelos del dragado en el canal, donde se obtuvo que, el material de evaluación clasificado fue arcilla y limo inorgánico, sin embargo, durante la extracción de muestras se pudo evidenciar que el material dragado fue orgánico casi en su totalidad. Es decir que se estudió propiedades del suelo que no estaban sujetos a la realidad de dicho canal.
- El estudio preliminar del canal de navegación indicó un factor de esponjamiento de 1.00, sin embargo, la profundidad donde se sacaron las muestras durante el Expediente Técnico Reformulado, no fue la misma que indicaba la cota rasante de donde se debió sacar las muestras.
- En las actividades de acomodo lateral de suelo dragado, hace que, con el paso del tiempo, este suelo se erosione nuevamente, debido a que con el paso de lanchas mueven el suelo hacia el fondo, lo que ocasiona que la profundidad para poder trasladarse disminuya a medida que pase el tiempo, lo que ocasionaría nuevos proyectos de mejoramiento de dragados en los canales de navegación de los Uros.
- Una de las actividades principales que sirve de sustento básico para la población de la Isla de los Uros, es el turismo, si la profundidad del canal disminuye, ocasionaría que las condiciones de navegabilidad no sean adecuadas, lo que afectaría considerablemente en el turismo.
- Debido a que no se conoce con aproximación el factor de esponjamiento en el canal de navegación de los Uros Tramo II, las partidas de excavación, traslado y descarga están sujetos a tablas y normas, que no cuentan con un estudio de suelos sujetos a estudios más específicos, es por ello que los costos aumentan considerablemente si se trata de tramos largos, como sucedió en este canal.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema General

La investigación responde a las siguientes interrogantes generales:

- ¿Es posible determinar los factores de esponjamiento en suelos dragados en el canal de navegación los Uros y cuál será su incidencia en los costos de excavación, traslado y descarga?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Es posible determinar los factores de esponjamiento en suelos dragados en el canal de navegación los Uros y cuál será su incidencia en los costos de excavación?
- ¿Es posible determinar los factores de esponjamiento en suelos dragados en el canal de navegación los Uros y cuál será su incidencia en los costos de traslado?
- ¿Es posible determinar los factores de esponjamiento en suelos dragados en el canal de navegación los Uros y cuál será su incidencia en los costos de descarga?

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General

- Existe una diferencia entre los factores de esponjamiento en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno - 2018

1.3.2 Hipótesis Específica

- Existe una diferencia de los factores de esponjamiento entre la arcilla orgánica y limo orgánico en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno - 2018

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

La justificación indica el por qué y para qué del estudio de investigación, el estudio tiene como fin obtener los factores de esponjamiento, dependiendo de los tipos de suelos dragados, para que a partir de este valor podamos comparar los costos de excavación, traslado y descarga del suelo dragado.

El estudio de investigación es necesario e importante, necesario porque ayudara a elaborar obras con cierta aproximación sobre el control de costos de excavación, traslado y descarga de suelo dragado.

De acuerdo a su conveniencia, es conveniente la investigación, puesto que sirve para adoptar valores de esponjamiento más aproximado a un área de delimitación (canal de



navegación los uros Tramo II de Puno), a los que estamos anteriormente sujetos a solo cuadros y reglamentos de construcción.

con respecto a su relevancia social, se generan las siguientes interrogantes:

¿Cuál es su trascendencia para la sociedad?, es trascendente porque ayudara a elaborar presupuestos más aproximados sobre dragados en la localidad de los Uros, de esta manera serán más viables de aprobación por su costo más aproximado.

¿Quiénes de beneficiaran con los resultados de la investigación? En esta situación los que se benefician serán los pobladores de los Uros puesto que ya no tendrán que recorrer tramos largos para llegar a sus destinos, esto atraerá más turismo, con la reducción del costo de los pasajes para dichas localidades.

Con respecto a su valor teórico, quiere decir si ¿se podrán generalizar los resultados a principios más altos?, el factor de esponjamiento dependerá del tipo de suelo, el comportamiento será diferente en arcillas, en limos, etc. Se podrá usar en toda un área delimitado si los estratos son similares, de acuerdo a ello recién se podrá discutir si se podrá llegar a principios más altos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Determinación de los factores de esponjamiento para suelos dragados y conocer su incidencia en los costos de excavación, traslado y descarga, en el Canal de Navegación los Uros, Puno - 2018.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades del suelo dragado.
- Obtener los factores de esponjamiento del suelo dragado en el canal de navegación de los Uros.
- Determinar la incidencia de los factores de esponjamiento en los costos de excavación, traslado y descarga de suelo dragado.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Antecedentes

(Andrade Lam & Ramirez Alvarado, 2009), indican los siguientes alcances respecto al movimiento de tierras y la importancia del factor de esponjamiento.

CONCLUSIONES:

- El factor de esponjamiento es determinante al momento de calcular movimientos de tierras, en la fase previa a la ejecución, pues si no se considera al elaborar el presupuesto, se estará omitiendo la necesidad de mayor cantidad de equipos, tal como el volquete y al momento de la construcción, se reflejará la pérdida de dinero por el hecho de no haber ofertado incluyendo la variación volumétrica del material.
- Cabe recalcar que el esponjamiento se compensa su costo en el Análisis de Precios Unitarios y rendimiento de equipos, nunca debe considerarse como un volumen de obra adicional.

(Ahmed Hamad, 2011), indica:

CONCLUSIONES

- El lugar de descarga es uno de los elementos que más influyen en el costo de dragado, definir la distancia de transporte y el método de transporte puede ayudar a definir el tipo de draga. La deposición puede efectuarse en tierra, en zonas de aguas de mayor profundidad.
- Debe tenerse en cuenta que en muchas oportunidades el equipo ideal para la ejecución del trabajo no está disponible en la flota del contratista sea porque no lo tiene o porque está ocupado en otras tareas de dragado o porque el área geográfica donde hay que realizar las tareas se encuentra muy alejada. Por ello en oportunidades se realizan algunas tareas con los equipos disponibles más que con los equipos más aptos.
- Es importante destacar que existen diversos tipos de dragas y diversas formas de emplear cada una de ellas dependiendo de las características particulares de



cada proyecto. Por otra parte, ninguna draga está diseñado para dragar en todo tipo de condiciones o sea que hay una especialización de los equipos tanto por tipo de equipo como por tamaño.

- La cantidad y tipo de material a dragar, el sitio de descarga, la disponibilidad de equipo de dragado apropiado o los costos de movilización son algunos de los factores que juegan un rol importante en la elección del tipo de draga a utilizar.

(Ortega Larrea & Pacheco Tonato, 2014), indican lo relacionado a suelos arcillosos expansivos lo siguiente:

- Por lo tanto, se puede concluir que la expansión en un suelo arcilloso es un fenómeno preponderante mucho más cuando se habla o se presenta una arcilla expansiva puesto que el factor de esponjamiento puede llegar a valores considerables lo que sin lugar a duda afecta a la producción del equipo pesado para la excavación.
- La expansión de un suelo de un suelo arcilloso, está relacionado con la densidad en banco y densidad suelta que presente este material, ya que dicha relación determina el factor de esponjamiento, coeficiente que en la eficiencia de trabajo de la maquinaria se conoce como estado del material. Este factor es directamente proporcional a la eficiencia y por ende a la producción o rendimiento que se calcule en el equipo pesado a investigarse.

(Estrada Colin, 2011), concluyen sobre el control de obras de dragado lo siguiente:

CONCLUSIONES:

- En un mundo globalizado donde el sector transporte tiene una influencia determinante para el intercambio de servicios y mercancías, los puertos por su vocación multimodal son una pieza modular debido a la capacidad de movimiento de carga en gran volumen, por lo tanto, se pone de manifiesto que el desarrollo de infraestructura marítimo-portuaria debe encontrarse a la altura de las necesidades que demandan los grandes mercados.
- En un dragado debe prevalecer el espíritu de que lo más importante es que la obra cumpla con los parámetros establecidos de tiempo, costo y calidad, en el momento de que alguno de los parámetros mencionados no se haya alcanzado empezará una cadena de conflictos que pueden llegar a converger en un



problema mayor en el que tiene que intervenir un tercero o recurrir a un peritaje, lo que llevaría a pérdidas económicas grandes.

2.1.2 El Suelo

2.1.2.1 Introducción

El suelo es un término muy usado en la elaboración, ejecución y control de obras, es por eso que es muy importante conocer las propiedades que estos presentan, ya que tener un desconocimiento en sus propiedades como expansión, colapsabilidad, cohesión, adherencia, consistencia, resistencia, etc. Haría que estructuras se derrumben o pierdan su valor para los que fueron diseñados.

El registro del primer uso del suelo como material de construcción se perdió en la antigüedad. Durante años, el arte de la ingeniería de suelos se basó únicamente en experiencias. Sin embargo, con el crecimiento de la ciencia y la tecnología, la necesidad de mejores y más económicos diseños estructurales se volvió crítica. Esto condujo a un estudio detallado de la naturaleza y propiedades del suelo en su relación con la ingeniería. La publicación *Erdbaumechnik*, por Karl Terzaghi en 1925, dio origen a la mecánica de suelos moderna. (M. Das, 2001)

2.1.2.2 Definición.

Suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas. (M. Das, 2001)

Es necesario diferenciar algunos conceptos importantes relacionados al suelo:

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y de la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica y descomposición química de rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica. (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

2.1.2.3 Depósitos de Suelo Natural.

El suelo es producido por intemperismo, es decir, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos. Algunos suelos permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan y se llaman suelos residuales. En contraste, algunos productos intemperados son transportados por medio de procesos físicos a otros lugares y depositados. Esos se llaman suelos transportados. (M. Das, 2001)



Además, se clasifican en:

- Aluviales o fluviales: depositados por agua en movimiento
- Glaciales: depositados por acción glaciaria
- Eólicos: depositados por acción del viento

Es necesario señalar que el lugar donde se extrajeron las muestras para la investigación es de un canal de navegación perteneciente al Lago Titicaca de la ciudad de Puno, es por eso que las muestras obtenidas para los ensayos son suelos transportados, que están definidos como fluviales.

2.1.2.4 Materiales Componentes del Suelo

2.1.2.4.1 La Grava

Las gravas son fragmentos de rocas ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales. (M. Das, 2001)

2.1.2.4.2 La Arena

Las partículas de arena están formadas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales. (M. Das, 2001)

2.1.2.4.3 Limo

Los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos. (M. Das, 2001)

2.1.2.4.4 Arcilla

Las arcillas son principalmente partículas submicroscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. (M. Das, 2001)

Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua” (la plasticidad es la propiedad tipo masilla de las arcillas cuando contienen cierta cantidad de agua). (M. Das, 2001)

2.1.2.4.5 Turba

Las turbas se derivan de la descomposición de materiales orgánicos encontrados en áreas de poca altura donde el nivel freático está cerca o arriba de la superficie del terreno. La presencia de un nivel alto del agua freática ayuda o soporta el crecimiento de plantas acuáticas, que, al descomponerse, forman turba. (M. Das, 2001)

Algunos suelos contienen, además, materia orgánica en diversas formas y cantidades; en las turbas, estas materias predominan y consisten en residuos vegetales parcialmente descompuestos. (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

2.1.2.4.6 Suelo Orgánico

Cuando un porcentaje relativamente grande de turba se mezcla con suelo inorgánico, se le denomina suelo orgánico. (M. Das, 2001)

2.1.2.5 Tamaño de las Partículas de Suelo

Los suelos en general son llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. (M. Das, 2001)

Tabla 2-1 Limites de tamaño de suelos separados

Nombre de la organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Funcionarios del Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas) < 0.075	

Fuente: (M. Das, 2001)

Actualmente se usa más el SUCS para clasificar los suelos que dependerán de la mayor cantidad de granos que contengan puesto que los suelos estarán en su mayoría mezclados con pequeñas cantidades de limo, arcilla, materia orgánica u otros.

2.1.2.6 Propiedades del Suelo

2.1.2.6.1 Densidad de Sólidos

La densidad de sólidos de suelos se usa en varios cálculos de la mecánica de suelos. La densidad de sólidos se determina exactamente en laboratorio. (M. Das, 2001)

2.1.2.6.2 Análisis Mecánico del Suelo.

El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. (M. Das, 2001)

- Análisis por cribado.

Se pasa por una serie de mallas cada vez más pequeñas, estas aberturas tienen dimensiones como se muestra a continuación:

Tabla 2-2 Tamaño de mallas standar en Estados Unidos

Malla No.	Abertura (mm)
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
16	1.180
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075
270	0.053

Fuente: (M. Das, 2001)

- Curva de distribución granulométrica

La curva de distribución granulométrica muestra no solo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas. (M. Das, 2001)

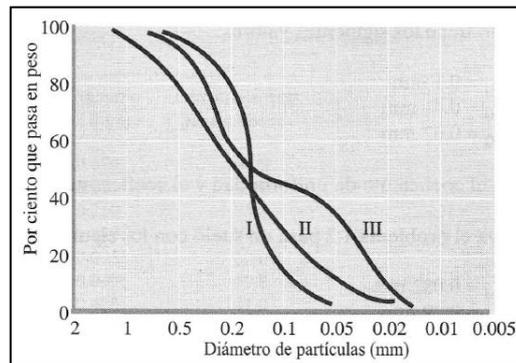


Figura 2-1 Tipos diferentes de curvas granulometricas

Fuente: (M. Das, 2001)

(M. Das, 2001), indica algunos comentarios sobre la tabla 2.1

La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño y se llama suelo mal graduado. La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama bien graduado. Un suelo bien graduado tiene un coeficiente de

uniformidad mayor de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 (para gravas y arenas). Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas. La curva III representa tal suelo y se llama de granulometría discontinua.

2.1.3 Relaciones Volumétricas y Gravimétricas.

Toda masa de suelo contiene entre sus partículas una fase sólida, líquida y gaseosa que están estrechamente mezcladas entre sí, sin embargo, se suelen separar con fines de investigación.

La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida); la líquida por el agua (libre, específicamente), aunque en los suelos pueden existir otros líquidos de menor significación; la fase gaseosa comprende sobre todo el aire, si bien pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.). (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

La capa viscosa del agua adsorbida que presenta propiedades intermedias entre la fase sólida y líquida, suele incluirse en esta última, pues es susceptible de desaparecer cuando el suelo es sometido a una fuerte evaporación (secado). (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

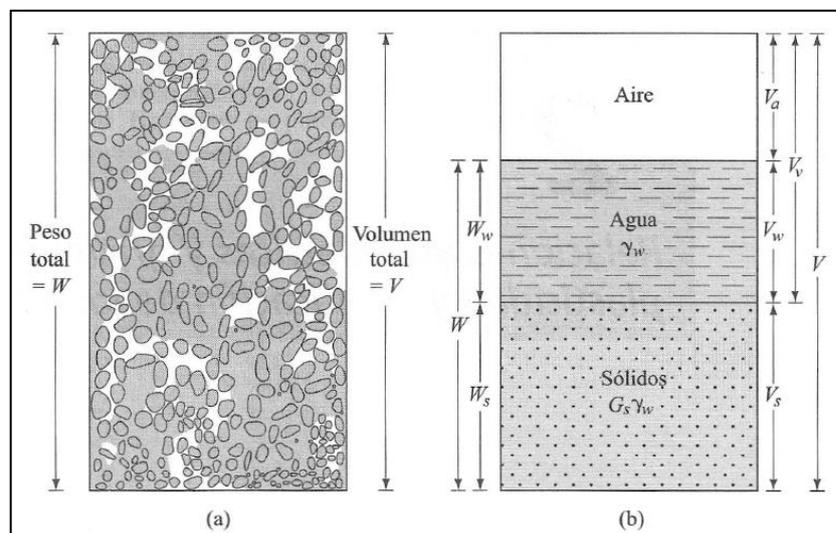


Figura 2-2 (a) Elementos de suelo en estado natural; (b) tres fases del elemento de suelo

Fuente: (M. Das, 2001)

De la figura anterior se puede apreciar que:



$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Donde:

$V_s =$ Volumen de sólidos del suelo

$V_v =$ Volumen de vacíos

$V_w =$ Volumen de agua en los vacíos

$V_a =$ Volumen de aire en los vacíos

Debemos considerar que, el peso del aire es despreciable.

$$W = W_s + W_w$$

Donde:

$W_s =$ peso de los sólidos del suelo

$W_w =$ peso del agua

2.1.3.1 Relaciones Volumétricas.

Las relaciones volumétricas comúnmente usadas para las tres fases en un elemento de suelo son la relación de vacíos, porosidad y grado de saturación. (M. Das, 2001)

- Relación de vacíos (e)

Expresada como: $e = \frac{V_v}{V_s}$

- Porosidad (n)

Expresada como: $n = \frac{V_v}{V}$

- Grado de saturación (S)

Expresada como: $S = \frac{V_w}{V_v}$

La porosidad se puede expresar en función de la relación de vacíos como:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

2.1.3.2 Relaciones Gravimétricas

Las relaciones gravimétricas son el contenido de humedad y el peso específico. El contenido de humedad (w) se llama también contenido de agua y se define como la relación del peso de agua entre el peso de sólidos en un volumen dado de suelo. (M. Das, 2001)

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$



El peso específico, llamado también peso específico húmedo, es la relación entre el peso y volumen unitario de una masa de suelo.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

El peso específico seco es también importante en el estudio de las propiedades del suelo, donde se expresa:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

El peso específico seco se expresa en términos de su peso específico húmedo y contenido de humedad como:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w}{100}}$$

El peso específico se expresa en Kilo newton por metro cubico (KN/m³). Como el Newton es una unidad derivada, a veces es conveniente trabajar con densidades (ρ) del suelo. La unidad del SI de densidad es kilogramos por metro cubico (kg/m³). (M. Das, 2001)

De lo mencionado anteriormente, la densidad se expresa como:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

La densidad seca como:

$$\rho_s = \frac{m_s}{V}$$

Donde:

ρ = densidad del suelo (kg/m³)

ρ_s = densidad seca del suelo (kg/m³)

m = masa total de la muestra de suelo (kg)

m_s = masa de solidos de suelo en la muestra (kg)

Los pesos específicos del suelo en N/m³ se obtienen de las densidades en kg/m³ como:

$$\gamma = \rho * g = 9.81 * \rho$$

Además:

$$\gamma_d = \rho_d * g = 9.81 * \rho_d$$

Donde:

g = aceleración de la gravedad = 9.81 m/s²

2.1.4 Relaciones entre Peso Específico, Relación de Vacíos, Contenido de Agua y Densidad de Sólidos.

Para obtener una relación entre peso específico (o densidad), relación de vacíos y contenido de agua, considere un volumen de suelo en el que el volumen de los sólidos de suelo es 1. (M. Das, 2001)

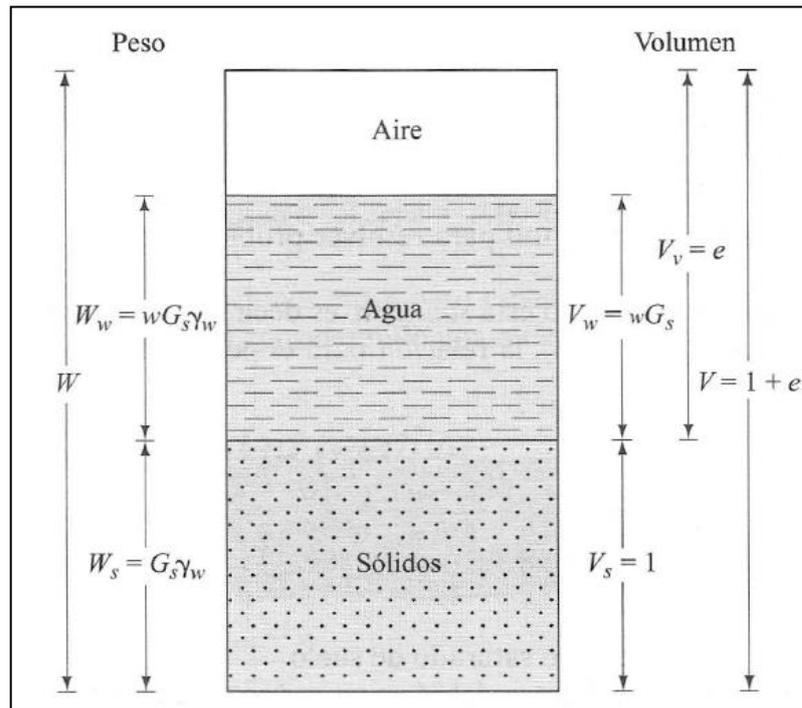


Figura 2-3 Fases separadas de un suelo con volumen de sólidos igual a 1

Fuente: (M. Das, 2001)

De la figura anterior, se sabe que la relación de vacíos (e):

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{1} = V_v$$

El volumen total quedaría definido como:

$$V = V_v + V_s = 1 + e$$

Se sabe que, la densidad de sólidos se define como:

$$W_s = G_s * \gamma_w$$

Además, el contenido de humedad:

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Entonces:

$$W_w = w * W_s = w * G_s * \gamma_w$$

De lo anterior, se define al peso específico húmedo como:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{1 + e} = \frac{G_s * \gamma_w + w * G_s * \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w) * G_s * \gamma_w}{1 + e}$$

Donde, el peso específico del agua es 9.81 m/s²

De igual manera, se define al peso unitario seco como:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + e}$$

Se sabe que, el peso específico del agua:

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

Despejando:

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w * G_s * \gamma_w}{\gamma_w} = w * G_s$$

Además, el grado de saturación (S), está definido como:

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w * G_s}{e}$$

Entonces, el grado de saturación queda definido como:

$$S = \frac{w * G_s}{e}$$

Si la muestra de suelo se encuentra saturada, es decir, que solo existen dos fases de suelo (sólido y líquido), tal como se observa en la siguiente figura:

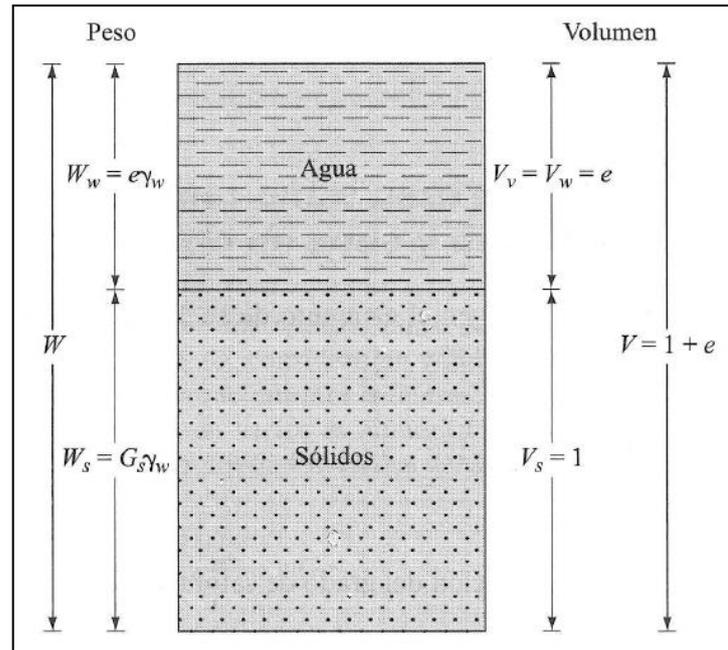


Figura 2-4 Suelo saturado con volumen de solidos de suelo igual a 1

Fuente: (M. Das, 2001)

Donde el grado de saturación es aproximadamente igual a 100%, entonces:

$$e = w * G_s$$

Determinamos el peso específico saturado:

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s * \gamma_w + e * \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) * \gamma_w}{1 + e}$$

Donde:

γ_{sat} = peso específico saturado del suelo

Es conveniente trabajar con unidades conocidas, es por eso que la densidad se expresa como:

$$\rho = \frac{(1 + w) * G_s * \rho_w}{1 + e}$$

Densidad seca:

$$\rho_d = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$

Densidad saturada:

$$\rho_{sat} = \frac{(G_s + e) * \rho_w}{1 + e}$$

Donde:

$$\rho_w = \text{densidad del agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

2.1.5 Consistencia del Suelo

A principios de 1900, un científico sueco, Albert Mauritz Atterberg, desarrollo un método para descubrir la consistencia de los suelos de grano fino con contenido de agua variables. A muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta como un sólido frágil. (M. Das, 2001)

Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominamos sólido, semisólido, plástico y líquido. Estos límites se les conocen como límites de Atterberg. (M. Das, 2001)

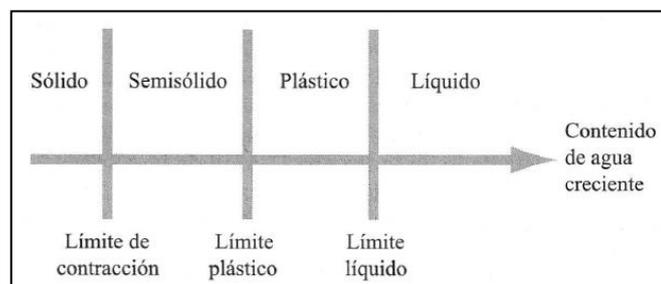


Figura 2-5 Límites de Atterberg

Fuente: (M. Das, 2001)

2.1.5.1 Límite Líquido (LL)

El equipo con el que se realiza el ensayo de límite líquido, se muestra en la siguiente figura:

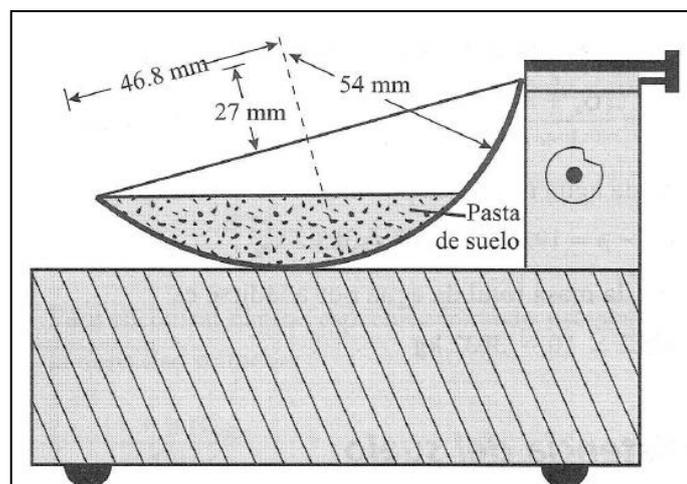


Figura 2-6 Equipo para la prueba

Fuente: (M. Das, 2001)

De la figura anterior se observa una copa de bronce, primero se debe calibrar para que dicha copa se eleve 1 centímetro para realizar el ensayo, luego se coloca sobre la base de hule duro, en la copa de bronce se pone una pasta de suelo, se deja enrasado y cortado por un ranurador en la mitad.

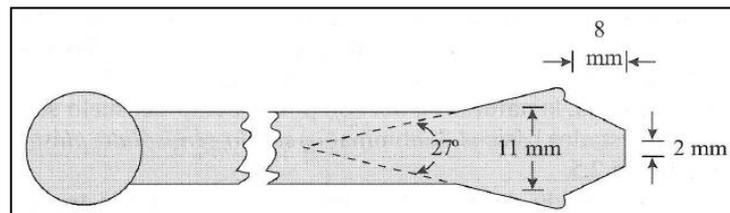


Figura 2-7 Dimensiones del ranurador

Fuente: (M. Das, 2001)

Luego la copa de bronce se deja caer a una altura de 1 cm, a razón de 2 golpes por segundo la pasta de suelo, hasta que se haya las dos pastas de suelo cortadas en 12.7 mm aproximadamente.

2.1.5.2 Índice de Liquidez

La consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural se define por una razón llamada índice de liquidez (LI). (M. Das, 2001)

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

Donde:

w = contenido de humedad del suelo

El contenido de agua “in situ” de una arcilla sensitiva es mayor que el límite líquido, en tal caso, $LI > 1$. Esos suelos, al remoldearlos, se transforman en una forma viscosa que fluye como un líquido. Los depósitos de suelos que están fuertemente sobre consolidados tienen un contenido de agua natural menor que el límite plástico. En ese caso $LI < 1$. (M. Das, 2001)

2.1.6 Carta de Plasticidad

Casagrande (1932) estudio la relación del índice de plasticidad respecto al límite líquido de una amplia variedad de suelos naturales. Con base en los resultados de pruebas, propuso una carta de plasticidad. (M. Das, 2001)

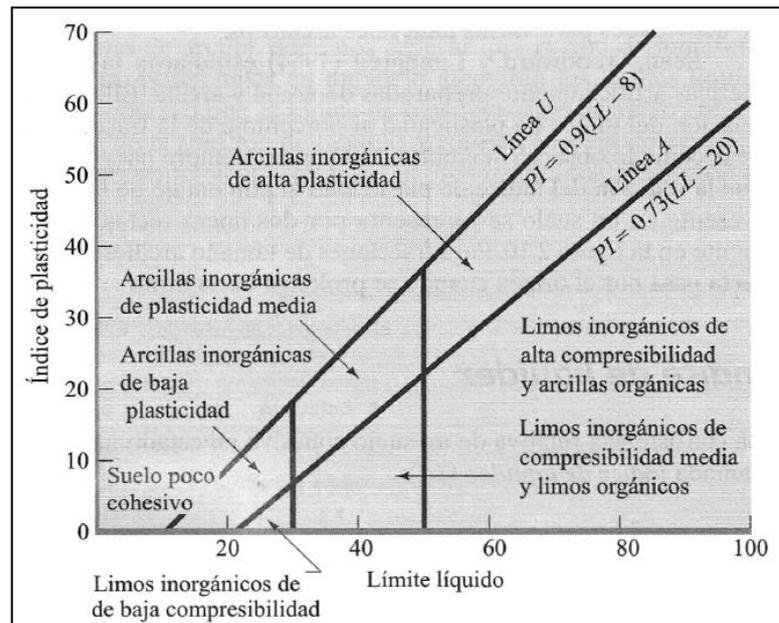


Figura 2-8 Carta de plasticidad

Fuente: (M. Das, 2001)

De la figura anterior, se puede apreciar claramente que las arcillas inorgánicas se diferencian de los limos inorgánicos y suelos orgánicos mediante la línea A, expresada de la ecuación $PI=0.73*(LL-20)$.

Sin embargo, se evidencia que los limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos, están en la misma área de intervención, lo mismo sucede con los limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas.

2.1.7 Clasificación del Suelo

2.1.7.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Fue propuesto por Casagrande en 1942 para usarse en la construcción de aeropuertos emprendida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. En cooperación con la Oficina de Restauración de Estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952. Hoy en día, es ampliamente usado por los ingenieros. (M. Das, 2001)

Para un mejor criterio diferenciamos los suelos granulares de los suelos finos según:

- Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso.

- b) Lo suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicas. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (limite líquido menor que 50)
- H: alta plasticidad (limite líquido mayor que 50)

Se tienen información en tablas acerca de la clasificación según SUCS de acuerdo a gravas, arenas, limo, arcillas y suelos orgánicos.

Tabla 2-3 Símbolos de grupo para suelos tipo grava (SUCS)

Símbolo de grupo	Criterios
GW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual que 4; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para GW
GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para GP y GC

Fuente: (M. Das, 2001)

La tabla anterior expuesta, trata de suelos con mayor cantidad de grava, por eso es que se le da primero su denominación (G), luego se le adjunta la menor cantidad de suelo con el que está mezclado.

Se requiere la siguiente información para comenzar con la clasificación de suelos según SUCS.

- a) Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2mm y es retenida en la malla No. 4 (abertura de 4.75mm)
- b) Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla No. 4 (abertura de 4.75mm) y es retenida en la malla No. 200 (abertura de 0.075mm)

- c) Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla No. 200 (abertura de 0.075mm)
- d) Coeficiente de uniformidad (C_u) y coeficiente de curvatura (C_z)
- e) Limite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla N0. 40

Para suelo arenoso, arcilloso y limoso debemos seguir la información de las siguientes tablas:

Tabla 2-4 Símbolos de grupo para suelos arenosos (SUCS)

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea A (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Fuente: (M. Das, 2001)

Tabla 2-5 Símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; $(LL - \text{seco en horno}) / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: (M. Das, 2001)

Los pasos para la clasificación son los siguientes:

- Determinar el porcentaje de suelo que pasa la malla No. 200 (F). si $F < 50\%$, se trata de un suelo de grano grueso, es decir, tenemos un suelo tipo grava o arenoso (donde $F =$ porcentaje de granos más finos que la malla No. 200), vaya al paso “b”. Si $F \geq 50\%$, se trata de un suelo de grano fino, vaya al paso “c”.
- Para un suelo de grano grueso, $(100-F)$ es la fracción gruesa en porcentaje. Determine el porcentaje de suelo que pasa la malla No. 4 y es retenido en la malla No. 200, si $F_1 < (100-F) / 2$, entonces el suelo tiene más grava que arena, por lo que es un suelo tipo grava, ir a la tabla 3.1 y figura 3.7 para el símbolo del grupo y luego vaya a la figura 3.8 para obtener el nombre de grupo propio del suelo. Si $F_1 \geq (100-F) / 2$, entonces se trata de un suelo arenoso, vaya a la tabla 3.2 y figura 3.7 para determinar el símbolo de grupo y la figura 3.8 para obtener el nombre de grupo del suelo.

Símbolo de grupo	Nombre de grupo
GW	< 15% arena → Grava bien graduada
	≥ 15% arena → Grava bien graduada con arena
GP	< 15% arena → Grava mal graduada
	≥ 15% arena → Grava mal graduada con arena
GW-GM	< 15% arena → Grava bien graduada con limo
	≥ 15% arena → Grava bien graduada con limo y arena
GW-GC	< 15% arena → Grava bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena → Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GP-GM	< 15% arena → Grava mal graduada con limo
	≥ 15% arena → Grava mal graduada con limo y arena
GP-GC	< 15% arena → Grava mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% arena → Grava mal graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)
GM	< 15% arena → Grava limosa
	≥ 15% arena → Grava limosa con arena
GC	< 15% arena → Grava arcillosa
	≥ 15% arena → Grava arcillosa con arena
GC-GM	< 15% arena → Grava limo-arcillosa
	≥ 15% arena → Grava limo-arcillosa con arena
SW	< 15% grava → Arena bien graduada
	≥ 15% grava → Arena bien graduada con grava
SP	< 15% grava → Arena mal graduada
	≥ 15% grava → Arena mal graduada con grava
SW-SM	< 15% grava → Arena bien graduada con limo
	≥ 15% grava → Arena bien graduada con limo y grava
SP-SC	< 15% grava → Arena bien graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% grava → Arena bien graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SP-SM	< 15% grava → Arena mal graduada con limo
	≥ 15% grava → Arena mal graduada con limo y grava
SP-SC	< 15% grava → Arena mal graduada con arcilla (o arcilla limosa)
	≥ 15% grava → Arena mal graduada con arcilla y grava (o arcilla limosa y grava)
SM	< 15% grava → Arena limosa
	≥ 15% grava → Arena limosa con grava
SC	< 15% grava → Arena arcillosa
	≥ 15% grava → Arena arcillosa con grava
SC-SM	< 15% grava → Arena limo-arcillosa
	≥ 15% grava → Arena limo-arcillosa con grava

Figura 2-9 Nombres de grupo de suelos tipo grava y arenosos (ASTM 1998)

Fuente: (M. Das, 2001)

c) Para un suelo de grano fino, debemos ir a la tabla 3.3 y figura 3.7 para obtener el símbolo de grupo. Si se trata de un suelo inorgánico, ir a la figura 3.9 para obtener el nombre de grupo. Si se trata de suelo orgánico, ir a la figura 3.10 para obtener el nombre del grupo.

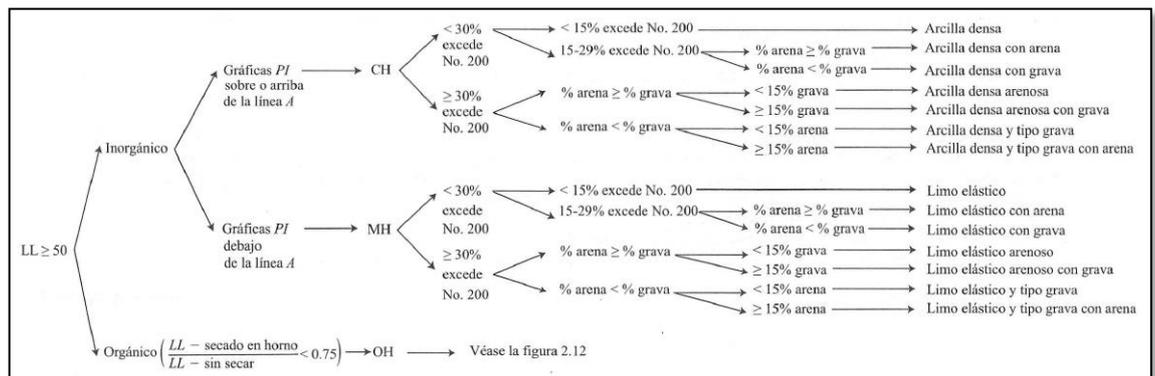
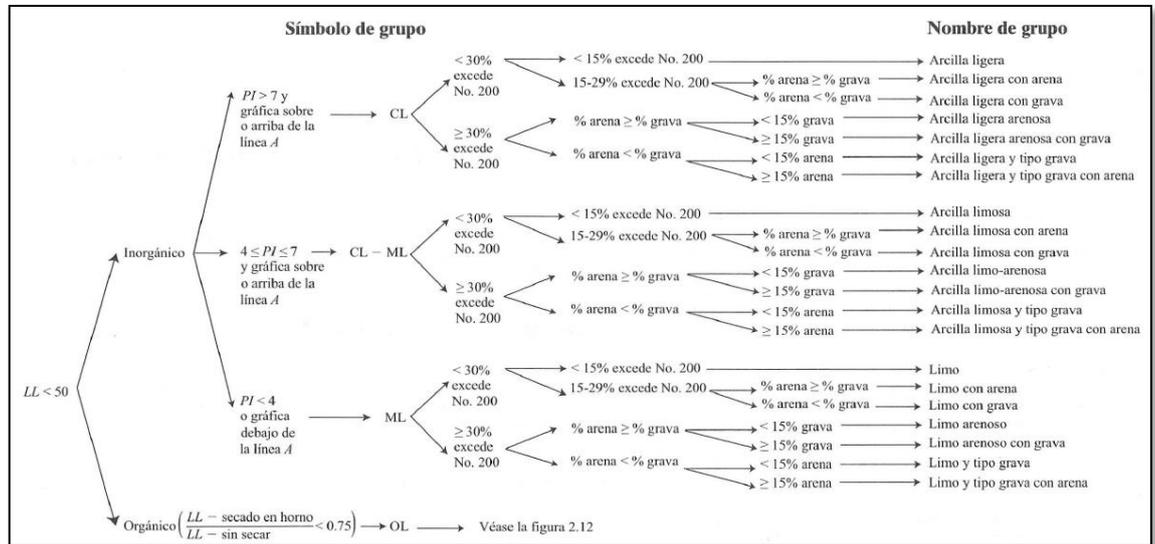
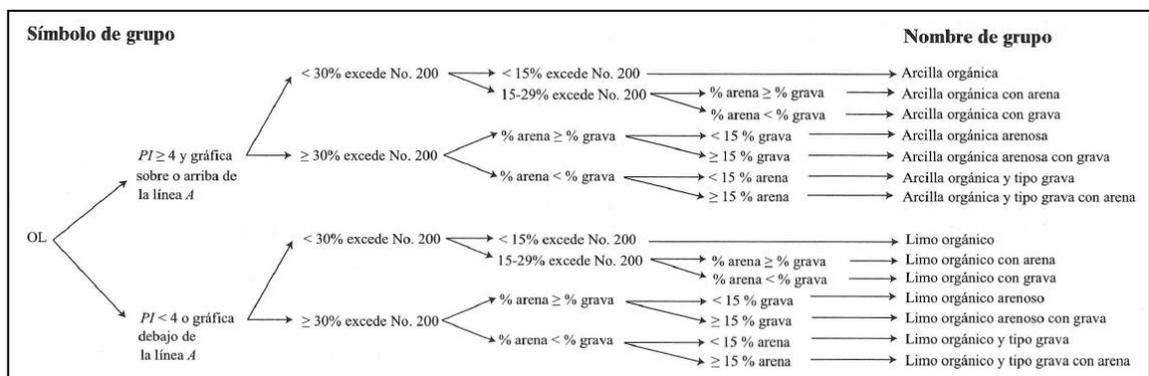


Figura 2-10 Nombres de grupo de suelos limosos, inorgánicos y arcillosos

Fuente: (M. Das, 2001)



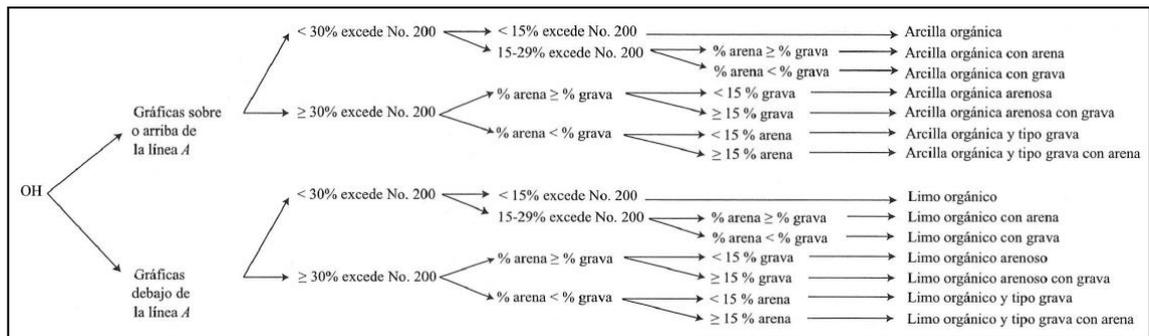


Figura 2-11 Nombres de grupo de suelos limosos orgánicos y arcillosos (ASTM 1998)

Fuente: (M. Das, 2001)

2.1.8 Exploración del Subsuelo.

El proceso de identificar los estratos de depósitos que subyacen a una estructura propuesta y sus características físicas se denomina generalmente exploración del subsuelo. (M. Das, 2001)

2.1.8.1 Programa de Exploración del Subsuelo.

Mediante una secuencia para poder identificar los estratos de suelos y obtener una muestra lo más representativo posible, se realizó según el siguiente orden:

- Recolección de la información preliminar
- Reconocimiento
- Investigación del sitio

2.1.8.1.1 Recolección de la Información Preliminar.

Se obtuvo la siguiente información base: mapa de ubicación del lugar mediante Google Earth, Expediente Técnico reformulado del canal de navegación los Uros Tramo II

2.1.8.1.2 Reconocimiento.

Consiste en una visita preliminar a la investigación, con el fin de observar el lugar, los accesos, topografía, tipo de vegetación, nivel freático, entre otros.

2.1.8.1.3 Investigación del Sitio.

La fase de investigación del sitio del programa de exploración consiste en planear, hacer barrenos de prueba y recolectar muestras de suelo a intervalos deseados para observaciones y pruebas de laboratorio subsecuentes. (M. Das, 2001)

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La ubicación se detalla a continuación:

- a) El área de estudio es el Canal de Navegación los Uros Tramo II, que inicia desde la Isla de los Uros, con una longitud de 4 kilómetros en dirección a la Isla de Taquile, se tiene la accesibilidad a la zona de estudio:

N°	TRAMO	DISTANCIA (km)	TIEMPO (min)	TIPO DE VIA
1	Plaza de Armas - Puerto	1.50	10	Asfaltada
2	Puerto - Isla de los Uros	5.03	30	Hidro vía
	TOTAL	6.53	40	

Figura 3-1 ACCESIBILIDAD A LA ZONA DE ESTUDIO

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

- b) El Canal de Navegación los Uros Tramo II, se realizó con el fin de que las Islas de Taquile y Amantani pudieran ser más accesibles a su llegada con referencia a la distancia y el tiempo.



Figura 3-2 UBICACIÓN DE LA ISLA DE LOS UROS, TAQUILE Y AMANTANI

FUENTE: Google Earth - 2018

de esponjamiento se puede incrementar o disminuir los costos de excavación, traslado y descarga de material dragado.

3.3.1.2 Nivel de Investigación

El tema de investigación es también aplicativo debido a que en la presente investigación se ha aplicado a un Expediente Técnico Reformulado que admite una situación real de una obra.

3.3.1.3 Método de Investigación

El método de investigación es CUANTITATIVO, ya que tenemos variables que medir mediante el uso del laboratorio de suelos.

3.3.2 Información Preliminar de la Zona de Estudio

Como antecedente a la realización de la toma de muestras, durante los estudios preliminares, como es el caso del Expediente Técnico Reformulado, se tuvo una clasificación del tipo de suelo, tal como se muestra a continuación:

CUADRO RESUMEN DEL ESTUDIO GEOTECNICO										
Sondaje N°	Progresiva (Lugar)	Tirante de agua (m)	Espesor de Lodo (m)	Estrato suelo (Muestra)	Limite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Retiene Malla N° 4	Pasa malla 200 (%)	Densidad natural (g/cm ³)	SUCS
S-01	CU-2	0.00 – 2.20	2.20 – 5.00	5.00 – 6.00 (M-1)	62.5	31.65	0	86.3	0.76	CH
EJE	0 + 400	0.00 – 2.00	2.00 – 5.20	5.20 – 6.20 (M-1)	55.5	28.17	1.62	83.38	0.72	CH
S-02	0 + 500	0.00 – 2.20	2.20 – 4.80	4.80 – 5.80 (M-1)	60.6	33.05	0	90.34	0.74	CH
S-03	1 + 000	0.00 – 1.90	1.90 – 5.20	5.20 – 6.00 (M-1)	70.5	37.08	0	88.46	0.79	CH
S-04	1 + 500	0.00 – 1.80	1.80 – 5.00	5.00 – 6.00 (M-1)	62.6	29.34	1.27	86.61	0.81	MH
S-05	2 + 000	0.00 – 1.80	1.80 – 5.20	5.20 – 6.00 (M-1)	54.45	26.37	0	91.66	0.74	CH
S-06	2 + 500	0.00 – 2.20	2.20 – 5.00	5.00 – 6.00 (M-1)	65.3	34.15	1.33	86.54	0.77	CH
S-07	3 + 000	0.00 – 1.90	1.90 – 5.20	5.20 – 6.00 (M-1)	57.2	27.02	0	89.56	0.79	MH
S-08	3 + 500	0.00 – 2.40	2.40 – 5.00	5.00 – 6.00 (M-1)	56.6	28.34	1.33	87.07	0.74	CH
S-09	4 + 050	0.00 – 3.80	3.80 – 5.20	5.20 – 6.20 (M-1)	61.5	31.27	0	90.2	0.74	CH
S-10	2 + 500	0.00 – 1.90	1.90 – 5.00	5.00 – 6.00 (M-1)	53.5	24.28	0	90.01	0.79	MH

Figura 3-4 TIPO DE SUELO CLASIFICADO SEGÚN EXP. TECNICO MODIFICADO

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

3.3.3 Lugar de Extracción de Muestras

El lugar de extracción de las muestras fue el siguiente:

- El Expediente Técnico Reformulado del Canal, que comprende una longitud de 4 kilómetros y 25 metros de ancho aproximadamente, tal como se observa a continuación:



Figura 3-5 DRAGADO DEL CANAL DE NAVEGACIÓN LOS UROS TRAMO II

FUENTE: Google Earth - 2018

- b) El lugar de estudio inicia desde el Rio Willy, que pertenece a la Isla de los Uros, unos 4 kilómetros en dirección a la Isla de Taquile, tal como se muestra a continuación:

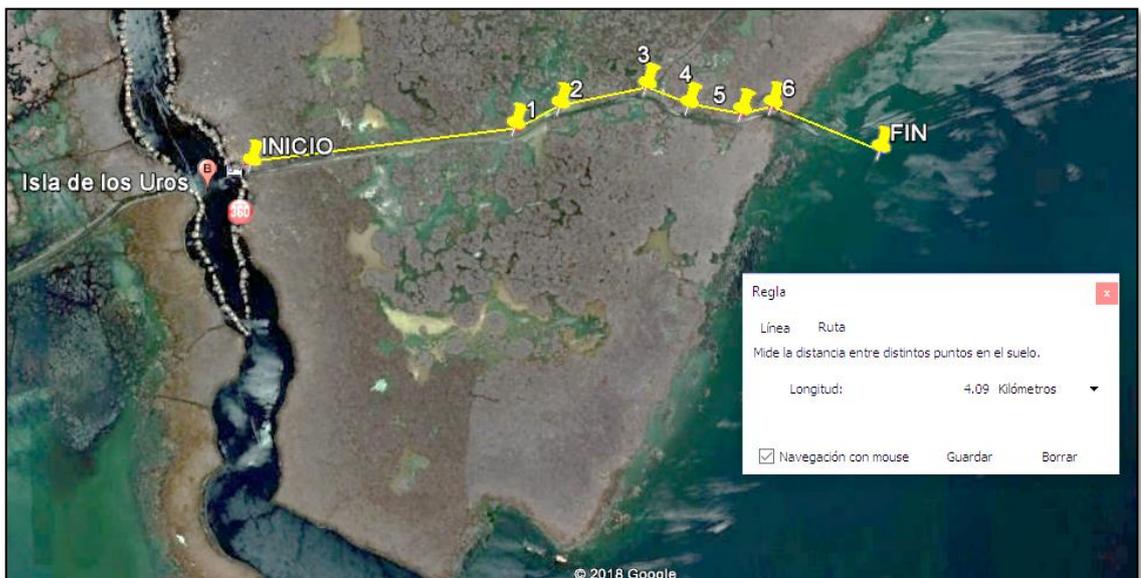


Figura 3-6 LONGITUD DEL TRAMO DE ESTUDIO

FUENTE: Google Earth - 2018

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.

3.4.1 Número de Muestras a Extraer.

(Estrategias Marinas, 2015), indica los criterios que se deben considerar para extraer muestras:

- a) Zona tipo M: la que bordea los muelles. En estas zonas se ubicará al menos una estación de muestreo cada 100 metros lineales. Cada estación será representativa de un área de 50 metros de ancho desde el borde del muelle y una superficie máxima de 5,000 metros cuadrados.
- b) Zona tipo G: el resto de zonas a dragar en dársenas portuarias. En estas zonas, el número mínimo de estaciones de muestreo se calculará en función de la superficie de las mismas mediante la expresión:

$$N = \frac{S}{25 * \sqrt{S}}$$

Donde:

N= número mínimo de estaciones de muestreo.

S= superficie del área objeto del dragado, excluida la superficie de las zonas tipos M y C, expresada en metros cuadrados.

$25 * \sqrt{S}$ =superficie representada por cada estación de muestreo suponiendo una distribución equidistante de las mismas.

Si se da la aplicación de la expresión anterior no resulta un número entero de muestras, se redondeará por exceso.

- c) Zona tipo C: los canales o vías navegables en los que se proyecta un dragado de un mínimo de 10 km de longitud. El número mínimo de estaciones de muestreo podrá ser, para esta zona, 1/3 inferior al resultante de la expresión empleada para la zona tipo G, sin alterarse el número mínimo de estaciones necesarias en el resto de zonas que pudiera requerirse en las mismas. En caso de proyectos de dragado a realizar en canales de gran longitud, se definirán zonas tipo C como tramos de dragado continuos de 10 km de longitud pudieran existir, realizándose el cálculo de estaciones de muestreo necesarias de manera independiente para cada tramo.
- d) Otras zonas: en caso de que el proyecto de dragado incluyera una zona que no se corresponda con alguna de las anteriores tipologías, el cálculo del número de estaciones de muestreo se realizaría en función de la superficie de la misma mediante la expresión indicada para las zonas tipo G.

Considerando lo expresado líneas arriba, los datos obtenidos del área de estudio, son los siguientes:

Longitud del canal = 4,088.812 metros

Ancho del canal = 25.00 metros

$$N = \frac{S}{25 * \sqrt{S}}$$
$$N = \frac{4,088.812 * 25}{25 * \sqrt{4,088.812 * 25}} = 12.789 = 13 \text{ muestras}$$

Entonces para la presente investigación se tomarán 13 muestras de acuerdo a progresivas equidistantes:

$$D_{progresiva} = \frac{4,088.812}{13} = 314.524 = 315 \text{ metros}$$

Tabla 3-2 Número de muestras a extraer

LONGITUD TOTAL (m)	4,088.815
ANCHO DEL CANAL (m)	25.000
SUPERFICIE (m ²)	102,220.375
NUMERO DE MUESTRAS	12.789
MUESTRAS DE TESIS	13.000
MUESTRAS A CADA (m)	314.524
PROGRESIVA A CADA (m)	315.000

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.2 Progresivas de las Muestras a Extraer.

Como ya tenemos la cantidad de muestras a extraer (13), ahora definiremos las progresivas donde se extraerán las muestras.

La longitud del canal es 4,088 metros. Las distancias de cada muestra están definidas por distancias iguales, como muestra la siguiente tabla:

Tabla 3-3 Progresiva de cada muestra a extraer

Nº	MUESTRA	MUESTRA EXTRAIDA	PROGRESIVA
1	A	0+315	0+000 a 0+315
2	B	0+630	0+316 a 0+630
3	C	0+945	0+631 a 0+945
4	D	1+260	0+946 a 1+260
5	E	1+575	1+261 a 1+575
6	F	1+890	1+576 a 1+890
7	G	2+205	1+891 a 2+205

8	H	2+520	2+206 a 2+520
9	I	2+835	2+521 a 2+835
10	J	3+150	2+836 a 3+150
11	K	3+465	3+151 a 3+465
12	L	3+780	3+466 a 3+780
13	M	3+900	3+781 a 3+900

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

3.4.3 Equipo de Extracción de Muestras.

Debido a que las muestras se encuentran por debajo del nivel freático, se han obtenido muestras con el barreno tipo posteadora.

Los barrenos en el suelo se efectúan por varios métodos, como la perforación con barrena, por lavado, por percusión y el sondeo rotatorio. (M. Das, 2001)

La perforación con barrena es el método más simple para efectuar sondeos de exploración. Las barrenas manuales no se usan para excavaciones a más de 3 a 5 metros. (M. Das, 2001)

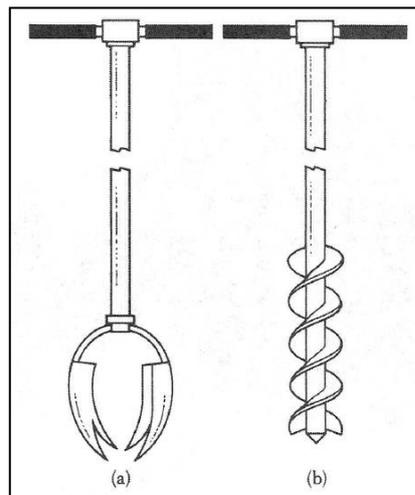


Figura 3-7 Tipos de barrenos a) Posteadora; b) Helicoidal

Fuente: (M. Das, 2001)

(M. Das, 2001), indica que: dos tipos de muestras se obtienen durante la exploración del subsuelo: alteradas o inalteradas. Las muestras alteradas, pero representativas, generalmente se usan para los siguientes tipos de pruebas de laboratorio:

- Análisis granulométrico
- Determinación de los límites líquido y plástico
- Densidad de los sólidos del suelo
- Determinación del contenido orgánico



- Clasificación del suelo

Según el criterio propuesto por Braja M. Das, es posible trabajar con muestras alteradas sin interferir en las propiedades del suelo significativamente. Es por eso que, el método empleado de extracción para la elaboración de los ensayos de laboratorio fue el siguiente:

- a) Mediante las muestras obtenidas con el barreno tipo posteadora, se determinará el contenido de humedad, límites de consistencia, gravedad específica y densidad de masa.
- b) En el año 2,013 se realizó un dragado en la zona de estudio, sacando material del fondo del canal mediante una excavadora sobre oruga, con una cuchara de un metro cubico aproximadamente, donde luego fue llevado en embarcaciones hacia un lugar llamado botadero, en este botadero se fue depositando material dragado, que con el pasar del tiempo y el descenso del nivel del agua, en la etapa de reconocimiento de la presente tesis, se vio que dicho material depositado se encontraba visible, el cual fue considerado para la extracción de muestras.
- c) Con las muestras alteradas extraídas de los botaderos, se realizaron los ensayos como granulometría, compresión simple y peso específico suelto. Entonces fue posible distinguir dos tipos de suelos orgánicos (arcilla y limo orgánico) comparándolas con los resultados con las muestras extraídas con el barreno tipo posteadora, debido a sus propiedades como contenido de humedad, límites de consistencia, color, olor, resistencia en estado seco, plasticidad, sensibilidad en la palma de la mano y otros.
- d) Entonces a partir de las muestras obtenidas con el barreno tipo posteadora, se podrá obtener la clasificación del suelo y con las muestras obtenidas en los botaderos, se podrá distinguir sus propiedades físicas.
- e) Una vez obtenidas las propiedades de un suelo dragado, podremos determinar el factor de esponjamiento de este tipo de suelo.

3.4.4 Profundidad de las Muestras a Extraer.

La profundidad con la que se sacó las muestras, el criterio fue, que, para tener una comparación entre muestras de propiedades similares, se optó por el criterio de obtener muestras a una cota similar que se tuvo el Expediente Técnico Reformulado del dragado en el canal, esta cota rasante fue de 3,805.30 msnm (ANEXOS), tal como se describe a continuación:

En el análisis estadístico de los niveles del Lago Titicaca se ha determinado un nivel promedio multianual en los 94 años de registro (periodo 1915 – 2008) de 3 807,391 m.s.n.m., presentándose una variación del nivel aguas del lago Titicaca entre los meses de Junio a Diciembre oscila de 1,10 m, periodo donde existen el menor tirante y la mayor afluencia de turismo hacia el departamento de Puno. Por lo tanto, existe mayor tráfico de lancha sobre el canal, lo que ocasiona turbulencia de los sedimentos de fondo permitiendo que salgan olores desagradables.

Una lancha mediana para turismo ecológico necesita un tirante promedio de 2,10 m, el cual considera el calado de embarcación, profundidad del motor y en vista de ello el nivel medio del lago Titicaca para un periodo de recurrencia de 10 años se ha determinada una cota de 3809,391 m.s.n.m. De dicha cota hay que restar dicha profundidad de funcionamiento, esto nos permite evaluar que la cota de la rasante debe llegar a 3 805,30 m.s.n.m..

Figura 3-8 COTA RASANTE DURANTE SEGÚN EXPEDIENTE TÉCNICO

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

Durante la ejecución de la presente tesis, la obtención de muestras se realizó en fecha 24 de agosto del 2018, teniéndose una cota del nivel de agua según SENAMHI de 3,808.825 msnm, tal como se observa a continuación:

Tabla 1. Temperatura superficial del agua (°C) y valores referenciales de sus anomalías (°C) en las estaciones de Puno y Juli y del NML en Puno el 24 de agosto.

Estación	Climatología	TSL, °C	ΔT , °C	NML, m
Puno	2011-2015	13,43	-0,46	3808,825
Juli	2009-2015	13,10	-0,97	-

Figura 3-9 COTA DEL NIVEL DE AGUA PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS

FUENTE: SENAMHI

La longitud útil de la barrena tipo posteadora es de 3.70 metros, como el nivel agua durante la obtención de muestras fue de 3,808.25 msnm, entonces las muestras fueron obtenidas a una cota de aproximadamente de $3,808.25 - 3.70 = 3,805.125$ msnm, cota que se acerca a la cota rasante que planteaba los estudios preliminares, las cotas que se obtuvieron las muestras fueron las siguientes:

Tabla 3-4 COTAS PARA LA OBTENCIÓN DE MUESTRAS

Nº	MUESTRA	COTA DE OBTENCIÓN DE MUESTRAS (msnm)
1	A	3,805.13
2	B	3,805.18
3	C	3,805.13
4	D	3,805.13
5	E	3,805.08
6	F	3,805.13
7	G	3,805.08
8	H	3,805.13
9	I	3,805.13
10	J	3,805.18
11	K	3,805.13
12	L	3,805.08
13	M	3,805.08

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Las cotas obtenidas en el cuadro anterior, se realizaron para analizar las mismas propiedades del suelo dragado con la cota rasante que indica en el Expediente Técnico Reformulado.

3.4.5 Procedimiento de Extracción de Muestras.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

- En agosto del 2018 en la ciudad de Puno, desde el paradero llamado “Kalapajra”, se abordó una lancha a unos 15 minutos en dirección hacia la isla de los Uros.



Figura 3-10 Paradero terrestre "Kalapajra"

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- Se procedió a armar el barreno tipo posteadora para la extracción de muestras, midiendo su longitud útil de 3.70 metros.



Figura 3-11 Armado del barreno tipo postadora y medición de su longitud.

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- c) Se tomaron datos de la ubicación con un GPS navegador, tomando como referencia un hito cercano a la orilla.

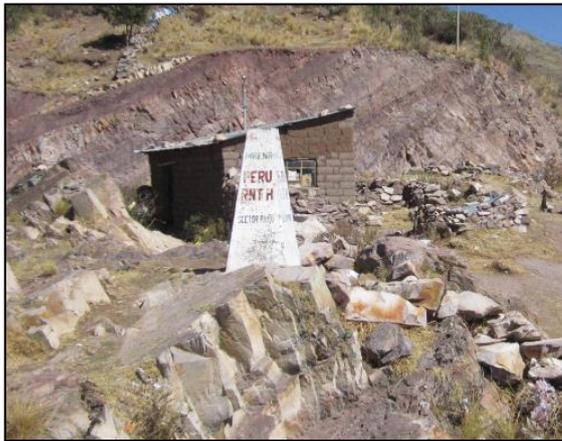


Figura 3-12 Ubicación de puntos con hito y progresivas con GPS navegador

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- d) Nos dirigimos en bote hacia la isla de los Uros, a 15 minutos desde el parador de “Kalapajra”.



Figura 3-13 Isla de los Uros - Puno

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- e) Pasando la isla de los Uros, en dirección hacia Taquile, se encuentra el canal de navegación los Uros Tramo II, donde se inició con la toma de muestras, ubicando progresivas con GPS navegador.



Figura 3-14 Toma de muestras de turba con el barreno tipo Posteadora

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- f) Se pudo observar durante el trayecto en el canal señales informativas, boyas y otros.



Figura 3-15 Señalización en el canal de navegación

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- g) Se pudo verificar que debajo del agua, había una capa de turba (muestra de color amarillento, sin plasticidad), debajo de esta, se encontró el suelo orgánico.



Figura 3-16 Toma de muestras de suelo orgánico

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- h) Se distinguieron tres tipos de suelo orgánicos tomados con el barreno posteadora: turba, arcilla orgánica y limo orgánico.



Figura 3-17 Toma de muestras: arcilla orgánica y limo orgánico respectivamente

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- i) Una vez tomadas las muestras alteradas con el barreno, se procedió a guardar las muestras en bolsas de plástico anotadas y cerradas con cinta.



Figura 3-18 Registro y guardado de muestras

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- j) Con la ayuda del GPS navegador, se pudo ubicar los botaderos para las tomas de muestras más grandes.



Figura 3-19 Ubicación de botaderos

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- k) Se procedió a la toma de muestras en los botaderos, guardándolos en bolsas de plásticos.



Figura 3-20 Toma de muestras de 0.30x0.30x0.30 en los botaderos

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- l) Una vez registrados y cerrados con cinta, se llevó las muestras al laboratorio de suelos de ing. Civil para el estudio de sus propiedades.



Figura 3-21 Traslado de muestras al laboratorio de suelos

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se tiene un mayor detalle de la extracción de suelos en los registros de perfiles estratigráficos.

3.5 DISEÑO ESTADÍSTICO.

3.5.1 Estadística

Tenemos que empezar por definir que es una hipótesis y que es prueba de hipótesis. Hipótesis es una aseveración de una población elaborado con el propósito de poner a prueba, para verificar si la afirmación es razonable se usan datos. En el análisis estadístico se hace una aseveración, es decir, se plantea una hipótesis, después se hacen las pruebas para verificar la aseveración o para determinar que no es verdadera. Por tanto, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en la evidencia muestral y la teoría de probabilidad; se emplea para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable.

Prueba de una hipótesis: se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos:

- Paso N° 01 - Plantear la Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa.
- Paso N° 02 - Seleccionar el Nivel de Significancia.
- Paso N° 03 - Identificar o seleccionar el estadístico de prueba.
- Paso N° 04 - Formular la regla de decisión.
- Paso N° 05 - Tomar una decisión (No se rechaza H_0 , o se rechaza H_0 y se acepta H_1).



3.5.2 Selección del Test

Para seleccionar el test apropiado para analizar nuestros datos, una vez realizado el muestreo se construye un diagrama de frecuencias (o se realiza un test estadístico si se dispone de software apropiado) para comprobar la normalidad de la variable cuantitativa en cada uno de los dos grupos. Asimismo, se realiza el test para comprobar la homogeneidad de las varianzas entre los dos grupos.

3.5.3 Distribución T de Student

Se utiliza para detectar la existencia de diferencias significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

Requisitos

- ✓ Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo
- ✓ Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales
- ✓ Muestras independientes y menores a 30

3.6 PROCEDIMIENTO.

El procedimiento se realiza en base a los ensayos efectuados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano, el cual se describe a continuación:

3.6.1 Ensayo de Contenido de Humedad.

La determinación del contenido de humedad es un ensayo rutinario de laboratorio para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. (E. Bowles, 1981)

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

w = Contenido de humedad del suelo

W_w = Peso del agua del suelo

W_s = Peso seco del suelo

3.6.1.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Contenido de Humedad.

Debemos tener los siguientes equipos:

- Taras de aluminio.
- Balanza de precisión de 0.1 g.

- Horno a temperatura de 100+/-5°C.
- Otros (guantes, cuchillo, etc.)

Se realiza de la siguiente manera:

- a) Se debe pesar las taras vacías de aluminio y registrar su peso.



Figura 3-22 Peso de taras vacías de aluminio y horno de secado

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- b) Se debe tomar una cantidad de 3 muestras como mínimo y cada muestra no debe ser menor de 20 gramos para que sea representativa, luego se registra el peso de la tara más muestra húmeda.

Tabla 3-5 Cantidad mínima de espécimen de material húmedo

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g*
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Fuente: (MTC-E108, 2000)

- c) Se deja a horno a una temperatura de 60 grados centígrados, puesto que se trata de un suelo orgánico.

El secado en horno siguiendo este método (a 110°C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua

de hidratación o cuando cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para estos suelos, secándolos en un horno a una temperatura de 60°C o en un desecador a temperatura ambiente. (MTC-E108, 2000)

- d) Pasado las 24 horas, se saca la muestra del horno y se deja enfriar unos 15 minutos, luego se registra el peso de la tara más muestra seca.



Figura 3-23 Muestra llevada a horno y enfriada unos 15 minutos antes de pesar

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- e) Se determina el contenido de humedad en porcentaje.

Por último, se saca un promedio de los tres resultados no pudiendo variar estos 3 por más del 2% en este caso se elimina el más lejano de los resultados y se promedia entre los dos restantes. (Zapata Coacalla, 2009)

3.6.1.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad.

Se han distinguido dos suelos claramente definidos como son: arcilla orgánica y limo orgánico, por tal motivo describiremos el procedimiento de ambos tipos de suelos:

Suelo de tipo arcilla orgánica:

Tabla 3-6 Cont. humedad de la muestra A (arcilla organica)

Nro. De Tara		A37	T001	T12
Peso de Tara	gr.	13.42	13.09	17.76
Peso de Tara + M. Húmeda	gr.	52.14	51.16	52.02
Peso de Tara + M. Seca	gr.	39.09	37.93	40.32
Peso de Agua	gr.	13.05	13.23	11.70
Peso Muestra Seca	gr.	25.67	24.84	22.56
Contenido de humedad W%	%	50.84	53.26	51.86



Promedio cont. Humedad W% % **52.56**

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Muestra de la tara A37:

Peso del agua = 52.14 – 39.09 = 13.05 gramos

Peso de la muestra seca = 39.09 – 13.42 = 25.67 gramos

Contenido de humedad:

$$w(\%) = \frac{13.05}{25.67} = 50.84\%$$

Se observa que los resultados no deben variar más del 2%, entonces se promedia con los dos más cercanos, eliminando el más alejado.

$$w(\%) = \frac{53.26 + 51.86}{2} = 52.56\%$$

Suelo de tipo limo orgánico:

Tabla 3-7 Cont. humedad de la muestra G (limo organico)

Nro. De Tara		U2	W5	A8
Peso de Tara	gr.	17.76	19.48	21.62
Peso de Tara + M. Húmeda	gr.	67.30	60.24	57.54
Peso de Tara + M. Seca	gr.	48.69	45.05	44.08
Peso de Agua	gr.	18.61	15.19	13.46
Peso Muestra Seca	gr.	30.93	25.57	22.46
Contenido de humedad W%	%	60.17	59.41	59.93
Promedio cont. Humedad W%	%		59.84	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Muestra de la tara U2:

Peso del agua = 67.30 – 48.69 = 18.61 gramos

Peso de la muestra seca = 48.69 – 17.76 = 30.93 gramos

Contenido de humedad:

$$w(\%) = \frac{18.61}{30.93} = 60.17\%$$

El contenido de humedad promedio será:

$$w(\%) = \frac{60.17 + 59.41 + 59.93}{3} = 59.84\%$$

De manera similar se realiza el procedimiento en los demás suelos, teniéndose un resumen de los resultados de todas las muestras obtenidas:



Tabla 3-8 Resumen de resultados del ensayo de Contenido de humedad

MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD
A	52.56
B	55.08
C	56.75
D	59.24
E	57.95
F	63.65
G	59.84
H	59.09
I	56.09
J	61.61
K	60.17
L	61.73
M	59.89

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.2 Ensayo de Granulometría.

Consiste en cuantificar el tamaño de cada partícula de un suelo, normalmente se utiliza el método por tamizado, que consiste en pasar el suelo por mallas cada vez más angostas.

Una parte importante de los criterios de aceptabilidad de suelos para carreteras, aeropistas, presas de tierra, diques y otro tipo de terraplenes es el análisis granulométrico. (E. Bowles, 1981)

3.6.2.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Granulometría.

Los equipos usados son los siguientes:

- Mallas estándar de: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N4, N8, N10, N20, N40, N60, N80, N100, N200 y cazoleta
- Balanza de precisión de 0.01g
- Horno de secado
- Bandejas
- Otros (guantes, cepillo, etc.)

El procedimiento que se realizó es el siguiente:

- a) Se debe secar material del suelo representativo, para ello se elige la cantidad de muestra de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3-9 Cantidad mínima para realizar el ensayo de granulometría

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (gr)
9,5 (3 /8")	500
19,6 (¾")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 ½")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: (MTC-E107, 2000)

- b) Una vez seco el material, se debe registrar el peso seco antes de lavar la muestra.



Figura 3-24 Toma de datos de los pesos retenidos en cada malla y juego de tamices

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- c) Se lava la muestra pasándola por la malla N200, hasta que el agua este clara, luego se lleva a horno durante 24 horas a una temperatura de 100°C.
- d) Luego de sacar la muestra se registra su peso seco después de lavar.
- e) Finalmente se pasa por una serie de tamices y se dibuja la curva granulométrica.

3.6.2.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Granulometría.

Se distinguen dos tipos de suelos: arcilla y limo orgánico, por tal razón describiremos los cálculos de ambos suelos.

- Muestra A (arcilla orgánica)

A continuación, se muestran los registros de pesos antes de realizar el ensayo:

Tabla 3-10 Registro de pesos de la muestra A (arcilla orgánica)

DESCRIPCION	PESO	UNIDAD
PESO ANTES DE LAVAR		gramos
PESO DESPUES DE LAVAR	808.00	gramos
PESO PERDIDO DURANTE EL LAVADO	193.50	gramos
	614.50	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior, se aprecia que, durante el lavado, parte de la muestra (finos), se perdió, esto paso debido a que el tamaño de las partículas fue menor a la malla N200 (0.075mm), se trataría de un suelo fino (limo o arcilla).

Sin embargo, dicha perdida se compensa en el análisis granulométrico, tal como se muestra a continuación:

Tabla 3-11 Analisis granulometrico de la muestra A (arcilla orgánica)

TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	PESO RET. CORR.	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE
ASTM	mm	gr	gr	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
3"	76.200					100.00
2 1/2"	63.500					100.00
2"	50.600					100.00
1 1/2"	38.100					100.00
1"	25.400					100.00
3/4"	19.050					100.00
1/2"	12.700					100.00
3/8"	9.525					100.00
1/4"	6.350					100.00
No4	4.760					100.00
No8	2.380	0.10	0.10	0.01	0.01	99.99
No10	2.000	0.05	0.05	0.01	0.02	99.98
No16	1.190				0.02	
No20	0.840	0.24	0.24	0.03	0.05	99.95
No30	0.590				0.05	
No40	0.420	2.44	2.44	0.30	0.35	99.65
No 50	0.300				0.35	
No60	0.250	10.44	10.44	1.29	1.64	98.36
No80	0.180	18.64	18.64	2.31	3.95	96.05
No100	0.149	17.36	17.36	2.15	6.10	93.90
No200	0.074	50.57	52.28	6.47	12.57	87.43
BASE		91.95	706.45	87.43	100.00	0.00
TOTAL		191.79	808.00	100.00		
% PERDIDA		0.88%	0.00%			

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Si se tiene una pérdida de más del 2% el experimento debe repetirse. Si menos del 12% del material pasa a través del tamiz N200, calcular Cu y Cz. (Huaquisto Caceres, S/F)

$$error = 193.50 - 191.79 = 1.71 \text{ gramos}$$

$$perdida(\%) = \frac{193.50 - 191.79}{193.50} = 0.88\%$$



Puede existir error por exceso en caso que los tamices no estén muy limpios, en este caso deberá corregir restando el error. (Zapata Coacalla, 2009)

Esta pérdida se debe compensar, sumando al peso retenido de mayor cantidad en los tamices. De la tabla anterior el mayor peso retenido se obtuvo en la malla N200, entonces el error se compensa:

$$\text{peso corregido} = 50.57 + 1.71 = 52.28 \text{ gramos}$$

Ahora debemos compensar el material que se perdió durante el lavado

$$\text{muestra pasante la malla N200} = 91.95 + 614.50 = 706.45 \text{ gramos}$$

Determinamos el porcentaje retenido parcial:

Tamiz N100:

808 gramos

Tabla 3-12 Determinación del porcentaje retenido parcial (muestra A)

Peso (gramos)	%
808.00	100
17.36	X

Entonces:

$$X = \frac{17.36 * 100}{808.00} = 2.15\%$$

El porcentaje retenido acumulado, será la suma de cada peso retenido parcial:

Tamiz N8: 0.01%

Tamiz N10: 0.01+0.01= 0.02%, así sucesivamente hasta la base

El porcentaje que pasa:

$$\% \text{que pasa} = 100 - (\% \text{retenido acumulados})$$

Tamiz N100:

$$\% \text{que pasa N100} = 100 - 6.10 = 93.90\%$$

De manera similar se calcula en los demás casos, obteniendo finalmente la curva granulométrica:

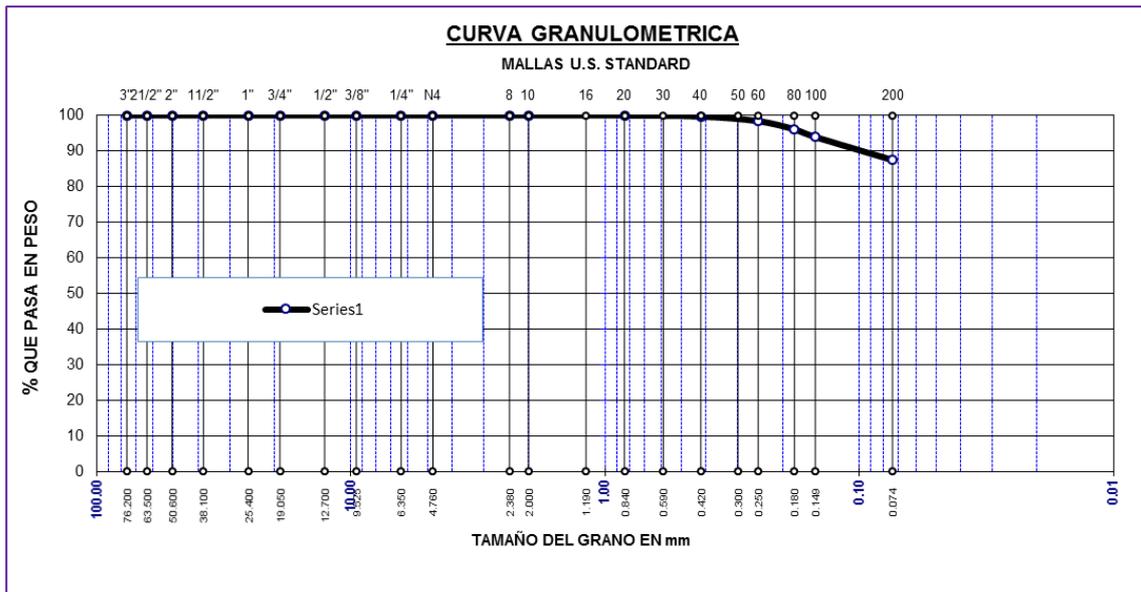


Figura 3-25 Curva granulométrica de la muestra A (arcilla orgánica)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Muestra G (limo orgánico)

A continuación, se muestran los registros de pesos antes de realizar el ensayo:

Tabla 3-13 Registro de pesos de la muestra G (limo orgánico)

DESCRIPCION	PESO	UNIDAD
PESO ANTES DE LAVAR	952	gramos
PESO DESPUES DE LAVAR	271.27	gramos
PESO PERDIDO DURANTE EL LAVADO	680.73	gramos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior, se aprecia que, durante el lavado, parte de la muestra (finos), se perdió, esto paso debido a que el tamaño de las partículas fue menor a la malla N200 (0.075mm), se trataría de un suelo fino (limo o arcilla).

Sin embargo, dicha pérdida se compensa en el análisis granulométrico, tal como se muestra a continuación:



Tabla 3-14 Analisis granulometrico de la muestra G (limo orgánico)

TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	PESO RET. CORR.	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE
ASTM	mm	gr	gr	PARCIAL	ACUMULADO	PASA
3"	76.200					100.00
2 1/2"	63.500					100.00
2"	50.600					100.00
1 1/2"	38.100					100.00
1"	25.400					100.00
3/4"	19.050					100.00
1/2"	12.700					100.00
3/8"	9.525					100.00
1/4"	6.350					100.00
No4	4.760					100.00
No8	2.380					100.00
No10	2.000					100.00
No16	1.190					100.00
No20	0.840	0.16	0.16	0.02	0.02	99.98
No30	0.590				0.02	
No40	0.420	16.33	16.33	1.72	1.73	98.27
No 50	0.300				1.73	
No60	0.250	26.13	26.13	2.74	4.48	95.52
No80	0.180	25.27	25.27	2.65	7.13	92.87
No100	0.149	23.21	23.21	2.44	9.57	90.43
No200	0.074	57.03	59.76	6.28	15.85	84.15
BASE		120.41	801.14	84.15	100.00	0.00
TOTAL		268.54	952.00	100.00		
% PERDIDA		1.01%	0.00%			

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Debemos determinar la perdida de material que se tuvo debido a la realización del ensayo, que no debe sobrepasar el 2%.

$$error = 271.27 - 268.54 = 2.73 \text{ gramos}$$

$$perdida(\%) = \frac{271.27 - 268.54}{271.27} = 1.01\%$$

Esta pérdida se debe compensar, sumando al peso retenido de mayor cantidad en los tamices. De la tabla anterior el mayor peso retenido se obtuvo en la malla N200, entonces el error se compensa:

$$peso \text{ corregido} = 57.03 + 2.73 = 59.76 \text{ gramos}$$

Ahora debemos compensar el material que se perdió durante el lavado

$$muestra \text{ pasante la malla N200} = 120.41 + 680.73 = 801.14 \text{ gramos}$$

Determinamos el porcentaje retenido parcial:

Tamiz N100:

952 gramos

Tabla 3-15 Determinación del porcentaje retenido parcial (muestra G)

Peso (gramos)	%
952	100
23.21	X

Entonces:

$$X = \frac{23.21 * 100}{952.00} = 2.44\%$$

El porcentaje retenido acumulado, será la suma de cada peso retenido parcial:

Tamiz N20: 0.017%=0.02%

Tamiz N40: 0.017+1.715= 1.73% (redondeado a 2 decimales), así sucesivamente hasta la base

El porcentaje que pasa:

$$\% \text{que pasa} = 100 - (\% \text{retenido acumulados})$$

Tamiz N100:

$$\% \text{que pasa N100} = 100 - 9.57 = 90.43\%$$

De manera similar se calcula en los demás casos, obteniendo finalmente la curva granulométrica:

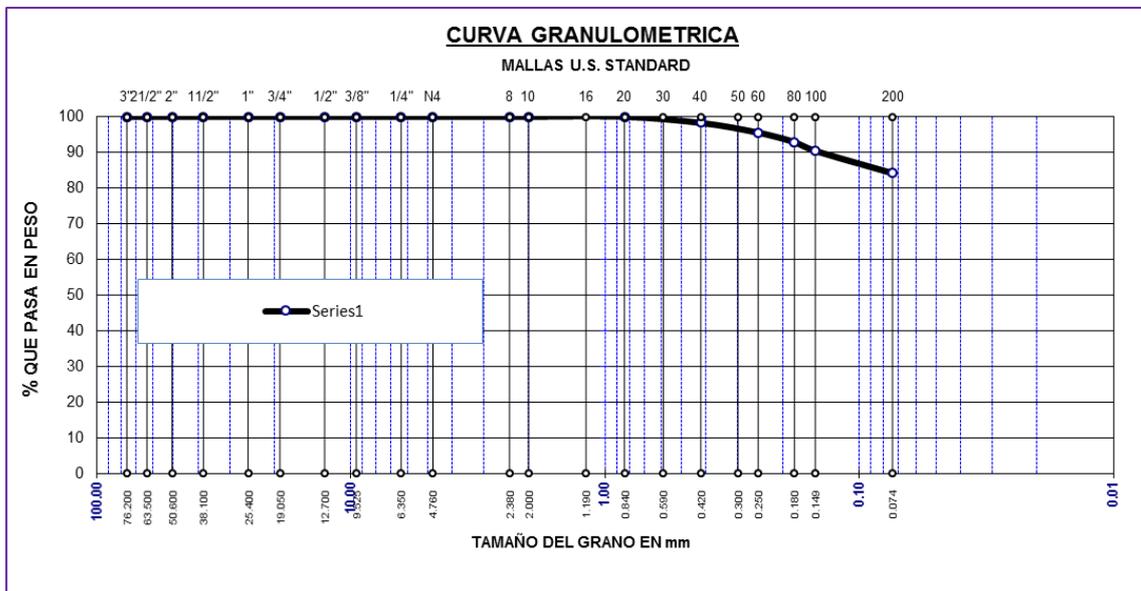


Figura 3-26 Curva granulométrica de la muestra G (limo orgánico)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



3.6.3 Ensayo de Límite Líquido.

El límite líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. Cuando los suelos alcanzan porcentajes de humedad mayores al límite líquido, su comportamiento será el de un fluido viscoso. (Botia Diaz, 2015)

(Zapata Coacalla, 2009), indica que, la frontera entre el estado semilíquido y plástico se denomina límite líquido, que se calcula o se obtiene utilizando una copa de Casagrande de bronce con dimensiones especificadas, con un tacón adherido, unidos por un eje el cual al girar hace que la copa caiga periódicamente golpeando contra la base del dispositivo que es de hule cuya altura de caída es de 1cm. Se coloca el suelo y se procede a hacerle una ranura trapezoidal. El contenido de humedad con el que se produce el cierre de la ranura exactamente a los 25 golpes será el límite líquido del suelo. Este contenido de la humedad indica que el suelo presenta una resistencia al corte de 25 g/cm².

3.6.3.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Límite Líquido.

Los equipos usados son los siguientes:

- Cuchara de Casagrande
- Ranurador
- Taras
- Balanza de precisión de 0.01g
- Malla N40
- Combo de goma
- Vasija
- Horno a temperatura constante de 100+/-5°c
- Otros (espátula, guantes, etc.)

El procedimiento del ensayo fue de la siguiente manera:

- a) Se deja secar el material al aire libre o al horno durante 24 horas una cantidad de 300 gramos. Con la malla N40 se procede a tamizar el material seco, hasta obtener una cantidad de 100 gramos sin tener la presencia de grumos.



Figura 3-27 Muestra despues de tamizado por la malla N40

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- b) Se deja remojar dicha muestra con agua por un tiempo de 24 horas. Se realiza la calibración de la cuchara Casagrande, permitiendo que la caída sea de 1cm de altura.
- c) Colocar la pasta de la muestra hasta el borde de la cuchara, realizar el corte con el ranurador.

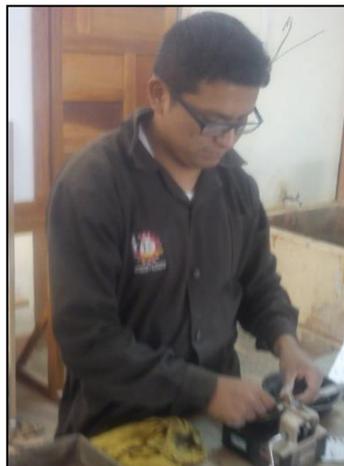


Figura 3-28 Corte de la pasta de suelo con el ranurador en la cuchara de Casagrande

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- d) Comenzar con los golpes a razón de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes hasta que la pasta cortada se una 1.27 mm (control un numero de golpes mínimo de 15 y 35 como máximo).
- e) Luego tomar una muestra de la pasta unida y sacar su contenido de humedad, se debe controlar tener 2 antes de los 25 golpes y 2 después de los 25 golpes.



Figura 3-29 Contenido de humedad en el límite líquido

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

(Zapata Coacalla, 2009), indica los errores que se pueden cometer al realizar el ensayo: excesivo tiempo para realizar el ensayo por punto, contenido de humedad al iniciar la prueba, adicionar suelo seco a la muestra preparada, no humedecer la muestra 24 horas antes.

3.6.3.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Límite Líquido.

Se han registrados dos tipos de suelos: arcilla orgánica y limo orgánico, se describirán los cálculos y resultados de ambos suelos.

- Muestra A (arcilla orgánica)

Se muestra en la siguiente tabla las 4 muestras tomadas con sus datos y resultados:

Tabla 3-16 Cont. de humedad del Límite líquido de la muestra A (arcilla orgánica)

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A5	P2	M6	P4
PESO DE LA CAPSULA	gr.	19.44	21.99	15.58	13.7
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	36.25	39.22	34.72	28.36
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	30.35	33.29	28.21	23.41
AGUA	gr.	5.90	5.93	6.51	4.95
PESO DEL SUELO SECO	gr.	10.91	11.30	12.63	9.71
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	54.08%	52.48%	51.54%	50.98%
NÚMERO DE GOLPES	N	16	19	27	30

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para el ensayo N°1:

Peso del agua:

$$W_{agua} = W_{capsula+suelo\ humedo} - W_{capsula+suelo\ seco}$$



$$W_{agua} = 36.25 - 30.35 = 5.90 \text{ gramos}$$

Peso del suelo seco:

$$W_{suelo\ seco} = W_{capsula+suelo\ seco} - W_{capsula}$$

$$W_{suelo\ seco} = 30.35 - 19.44 = 10.91 \text{ gramos}$$

Contenido de humedad:

$$w = \left(\frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} \right) * 100 = \frac{5.90}{10.91} * 100 = 54.08\%$$

Antes de los 25 golpes:

$$promedio\ de\ golpes = \frac{16 + 19}{2} = 17.5$$

$$promedio\ del\ cont.\ humedad = \frac{54.08 + 52.48}{2} = 53.28\%$$

Después de los 25 golpes:

$$promedio\ despues\ de\ los\ 25\ golpes = \frac{27 + 30}{2} = 28.5$$

$$promedio\ del\ cont.\ humedad = \frac{54.08 + 52.48}{2} = 53.28\%$$

Determinamos el límite líquido a los 25 golpes:

$$Limite\ liquido_{muestra\ A} = \frac{(51.26 - 53.28) * (1.40 - 1.24)}{1.45 - 1.24} + 53.28$$

$$Limite\ liquido_{muestra\ A} = 51.8\%$$

Tabla 3-17 Limite liquido de la muestra A (arcilla orgánica)

NUMERO DE GOLPES	17.50	25.00	28.50
LOGARITMO EN BASE 10	1.24	1.40	1.45
CONTENIDO DE HUMEDAD	53.28%	51.80%	51.26%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente se grafica el límite líquido:

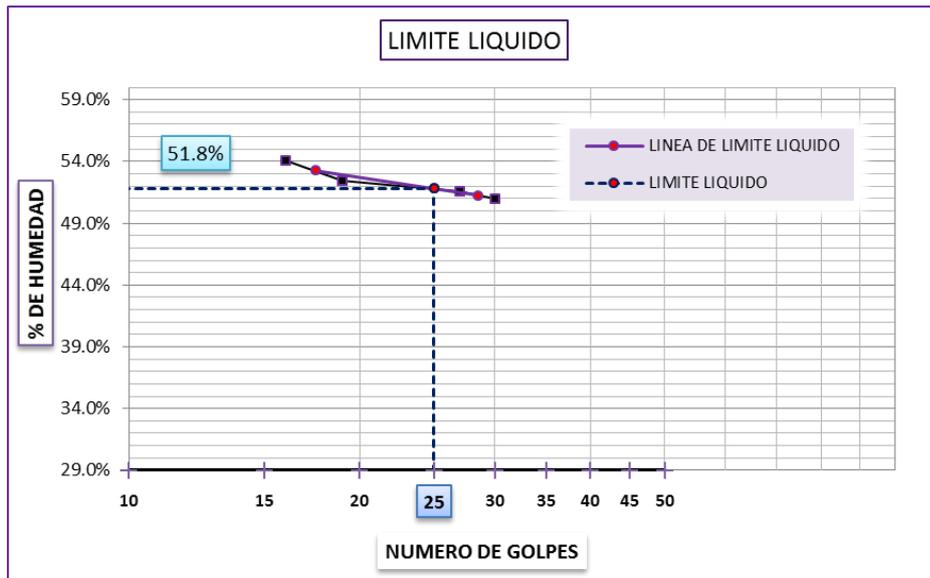


Figura 3-30 Límite líquido de la muestra A (arcilla orgánica)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Muestra G (limo orgánico)

Se muestra en la siguiente tabla las 4 muestras tomadas con sus datos y resultados:

Tabla 3-18 Cont. de humedad del Límite líquido de la muestra G (limo orgánico)

ENSAYO	No	1	2	3	4
CAPSULA	No	A35	T001	A14	TA
PESO DE LA CAPSULA	gr.	13.09	13.17	25.52	18.57
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	25.21	26.18	40.03	33.78
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	21.39	22.14	35.6	29.21
AGUA	gr.	3.82	4.04	4.43	4.57
PESO DEL SUELO SECO	gr.	8.30	8.97	10.08	10.64
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	46.02%	45.04%	43.95%	42.95%
NUMERO DE GOLPES	N	22	24	28	33

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para el ensayo N°1:

Peso del agua:

$$W_{agua} = W_{capsula+suelo\ humedo} - W_{capsula+suelo\ seco}$$

$$W_{agua} = 25.21 - 21.39 = 3.82 \text{ gramos}$$

Peso del suelo seco:

$$W_{suelo\ seco} = W_{capsula+suelo\ seco} - W_{capsula}$$

$$W_{suelo\ seco} = 21.39 - 13.09 = 8.30 \text{ gramos}$$

Contenido de humedad:

$$w = \left(\frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} \right) * 100 = \frac{3.82}{8.30} * 100 = 46.02\%$$

Antes de los 25 golpes:

$$promedio\ de\ golpes = \frac{22 + 24}{2} = 23$$

$$promedio\ del\ cont.\ humedad = \frac{46.02 + 45.04}{2} = 45.53\%$$

Después de los 25 golpes:

$$promedio\ despues\ de\ los\ 25\ golpes = \frac{28 + 33}{2} = 30.5$$

$$promedio\ del\ cont.\ humedad = \frac{43.95 + 42.95}{2} = 43.45\%$$

Determinamos el límite líquido a los 25 golpes:

$$Limite\ liquido_{muestra\ A} = \frac{(43.45 - 45.53) * (1.40 - 1.36)}{1.48 - 1.36} + 45.53$$

$$Limite\ liquido_{muestra\ A} = 44.9\%$$

Tabla 3-19 Limite liquido de la muestra G (limo orgánico)

NUMERO DE GOLPES	23.0	25.0	30.50
LOGARITMO EN BASE 10	1.36	1.40	1.48
CONTENIDO DE HUMEDAD	45.53%	44.90%	43.45%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente se muestra el grafico de la muestra G:

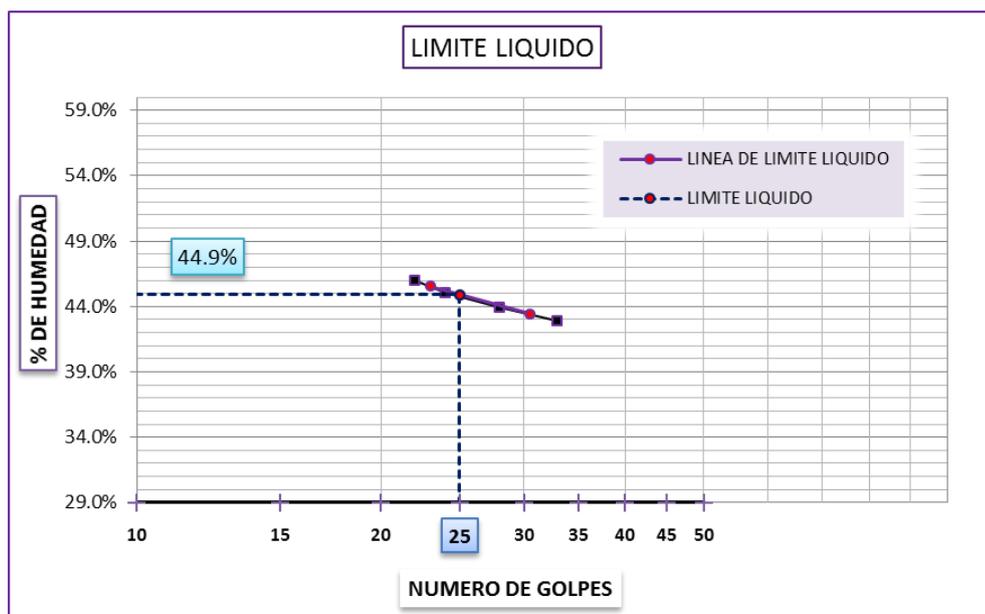


Figura 3-31 Límite líquido de la muestra G (limo orgánico)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De manera similar se realiza el procedimiento de las demás muestras:

Tabla 3-20 Resumen del ensayo de Límite Líquido

MUESTRA	LÍMITE LIQUIDO (LL)
A	51.80%
B	52.88%
C	50.88%
D	47.12%
E	54.81%
F	43.78%
G	44.92%
H	55.55%
I	53.93%
J	49.57%
K	42.95%
L	49.39%
M	48.87%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.4 Ensayo de Límite Plástico.

El límite plástico viene a ser el contenido de humedad más bajo, con el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido, sin más posibilidad de deformarse. (Zapata Coacalla, 2009)

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento en términos de contenido de humedad, en que rollitos de aproximadamente 3mm de diámetro empiezan a presentar desmoronamiento y agrietamiento. Es importante resaltar que el diámetro de los rollitos fue propuesto por Terzaghi, dado que Atterberg nunca especifico este parámetro. (Botia Diaz, 2015)

Este ensayo nos servirá más adelante para determinar la clasificación del suelo, si es compresible o no y si su índice de plasticidad es bajo o alto.

3.6.4.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Límite Plástico.

Los equipos usados fueron los siguientes:

- Malla N40
- Balanza de precisión de 0.01g
- Vidrio catedral de 2mm

- Taras de aluminio
- Horno de secado
- Otros (espátula, comba de goma, etc.)

El procedimiento se describe a continuación:

- Del material sobrante del límite líquido o material pasante de la malla N40, previo secado a horno y humedecido durante 24 horas, una cantidad de 100 gramos.
- Hacer con la mano, encima del vidrio, cilindros de diámetro de 3mm y largo de 10 centímetros, hasta que a esas dimensiones presente fisuras en su superficie.



Figura 3-32 Cilindros de 3 mm y 10 cm de largo para el límite plástico

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- Luego determinar su contenido de humedad, se debe realizar como mínimo 3 ensayos, no pudiendo variar en más del 2% sus resultados.



Figura 3-33 Contenido de humedad en el límite plástico

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Si se ha llegado a obtener los 3mm y la muestra no ha presentado fisuras, ni se ha desmoronado, se vuelve a juntar la muestra y repetir el proceso. (Zapata Coacalla, 2009)

3.6.4.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Límite Plástico.

Como se han observado dos tipos de suelos: arcilla orgánica y limo orgánico se procederá a evaluar ambos resultados.

- Muestra A (arcilla orgánica)

Se muestra a continuación los resultados del contenido de humedad:

Tabla 3-21 Límite plástico de la muestra A (arcilla orgánica)

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	N08	P8	A9
PESO DE LA CAPSULA	gr.	18.41	16.43	16.80
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	19.43	17.91	18.07
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	19.15	17.5	17.72
AGUA	gr.	0.28	0.41	0.35
PESO DEL SUELO SECO	gr.	0.74	1.07	0.92
LIMITE PLASTICO	%	37.84%	38.32%	38.04%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla anterior, de la muestra N°1 hallamos su límite plástico.

Peso del agua:

$$W_{agua} = W_{capsula+suelo\ humedo} - W_{capsula+suelo\ seco}$$

$$w_{agua} = 19.43 - 19.15 = 0.28 \text{ gramos}$$

Peso del suelo seco:

$$W_{suelo\ seco} = W_{capsula+suelo\ seco} - W_{capsula}$$

$$W_{suelo\ seco} = 19.15 - 18.41 = 0.74 \text{ gramos}$$

Límite plástico de la muestra N°1:

$$w_{muestra\ N^{\circ}1} = \frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} = \frac{0.28}{0.74} * 100 = 37.84\%$$

- Muestra G (limo orgánico)

Se muestra a continuación los resultados del contenido de humedad:



Tabla 3-22 Límite plástico de la muestra G (limo orgánico)

ENSAYO	No	1	2	3
CAPSULA	No	AY	D1	A10
PESO DE LA CAPSULA	gr.	18.51	21.63	19.49
CAPSULA + SUELO HUMEDO	gr.	20.04	25.20	21.52
CAPSULA + SUELO SECO	gr.	19.65	24.33	21.03
AGUA	gr.	0.39	0.87	0.49
PESO DEL SUELO SECO	gr.	1.14	2.70	1.54
LIMITE PLASTICO	%	34.21%	32.22%	31.82%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla anterior, de la muestra N°1 hallamos su límite plástico.

Peso del agua:

$$W_{agua} = W_{capsula+suelo\ humedo} - W_{capsula+suelo\ seco}$$

$$w_{agua} = 20.04 - 19.65 = 0.39 \text{ gramos}$$

Peso del suelo seco:

$$W_{suelo\ seco} = W_{capsula+suelo\ seco} - W_{capsula}$$

$$W_{suelo\ seco} = 19.65 - 18.51 = 1.14 \text{ gramos}$$

Límite plástico de la muestra N°1:

$$w_{muestra\ N^{\circ}1} = \frac{W_{agua}}{W_{suelo\ seco}} = \frac{0.39}{1.14} * 100 = 34.21\%$$

De manera similar se resuelve en las demás muestras.



Tabla 3-23 Resumen del ensayo de límite plástico

MUESTRA	LIMITE PLASTICO (LP)
A	38.07%
B	37.15%
C	36.35%
D	36.70%
E	39.87%
F	34.22%
G	33.22%
H	37.94%
I	40.08%
J	35.03%
K	32.72%
L	38.56%
M	36.35%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5 Clasificación del Suelo.

Para la clasificación del suelo, es necesario conocer los parámetros siguientes, que son muy importantes:

- Índice de plasticidad (IP)
- Suelo orgánico
- Carta de plasticidad

3.6.5.1 Índice de Plasticidad.

El índice de plasticidad, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Para la muestra G:

$$IP = 44.92\% - 33.22\% = 11.70\%$$

A continuación, se presenta el índice de plasticidad de las demás muestras:

Tabla 3-24 Resumen de índice de plasticidad

MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO (LL)	LÍMITE PLÁSTICO (LP)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)
A	51.80%	38.07%	13.74%
B	52.88%	37.15%	15.73%
C	50.88%	36.35%	14.53%
D	47.12%	36.70%	10.41%
E	54.81%	39.87%	14.94%
F	43.78%	34.22%	9.56%
G	44.92%	33.22%	11.70%
H	55.55%	37.94%	17.61%
I	53.93%	40.08%	13.85%
J	49.57%	35.03%	14.54%
K	42.95%	32.72%	10.24%
L	49.39%	38.56%	10.84%
M	48.87%	36.35%	12.51%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5.2 Suelo Orgánico.

Se distinguen dos tipos:

- Limo orgánico
- Arcilla orgánica
- Turbas

(Terzaghi & B. Peck, 1978), indica lo siguiente, los limos orgánicos, son suelos de granos finos más o menos plásticos, con una mezcla de partículas de materia orgánica finamente dividida. A veces contienen fragmentos visibles de materia vegetal parcialmente descompuesta o de otros elementos orgánicos. Estos suelos tienen colores que varían de gris a gris muy oscuro y pueden contener cantidades apreciables de H₂S, CO₂ y de otros productos gaseosos originados por descomposición de la materia orgánica, lo que les da un olor característico. Los limos orgánicos tienen muy alta compresibilidad y su permeabilidad es muy baja.

Las arcillas orgánicas son aquellos suelos de este tipo que derivan algunas de sus propiedades físicas más significativas de la presencia de materia orgánica finamente dividida. Cuando están saturados son generalmente muy compresibles y secos presentan una resistencia muy alta. Tienen colores que varían de gris oscuro a negro y pueden poseer un olor característico. (Terzaghi & B. Peck, 1978)

Las turbas son agregados fibrosos de fragmentos macro y microscópicos de materia orgánica descompuesta. Su color varía de un castaño claro a negro. Las turbas son tan compresibles que casi siempre resultan inadecuados para soportar fundaciones. (Terzaghi & B. Peck, 1978)

Según lo antes señalado, se han observado en la extracción de muestras las siguientes características:

Tabla 3-25 Características de las muestras extraídas

MUESTRA	COLOR	OLOR	RESIST. SUELO SECO
A	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
B	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
C	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
D	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
E	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
F	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
G	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
H	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
I	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
J	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
K	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
L	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
M	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la clasificación de suelos por el SUCS, según (M. Das, 2001), nos indica que para un suelo orgánico debe cumplir:

$$\text{suelo orgánico: } \frac{LL - \text{seco en horno}}{LL - \text{sin secar}} < 0.75$$

De acuerdo a nuestras muestras se determinó lo siguiente:

Muestra A:

$$\frac{51.80\% - 193.50}{51.80\% - 808} = 0.24 < 0.75$$

Se observa que, según la ecuación, nos da un valor menor de 0.75, entonces se trataría de un suelo orgánico.

De igual forma, se calcula en las demás muestras:



Tabla 3-26 Resumen del suelo orgánico

MUESTRA	LL	PESO SIN SECAR	PESO SECO EN HORNO	ORGANICO < 0.75
A	51.80%	808	193.5	0.24
B	52.88%	620.7	176.14	0.28
C	50.88%	688.35	231.94	0.34
D	47.12%	518.62	194.64	0.37
E	54.81%	590.41	223.59	0.38
F	43.78%	970	314	0.32
G	44.92%	952	271.27	0.28
H	55.55%	428.77	205.98	0.48
I	53.93%	801.07	238.78	0.3
J	49.57%	678.12	238.47	0.35
K	42.95%	710.52	344.17	0.48
L	49.39%	669.9	312.6	0.47
M	48.87%	669.9	312.6	0.47

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.5.3 Carta de Plasticidad.

La carta de plasticidad, es un gráfico del límite líquido vs índice de plasticidad, que nos sirve para ubicar la clasificación de suelo.

Se ha observado que muchas de las propiedades de las arcillas y de los limos, como su resistencia seca, su compresibilidad, su reacción a un ensayo de sacudimiento y su consistencia cerca del límite plástico, pueden relacionarse con los límites de Atterberg por medio del gráfico de plasticidades. (Terzaghi & B. Peck, 1978)

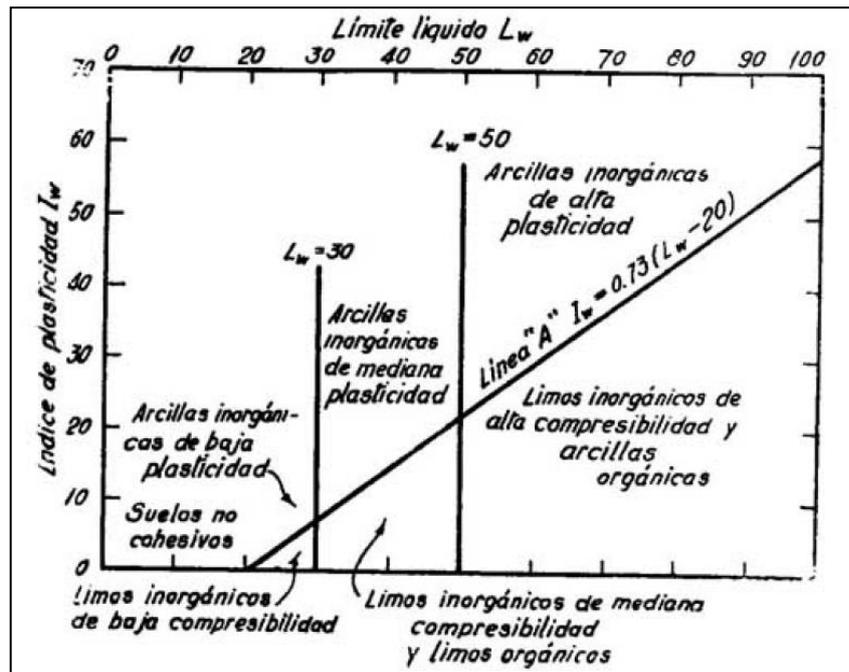


Figura 3-34 Gráfico de plasticidades

Fuente: (Terzaghi & B. Peck, 1978)

Del gráfico anterior se observa, que el sitio donde se encuentran los limos inorgánicos y suelos orgánicos, están en la misma área según el gráfico.

(Terzaghi & B. Peck, 1978), indica que, los puntos que representan las arcillas orgánicas están normalmente situados en la misma región que les corresponde a los limos inorgánicos de alta compresibilidad y los puntos que representan los limos orgánicos en la zona de los limos inorgánicos medianamente compresibles, pero este inconveniente es en general fácilmente salvable, ya que los suelos orgánicos se distinguen por su olor característico y por ser además de colores oscuros. En casos de duda, se debe determinar el límite líquido del material fresco y además el que le corresponde después de secado a estufa. Si el secado a estufa disminuye el valor del límite líquido en un 30% o más, el suelo puede usualmente ser clasificado como orgánico.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se puede dar validez al suelo orgánico de las muestras tomadas en la presente investigación.

Según el SUCS y criterios de Terzaghi, se clasifican las muestras como se describe a continuación:

Tabla 3-27 Símbolo y denominación del suelo orgánico

MUESTRA	SÍMBOLO DEL SUELO	DENOMINACIÓN
A	OH	ARCILLA ORGÁNICA
B	OH	ARCILLA ORGÁNICA
C	OH	ARCILLA ORGÁNICA
D	OL	LIMO ORGÁNICO
E	OH	ARCILLA ORGÁNICA
F	OL	LIMO ORGÁNICO
G	OL	LIMO ORGÁNICO
H	OH	ARCILLA ORGÁNICA
I	OH	ARCILLA ORGÁNICA
J	OL	LIMO ORGÁNICO
K	OL	LIMO ORGÁNICO
L	OL	LIMO ORGÁNICO
M	OL	LIMO ORGÁNICO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Las muestras quedarán graficadas de acuerdo a su límite líquido e índice de plasticidad de la siguiente manera:

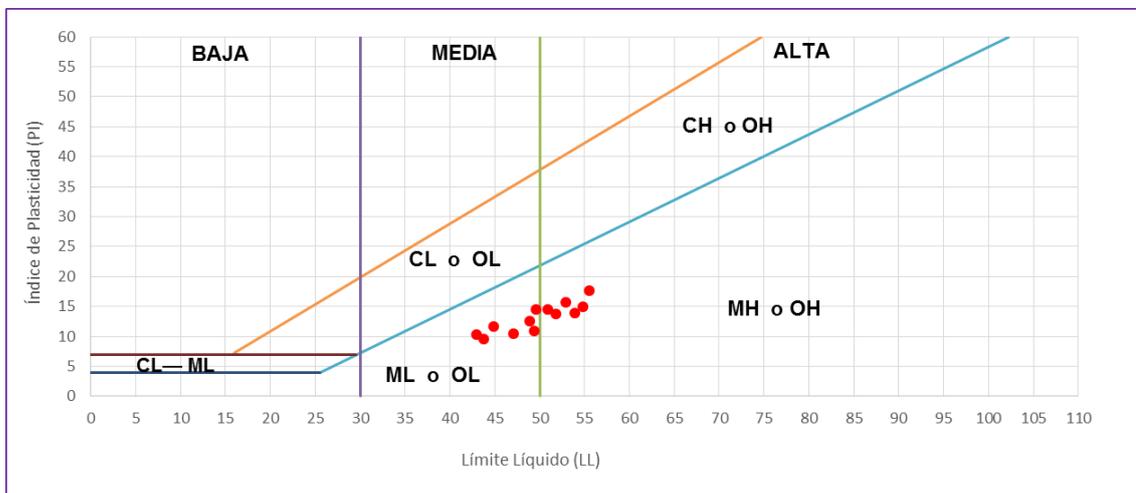


Figura 3-35 Resumen de la ubicación del suelo orgánico en la carta de plasticidad

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.6 Ensayo de Densidad de Masa.

El peso unitario de un suelo, se puede definir como la masa de un volumen unitario del suelo, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el



volumen de vacíos entre partículas, bien sea que estos vacíos estén llenos de agua para lo cual sería peso unitario saturado. (Botia Diaz, 2015)

Existen tres métodos para realizar el ensayo de densidad de masa:

- Método por volumen geométrico conocido
- Método por inmersión en agua
- Método por desplazamiento del agua

El primero se trata de moldear la muestra a una figura geométrica conocida, la segunda es mediante la inmersión de agua de una muestra de volumen y la tercera por la ley del empuje de agua.

Se optó por realizar el método de inmersión en agua para la presente investigación.

3.6.6.1 Método de Inmersión en Agua.

Consiste en obtener la densidad de masa sumergiendo la muestra en un vaso y registrar el peso sumergido.

La densidad de masa se obtiene:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

3.6.6.2 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Densidad de Masa.

Los equipos usados para el ensayo fueron:

- Parafina (vela derretida)
- Balanza de precisión de 0.1 g.
- Horno a temperatura de 100+/- 5°C.
- Vaso para sumergir la muestra
- Cocina
- Otros (guantes, hilo delgado, cuchillo, etc.)

El procedimiento del ensayo se describe a continuación:

- a) Extraer la muestra irregular con cuchillo y registrar su peso.



Figura 3-36 Preparacion de la parafina derretida

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- b) La parafina (vela), debe derretirse en una cocina, luego de enfriar debe cubrirse en toda la muestra, después con un hilo delgado se debe atar la muestra, luego registrar peso de la muestra más la parafina.



Figura 3-37 Procedimiento para obtener el peso sumergido de la muestra

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- c) Luego sumergir la muestra en un cilindro tubular y registrar el peso sumergido.



Figura 3-38 Muestra sumergida sin tocar las paredes del cilindro de vidrio

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- d) Es necesario también determinar el peso específico o densidad de masa de la parafina, en nuestro caso vela derretida, en un cilindro de menor altura se determina su volumen y se echa la vela derretida hasta el borde, luego se determina su densidad.



Figura 3-39 Determinacion de la densidad de la parafina en laboratorio

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- e) Determinamos la densidad de masa de la muestra de suelo.

3.6.6.3 Cálculos y Resultados del Ensayo de Densidad de Masa.

3.6.6.3.1 Peso Específico de la Parafina

Comenzamos con el cálculo del peso específico de la parafina, que mantendremos como constante en los demás resultados.

Obtenemos las dimensiones del molde a utilizar, conociendo que su figura geométrica es un cilindro de poca altura:

Tabla 3-28 Dimensiones del molde para el ensayo de densidad de la parafina

Dimensiones del molde	1	2
Diámetro	4.36	4.35
Altura	1.12	1.13
Volumen del molde	16.72	16.79

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De la tabla anterior se determina el volumen del molde:

$$volumen\ del\ molde = \frac{\pi * D^2 * h}{4}$$

Una vez obtenido el volumen, procedemos a realizar el ensayo obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3-29 Peso específico de la parafina

Descripción	1	2
peso del molde	19.54	19.49
peso del molde más parafina	34.95	34.81
volumen del molde	16.72	16.79
peso de la parafina	15.41	15.32
peso específico de la parafina	0.92	0.91
peso específico promedio	0.92	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Determinamos el peso de la parafina del ensayo No 1:

$$\begin{aligned} peso\ de\ la\ parafina &= (peso\ del\ molde + parafina) - (peso\ del\ molde) \\ peso\ de\ la\ parafina &= 34.95 - 19.54 = 16.72\ gramos \end{aligned}$$

Peso específico de la parafina del ensayo No 1:

$$\gamma_{parafina} = \frac{15.41}{16.72} = 0.92\ g/cm^3$$

De la tabla anterior, se aprecia el peso específico promedio de la parafina de 0.92 g/cm³, este valor se usará para el resto de los ensayos como un valor constante.

3.6.6.3.2 *Peso Específico o Densidad de Masa*

Como se trata de dos tipos de suelos orgánicos bien definidos, realizaremos los ensayos para cada tipo de suelo.

Para la muestra A (arcilla orgánica), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-30 Densidad de masa de la muestra A (arcilla orgánica)

Descripción	UND.	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra	gr.	94.46	73.8	68.68
Peso de la muestra + parafina	gr.	95.22	75.35	70.59
Peso de la muestra sumergida + parafina	gr.	37.85	29.27	27.38
Peso de la Parafina	gr.	0.76	1.55	1.91
Volumen de la muestra + parafina	cm ³	57.37	46.08	43.21
Peso específico de la parafina	g/cm ³	0.92	0.92	0.92
Volumen de la parafina	cm ³	0.83	1.68	2.08
Volumen de la muestra	cm ³	56.54	44.4	41.13
Peso específico de masa	g/cm ³	1.67	1.66	1.67
Promedio Peso específico de masa	g/cm ³		1.67	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Para la muestra M-1:

peso de la parafina

$$= (\text{peso de la muestra + parafina}) - (\text{peso de la muestra})$$

$$\text{peso de la parafina} = 95.22 - 94.46 = 0.76 \text{ gramos}$$

Volumen de la parafina:

$$V_{\text{parafina}} = \frac{W_{\text{parafina}}}{\gamma_{\text{parafina}}} = \frac{0.76}{0.92} = 0.83 \text{ cm}^3$$

Ahora, determinamos el volumen de la muestra:

$$V_{\text{muestra+parafina}} = W_{\text{muestra+parafina}} - W_{\text{muestra sumergida+parafina}}$$

$$V_{\text{muestra+parafina}} = 95.22 - 37.85 = 57.37 \text{ cm}^3$$

Del valor anterior obtenido, debemos restarle el volumen de la parafina:

$$V_{\text{muestra}} = V_{\text{muestra+parafina}} - V_{\text{parafina}}$$

$$V_{\text{muestra}} = 57.37 - 0.83 = 56.54 \text{ cm}^3$$

Densidad de masa de la muestra M-1:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{94.46}{56.54} = 1.67 \text{ g/cm}^3$$

De manera similar se realiza el procedimiento para las demás muestras, debiendo obtenerse un valor promedio de densidad de masa, que no deben estar alejados en más del 2%, sino se debe promediar con los dos más cercanos.

$$\rho_{promedio} = \frac{1.67 + 1.66 + 1.67}{3} = 1.67 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Para la muestra G (limo orgánico), se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-31 Densidad de masa de la muestra G (limo orgánico)

Descripción	UND.	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra	gr.	40.67	49.22	38.21
Peso de la muestra + parafina	gr.	44.98	52.45	40.74
Peso de la muestra sumergida + parafina	gr.	15.02	18.1	13.77
Peso de la Parafina	gr.	4.31	3.23	2.53
Volumen de la muestra + parafina	cm ³	29.96	34.35	26.97
Peso específico de la parafina	g/cm ³	0.92	0.92	0.92
Volumen de la parafina	cm ³	4.68	3.51	2.75
Volumen de la muestra	cm ³	25.28	30.84	24.22
Peso específico de masa	g/cm ³	1.61	1.60	1.58
Promedio Peso específico de masa	g/cm ³		1.6	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Para la muestra M-1:

peso de la parafina

$$= (\text{peso de la muestra} + \text{parafina}) - (\text{peso de la muestra})$$

$$\text{peso de la parafina} = 44.98 - 40.67 = 4.31 \text{ gramos}$$

Volumen de la parafina:

$$V_{parafina} = \frac{W_{parafina}}{\gamma_{parafina}} = \frac{4.31}{0.92} = 4.68 \text{ cm}^3$$

Ahora, determinamos el volumen de la muestra:

$$V_{muestra+parafina} = W_{muestra+parafina} - W_{muestra\ sumergida+parafina}$$

$$V_{muestra+parafina} = 44.98 - 15.02 = 29.96 \text{ cm}^3$$



Del valor anterior obtenido, debemos restarle el volumen de la parafina:

$$V_{muestra} = V_{muestra+parafina} - V_{parafina}$$

$$V_{muestra} = 29.96 - 4.68 = 25.28 \text{ cm}^3$$

Densidad de masa de la muestra M-1:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{40.67}{25.28} = 1.61 \text{ g/cm}^3$$

De manera similar se realiza el procedimiento para las demás muestras, debiendo obtenerse un valor promedio de densidad de masa, que no deben estar alejados en más del 2%, sino se debe promediar con los dos más cercanos.

$$\rho_{promedio} = \frac{1.61 + 1.60}{2} = 1.61 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Una vez realizado todos los ensayos de densidad de masa, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-32 Resumen de resultados del ensayo de densidad de masa

MUESTRA	DENSIDAD DE MASA (g/cm ³)
A	1.67
B	1.65
C	1.65
D	1.6
E	1.64
F	1.56
G	1.6
H	1.63
I	1.63
J	1.6
K	1.6
L	1.58
M	1.6

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.7 Ensayo de Gravedad Específica.

La gravedad específica se define como la relación entre una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 20°C. La gravedad específica se presenta bajo el símbolo de “Gs” y se presenta en condición adimensional. (Botia Diaz, 2015)



$$\gamma_{sólidos} = \frac{W_{sólidos}}{V_{sólidos}}$$

Donde:

$\gamma_{sólidos}$ = peso específico de los sólidos

$W_{sólidos}$ = peso de sólidos de la muestra de suelo

$V_{sólidos}$ = volumen de sólidos de la muestra de suelo

Cuando el suelo está compuesto de partículas mayores que el tamiz de 2.38 mm (Nº8), deberá seguirse el método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso, MTC E 206. Cuando el suelo está compuesto por partículas mayores y menores que el tamiz de 2.38 mm (Nº8), se utilizara el método de ensayo correspondiente a cada porción. El valor del peso específico para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos. (MTC-E113, 2000)

Cuando la muestra contenga partículas de diámetros mayores y menores que la abertura del tamiz de 2.38 mm (Nº8), la muestra debe ser separada por dicho tamiz y debe determinarse el peso específico de la fracción fina (pasante tamiz Nº8) y el peso específico aparente de la fracción gruesa. (MTC-E113, 2000)

$$G = \frac{100}{\frac{\%pasante\ del\ N^{\circ}8}{G_s} + \frac{\%retenido\ en\ el\ N^{\circ}8}{G_a}}$$

Donde:

G = peso específico total

G_s = peso específico de los sólidos (pasa el tamiz Nº8)

G_a = peso específico aparente (retenido en el tamiz Nº8)

En la presente investigación, de acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de granulometría, se tiene material pasante del tamiz Nº8.



Tabla 3-33 Factor de corrección por temperatura y densidad del agua

TEMP.	Densidad agua (gr/ml)	Factor de corrección K
16	0.99897	1.0007
16.5	0.99889	1.0007
17	0.9988	1.0006
17.5	0.99871	1.0005
18	0.99862	1.0004
18.5	0.99853	1.0003
19	0.99843	1.0002
19.5	0.99833	1.0001
20	0.99823	1.0000
20.5	0.99812	0.9999
21	0.99802	0.9998
21.5	0.99791	0.9997
22	0.9978	0.9996
22.5	0.99768	0.9995
23	0.99757	0.9993
23.5	0.99745	0.9992
24	0.99732	0.9991

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.7.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Gravedad Específica

Los equipos usados con los siguientes:

- Picnómetro de 250 ml
- Horno de secado
- Termómetro
- Malla No. 8
- Baño de agua (baño María)
- Balanza con precisión de 0.1g
- Otros (taras, embudo, guantes, etc.)

El procedimiento del ensayo, se describe a continuación:

- a) Se debe realizar una calibración del picnómetro, para regular la temperatura.
- b) Se debe registrar el peso y volumen del picnómetro.



Figura 3-40 Peso y volumen (250 ml) del picnómetro

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- c) De acuerdo a la capacidad del picnómetro se elige la cantidad de muestra y se deja secar en horno durante 24 horas.

Tabla 3-34 Cantidad de muestra para el ensayo de gravedad específica

Capacidad del picnómetro (cm ³)	Cantidad requerida aproximadamente (g)
100	25-35
250	55-65
500	120-130

Fuente: (MTC-E113, 2000)

- d) Una vez secada la muestra, se echa en el picnómetro y se registra el peso del picnómetro más la muestra seca.



Figura 3-41 Muestra aproximada para el picnometro de 250 cm³

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- e) Luego, se debe mezclar con agua hasta la tercera parte del volumen del picnómetro y llevarlo a un baño con agua (baño María), durante 30 minutos, hasta que se desaparezca el aire atrapado en las partículas.



Figura 3-42 Muestra húmeda en el picnometro y baño María

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- f) Luego de eliminar el aire atrapado, sacar la muestra del baño María, se debe llenar con agua hasta la marca señalada en el picnómetro y registrar el peso de la muestra

más el picnómetro y el agua. Se debe medir la temperatura con la que se realizó el ensayo.



Figura 3-43 Eliminación del aire atrapado y corrección con el termómetro

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

g) Repetir el ensayo dos veces como mínimo y obtener la gravedad específica.

3.6.7.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Gravedad Específica

Se tienen dos tipos de suelos orgánicos bien definidos, por lo que se desarrollaron los cálculos de ambos.

- Muestra A (arcilla orgánica)

Se tienen los siguientes resultados de la muestra M-1:

Tabla 3-35 Gravedad específica de la muestra A (arcilla orgánica)

Descripción	UND.	M-1	M-2
Peso de la muestra seca + picnómetro	gr.	170.74	163.71
Peso de la muestra + picnómetro + agua	gr.	389.13	386.99
Peso del picnómetro	gr.	89.15	94.76
Volumen del picnómetro	cm ³	250	250
Temperatura del agua	°C	16	16
Peso del agua	gr.	218.39	223.28
Peso de la muestra secada al horno	gr.	81.59	68.95
Volumen de sólidos	cm ³	31.61	26.72
Peso específico de los sólidos	g/cm ³	2.5811	2.5805
Valor de “k”	Tabla	1.0007	1.0007
Peso específico corregido por Temperatura	g/cm ³	2.583	2.5823
Peso específico del agua	g/cm ³	0.999	0.999
Gravedad Especifica Relativa de los sólidos		2.59	2.58
Gravedad Especifica Relativa de los sólidos Prom.			2.59

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Determinamos el peso del agua:

$$\text{peso del agua} = W_{\text{muestra+picnometro+agua}} - W_{\text{muestra seca+picnometro}}$$

$$\text{peso del agua} = 389.13 - 170.74 = 218.39 \text{ gramos}$$

Peso de la muestra secada al horno (peso de los sólidos)

$$W_{\text{sólidos}} = (\text{peso de la muestra seca} + \text{picnómetro}) - (\text{peso picnómetro})$$

$$W_{\text{sólidos}} = 170.74 - 89.15 = 81.59 \text{ gramos}$$

Volumen de sólidos:

$$\text{volumen de sólidos} = \text{volumen del picnómetro} - \text{peso del agua}$$

$$V_s = 250 - 218.39 = 31.61 \text{ cm}^3$$

Peso específico de los sólidos:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{81.59}{31.61} = 2.5811 \text{ g/cm}^3$$

En el ensayo se obtuvo con el termómetro una temperatura de 16°C, que de acuerdo a la tabla de factor de corrección por temperatura (k):

$$k=1.0007$$

Peso específico corregido por temperatura:

$$\gamma_{\text{corregido por temp}} = 2.5811 * 1.0007 = 2.5830 \text{ g/cm}^3$$

De la misma tabla, hacemos la corrección por temperatura con la densidad del agua.

Densidad del agua = 0.9990

Finalmente determinamos la gravedad específica de los sólidos (G_s)

$$G_s = \frac{2.5830}{0.9990} = 2.59$$

De manera similar se realiza para las demás muestras, no pudiendo variar en más del 2% los resultados, sino se debe repetir el ensayo.

Gravedad específica de la muestra A (arcilla orgánica)

$$G_s = \frac{2.59 + 2.58}{2} = 2.59$$

- Muestra G (limo orgánico)

Se tienen los siguientes resultados de la muestra M-1:

Tabla 3-36 Gravedad específica de la muestra G (limo orgánico)

Descripción	UND.	M-1	M-2
Peso de la muestra seca + picnómetro	gr.	158.98	167.61
Peso de la muestra + picnómetro + agua	gr.	381.43	388.86
Peso del picnómetro	gr.	89.15	94.76
Volumen del picnómetro	cm ³	250	250
Temperatura del agua	°C	17	17
Peso del agua	gr.	222.45	221.25
Peso de la muestra secada al horno	gr.	69.83	72.85
Volumen de sólidos	cm ³	27.55	28.75
Peso específico de los sólidos	g/cm ³	2.5347	2.5339
Valor de "k"	Tabla 1	1.0006	1.0006
Peso específico corregido por Temperatura	g/cm ³	2.5362	2.5354
Peso específico del agua	g/cm ³	0.9988	0.9988
Gravedad Especifica Relativa de los sólidos		2.54	2.54
Gravedad Especifica Relativa de los sólidos Prom		2.54	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Determinamos el peso del agua:

$$\text{peso del agua} = W_{\text{muestra+picnometro+agua}} - W_{\text{muestra seca+picnometro}}$$

$$\text{peso del agua} = 381.43 - 158.98 = 222.45 \text{ gramos}$$

Peso de la muestra secada al horno (peso de los sólidos)



$$W_{\text{solidos}} = (\text{peso de la muestra seca} + \text{picnometro}) - (\text{peso picnometro})$$

$$W_{\text{solidos}} = 158.98 - 89.15 = 69.83 \text{ gramos}$$

Volumen de solidos:

$$\text{volumen de solidos} = \text{volumen del picnometro} - \text{peso del agua}$$

$$V_s = 250 - 222.45 = 27.55 \text{ cm}^3$$

Peso específico de los sólidos:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{69.83}{27.55} = 2.5347 \text{ g/cm}^3$$

En el ensayo se obtuvo con el termómetro una temperatura de 16°C, que de acuerdo a la tabla de factor de corrección por temperatura (k):

$$k=1.0006$$

Peso específico corregido por temperatura:

$$\gamma_{\text{corregido por temp}} = 2.5347 * 1.0006 = 2.5362 \text{ g/cm}^3$$

De la misma tabla, hacemos la corrección por temperatura con la densidad del agua.

$$\text{Densidad del agua} = 0.9988$$

Finalmente determinamos la gravedad específica de los sólidos (G_s)

$$G_s = \frac{2.5362}{0.9988} = 2.54$$

De manera similar se realiza para las demás muestras, no pudiendo variar en más del 2% los resultados, sino se debe repetir el ensayo.

Gravedad específica de la muestra G (limo orgánico)

$$G_s = \frac{2.54 + 2.54}{2} = 2.54$$

A continuación, se describe el resumen de resultados de gravedad específica:

Tabla 3-37 Resumen de resultados del ensayo de gravedad específica

MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Gs)
A	2.59
B	2.63
C	2.64
D	2.51
E	2.62
F	2.53
G	2.54
H	2.61
I	2.62
J	2.54
K	2.51
L	2.51
M	2.52

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.8 Ensayo de Compresión Simple.

La consistencia de las arcillas y de otros suelos cohesivos se describe comúnmente con los términos blando, compacto, resistente y duro. La media cuantitativa más directa de la consistencia es la resistencia a la compresión simple (no confinada) de muestras prismáticas o cilíndricas del suelo. (Terzaghi & B. Peck, 1978)

De acuerdo a lo expuesto, Terzaghi propone la siguiente tabla para medir la consistencia del suelo:

Tabla 3-38 Consistencia de las arcillas saturadas en función de la resistencia a la compresión simple

Consistencia	Resistencia a la compresión simple q_u en kg/cm^2
Muy blanda	menos de 0,25
Blanda	0,25–0,5
Medianamente compacta	0,5 –1,0
Compacta	1,0 –2,0
Muy compacta	2,0 –4,0
Dura	mayor de 4,0

Fuente: (Terzaghi & B. Peck, 1978)

La prueba no consolidada – no drenada es usualmente llevada a cabo sobre especímenes de arcilla y depende de un concepto de resistencia muy importante para los suelos cohesivos saturados. (M. Das, 2001)

3.6.8.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Compresión Simple

Los equipos usados fueron los siguientes:

- Molde para muestras remoldeadas
- Balanza de precisión de 0.01g
- Máquina de compresión inconfiada

El procedimiento se describe a continuación:

- Del molde a utilizar, se mide la altura y diámetro con vernier, se debe medir 3 veces y sacar el promedio de cada dimensión.



Figura 3-44 Molde para el ensayo de compresión

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- Luego se obtiene el volumen con las dimensiones ya medidas, luego con la densidad realizada anteriormente, se determina el peso que debe ir en el molde.



Figura 3-45 Obtención del volumen del molde

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- Se coloca alrededor interno del molde un plástico para que, al momento de sacar la muestra, no se adhiera con el molde.



Figura 3-46 Muestra remoldeada con plástico alrededor

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- d) La muestra remoldeada debe ir en 5 capas colocándolas en 5 alturas iguales hasta llegar al límite del molde.
- e) Terminado el colocado se saca la muestra y se lleva a realizar el ensayo de compresión simple, en esta ocasión, se usó el equipo triaxial.



Figura 3-47 Ensayo de compresión simple en el equipo triaxial

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- f) Se debe tomar como mínimo 2 muestras para realizar el ensayo de compresión simple.

3.6.8.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Compresión Simple.

Como la compresión simple se da en arcillas, describiremos los cálculos y resultados del suelo orgánico, tipo arcilla orgánica, en condiciones cuando la muestra fue remoldeada:

- Muestra A (arcilla orgánica)

Comenzamos midiendo las dimensiones del molde que se va a utilizar:

Tabla 3-39 Dimensiones del molde

Diámetro (mm)	Altura (mm)
71.09	141.83
71.01	141.9
70.9	142.17

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Diámetro promedio del molde:

$$D_{promedio} = \frac{71.09 + 71.01 + 70.90}{3} = 71.00mm = 7.10cm$$

Altura promedio del molde:

$$H_{promedio} = \frac{141.83 + 141.90 + 142.17}{3} = 141.97mm = 14.20cm$$

Volumen del molde:

$$V_{molde} = \pi * \frac{D^2}{4} * H = \pi * \frac{7.10^2}{4} * 14.20 = 562.21cm^3$$

Como la densidad se obtuvo anteriormente, que fue de 1.67 g/cm³, determinamos el peso que debería ir en el molde:

$$W_{molde} = \rho * V_{molde}$$

$$W_{molde} = 1.67 \frac{g}{cm^3} * 562.21cm^3 = 937.49gramos$$

Este peso, debe ir poniéndose en el molde en 5 capas de la misma altura:

Tabla 3-40 Colocación de la muestra en el molde

Altura inicial	Altura acumulada (H)	Peso de la muestra (W)
2.84	2.84	187.498
2.84	5.68	187.498
2.84	8.52	187.498
2.84	11.36	187.498
2.84	14.2	187.498

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Ahora, sacando 3 muestras, se determina el contenido de humedad, teniéndose para la muestra A, de 51.99%

Determinamos el área del molde, donde se aplicará la fuerza a la compresión:

$$A_{molde} = \pi * \frac{D^2}{4} = \pi * \frac{7.10^2}{4} = 39.59cm^2$$

A continuación, se muestra el resumen de los datos obtenidos:

Tabla 3-41 Registro de datos de las muestras

Datos	Und.	Muestras 1 y 2
Peso	gr	937.49
Diámetro	cm	7.1
Altura (Lo)	cm	14.2
Área (Ao)	cm ²	39.59
Densidad	gr/cm ³	1.67
Humedad (w)	%	51.99

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para la muestra N°1, Determinamos la deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ΔL = deformación total de la muestra (axial) en milímetros

L_0 = longitud inicial de la muestra en milímetros

Para una deformación de 0.25mm, se tendrá una deformación unitaria de:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0.25mm}{142mm} = 0.002$$



Para una deformación de 0.5mm, se tendrá una deformación unitaria de:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{0.5mm}{142mm} = 0.004$$

Así sucesivamente hasta que, en la deformación se encuentre la máxima carga aplicada.

El esfuerzo instantáneo del ensayo sobre la muestra se expresa:

$$\sigma = \frac{P}{A'}$$

Donde:

P=carga sobre la muestra en cualquier instante para el correspondiente valor de ΔL en KN

A'=área de la sección transversal de la muestra para la carga correspondiente P en m²

$$A' = \frac{A_o}{1 - \varepsilon}$$

Donde:

$A_o = \text{area original}$

Para la muestra N°1, para la deformación de 0.25mm:

$$A' = \frac{39.59}{1 - 0.002} = 39.66cm^2$$

El esfuerzo para la muestra N°1:

$$\sigma = \frac{1.90}{39.66} = 0.048$$

Se realizar de manera similar en las demás muestras. A continuación, se muestra el registro de datos y los resultados de la muestra 1 y 2:

Tabla 3-42 Determinación del esfuerzo en el ensayo N°1 de la muestra A

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Área corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (KN)	Carga (kg) P	Esfuerzo Normal (kpa)	Esfuerzo (kg/cm ²) $\sigma = P / A'$
0	0	39.59	0	0	0	0
0.25	0.002	39.66	0.019	1.9	4.79	0.048
0.5	0.004	39.73	0.03	2.9	7.3	0.073
0.75	0.005	39.8	0.037	3.6	9.04	0.09
1	0.007	39.87	0.042	4.1	10.28	0.103
1.5	0.011	40.01	0.059	5.8	14.49	0.145
2	0.014	40.16	0.072	7.1	17.68	0.177
2.5	0.018	40.3	0.088	8.6	21.34	0.213
3	0.021	40.45	0.098	9.6	23.74	0.237
3.5	0.025	40.59	0.113	11.1	27.34	0.273
4	0.028	40.74	0.123	12.1	29.7	0.297
5	0.035	41.04	0.141	13.8	33.63	0.336
6	0.042	41.34	0.136	13.3	32.17	0.322
7	0.049	41.64	0.113	11.1	26.65	0.267
8	0.056	41.96	0.072	7.1	16.92	0.169

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla 3-43 Determinación del esfuerzo en el ensayo N°2 de la muestra A

Deformación (mm) ΔL	Deformación Unit. $\times 10^{-2}$ $\epsilon = \Delta L / L_0$	Área corr. (cm ²) $A' = A_0 / (1 - \epsilon)$	Lectura Carga (KN)	Carga (kg) P	Esfuerzo Normal (kpa)	Esfuerzo (kg/cm ²) $\sigma = P / A'$
0	0	39.59	0	0	0	0
0.25	0.002	39.66	0.023	2.3	5.8	0.058
0.5	0.004	39.73	0.037	3.6	9.06	0.091
0.75	0.005	39.8	0.042	4.1	10.3	0.103
1	0.007	39.87	0.05	4.9	12.29	0.123
1.5	0.011	40.01	0.064	6.3	15.74	0.157
2	0.014	40.16	0.078	7.7	19.17	0.192
2.5	0.018	40.3	0.095	9.3	23.08	0.231
3	0.021	40.45	0.103	10.1	24.97	0.25
3.5	0.025	40.59	0.117	11.5	28.33	0.283
4	0.028	40.74	0.133	13	31.91	0.319
5	0.035	41.04	0.147	14.4	35.09	0.351
6	0.042	41.34	0.138	13.5	32.66	0.327
7	0.049	41.64	0.117	11.5	27.61	0.276
8	0.056	41.96	0.085	8.3	19.78	0.198

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente graficamos el máximo esfuerzo desviador (qu máx.) de acuerdo a:

$$C = \frac{qU_{max}}{2}$$

Donde:

C=cohesión

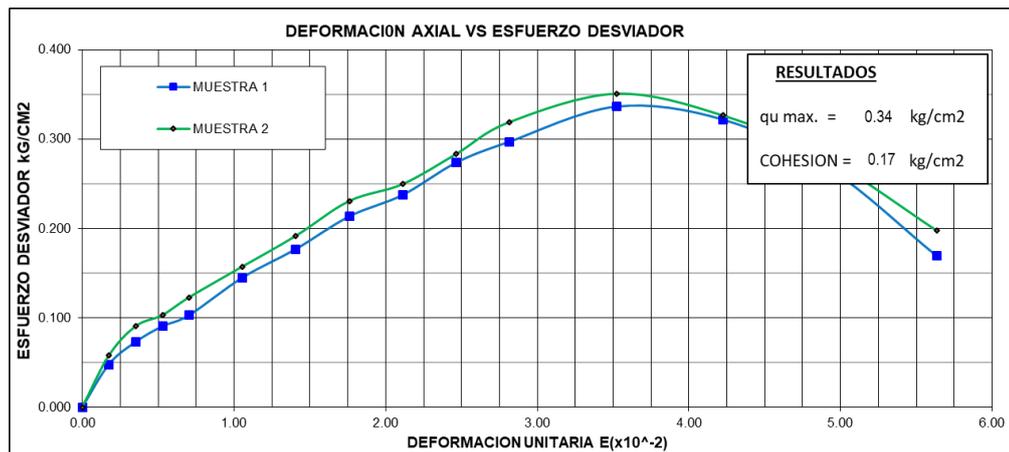


Figura 3-48 Resistencia a la compresión de la muestra A (arcilla orgánica)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De igual manera, se muestra el gráfico de la cohesión:

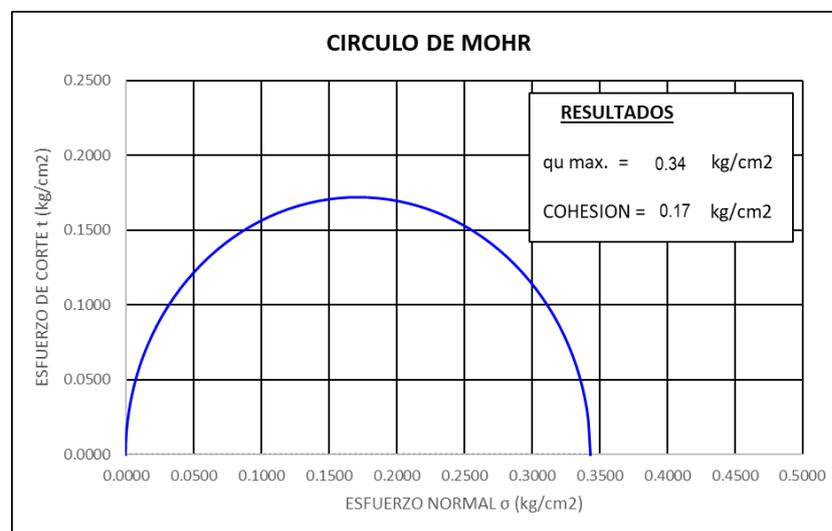


Figura 3-49 Círculo de Mohr de la muestra A (arcilla orgánica)

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.6.9 Ensayo de Peso Específico Suelto.

El peso unitario de un suelo, se puede definir como la masa de un volumen unitario de suelo, en la cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el

volumen de vacíos entre partículas, bien sea que estos vacíos estén llenos de agua para lo cual sería peso unitario saturado o que estén secos para un peso unitario seco. (Botia Diaz, 2015)

Debemos definir algunas fórmulas, que serán útiles para determinar el peso específico suelto.

El peso específico suelto, esta expresado como:

$$\gamma_{SUELTO} = \frac{W_{SUELTO}}{V}$$

El peso específico seco suelto:

$$\gamma_{d SUELTO} = \frac{W_s SUELTO}{V}$$

El peso específico seco se expresa en términos de su peso específico húmedo y contenido de humedad como:

$$\gamma_{d SUELTO} = \frac{\gamma_{SUELTO}}{1 + \frac{w}{100}}$$

(MTC-E203, 2000), indica que, se llena el recipiente por medio de una herramienta, de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor de 50 mm (2”), por encima del borde hasta colmarlo.

3.6.9.1 Equipos y Procedimiento del Ensayo de Peso Específico Suelto.

Los equipos usados fueron los siguientes:

- Horno de secado
- Molde cilíndrico
- Bandejas
- Comba de goma
- Balanza de precisión de 0.1g
- Otros (cuchara, guantes, etc.)
- Enrasador.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

- a) Comenzamos verificando la norma MTC E 203-2000, donde nos indica las dimensiones mínimas que debe cumplir el molde cilíndrico.



Figura 3-50 Verificación de la dimensiones del molde (MTC E 203-2000)

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- b) Se deja secar la muestra en bandejas con un peso aproximado de 15 kilogramos.
- c) Luego de secado la muestra, se deja enfriar y con la comba de goma, se deshacen los grumos.



Figura 3-51 Muestra seca con grumos, deshaciendo con la comba de goma

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- d) Se pesa el molde cilíndrico y registrar.



Figura 3-52 Peso del molde cilíndrico vacío

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- e) Con una cuchara, se deja caer la muestra seca a una altura de 2", hasta colmar el molde cilíndrico y luego enrasar al borde del molde.



Figura 3-53 Enrase de la muestra en el molde cilíndrico

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

- f) Luego se debe pesar la muestra más el molde y registrar.



Figura 3-54 Peso de la muestra más el molde cilíndrico como mínimo 3 veces

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo



- g) Se debe tomar 3 ensayos, no pudiendo variar en más del 2% sus resultados, sino promediar con los más cercanos.

3.6.9.2 Cálculos y Resultados del Ensayo de Peso Específico Suelto.

Comenzamos verificando las dimensiones óptimas del molde, es decir, que cumplan con la norma MTC E 203-2000 (pesos unitarios y vacíos de los agregados).

Tabla 3-44 Volumen del molde según el tamaño máximo del agregado

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE LA MEDIDA	
mm	pulgadas	L (m3)	P3
12.5	1/2	2.8 (0.0028)	1/10
25	1	9.3 (0.0093)	1/3
37.5	1 1/2	14.0 (0.014)	1/2
75	3	28.0 (0.028)	1
112	4 1/2	70.0 (0.070)	2 1/2

Fuente: (MTC-E203, 2000)

^ La medida indicada será utilizada para ensayar agregados con tamaño máximo nominal igual o menor.

Tomamos las medidas del molde con un vernier:

Tabla 3-45 Dimensiones del molde cilíndrico

Diámetro (cm)	Altura (cm)	Espesor (mm)
15.115	16.546	8.24
15.192	16.548	8.09
15.159	15.547	7.67

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Con las dimensiones promedias, obtenemos el volumen:

$$V_{molde} = \pi * \frac{D^2}{4} * h$$

$$V_{molde} = \pi * \frac{15.155^2}{4} * 16.214 = 0.0029m^3$$

A continuación, se muestra el resumen de los valores obtenidos:

Tabla 3-46 Volumen del molde cilíndrico

Descripción	Nº	Und.
Diámetro	15.155	cm
Altura	16.214	cm
Espesor	0.8	cm
Volumen	0.002925	m3

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Como se han definido dos tipos de suelo orgánicos: arcilla y limo orgánico, se procederá a calcular ambos tipos de suelos.

- Muestra A (arcilla orgánica)

Para la muestra M-1:

Peso de la muestra seca:

$$W_{muestra\ seca} = W_{molde+muestra\ seca} - W_{molde}$$

$$W_{muestra\ seca} = 10595 - 7616 = 2979\ grams$$

Determinamos el peso unitario seco:

$$\gamma_{SUELTO} = \frac{2979}{2924.84} = 1.02\ g/cm^3$$

De las 3 muestras, se debe sacar el promedio, no pudiendo variar en más del 2% los resultados:

$$\gamma_{SUELTO\ PROM.} = \frac{1.02 + 1.02 + 1.03}{3} = 1.02\ g/cm^3$$

Se muestran los datos obtenidos de la muestra A, en la siguiente tabla:

Tabla 3-47 Peso específico suelto de la muestra A (arcilla orgánica)

Descripción	UND.	M-1	M-2	M-3
Peso del molde	gr	7,616.00	7,616.00	7,616.00
Peso del molde + M. seca	gr	10,595.00	10,599.00	10,614.00
Peso de la M. seca	gr	2,979.00	2,983.00	2,998.00
Volumen del molde	cm3	2,924.84	2,924.84	2,924.84
Peso unitario seco	gr/cm3	1.02	1.02	1.03
Peso unitario seco promedio	gr/cm3		1.02	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

- Muestra G (limo orgánico)



Para la muestra M-1:

Peso de la muestra seca:

$$W_{muestra\ seca} = W_{molde+muestra\ seca} - W_{molde}$$

$$W_{muestra\ seca} = 10256 - 7616 = 2640\text{ gramos}$$

Determinamos el peso unitario seco:

$$\gamma_{SUELTO} = \frac{2640}{2924.84} = 0.90\text{ g/cm}^3$$

De las 3 muestras, se debe sacar el promedio, no pudiendo variar en más del 2% los resultados:

$$\gamma_{SUELTO\ PROM.} = \frac{0.90 + 0.90 + 0.91}{3} = 0.90\text{ g/cm}^3$$

Se muestran los datos obtenidos de la muestra G, en la siguiente tabla:

Tabla 3-48 Peso específico suelto de la muestra G (limo orgánico)

Descripción	UND.	M-1	M-2	M-3
Peso del molde	gr	7,616.00	7,616.00	7,616.00
Peso del molde + M. seca	gr	10,256.00	10,243.00	10,266.00
Peso de la M. seca	gr	2,640.00	2,627.00	2,650.00
Volumen del molde	cm3	2,924.84	2,924.84	2,924.84
Peso unitario seco	gr/cm3	0.9	0.9	0.91
Peso unitario seco promedio	gr/cm3		0.9	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De manera similar se realizan los cálculos en las demás muestras, se describe a continuación el resumen los resultados:



Tabla 3-49 Resumen de resultados del peso específico suelto

MUESTRA	TIPO DE SUELO	PES SECO
A	ARCILLA ORGÁNICA	1.02
B	ARCILLA ORGÁNICA	1.02
C	ARCILLA ORGÁNICA	1.01
D	LIMO ORGÁNICO	0.90
E	ARCILLA ORGÁNICA	0.99
F	LIMO ORGÁNICO	0.89
G	LIMO ORGÁNICO	0.90
H	ARCILLA ORGÁNICA	1.00
I	ARCILLA ORGÁNICA	1.02
J	LIMO ORGÁNICO	0.90
K	LIMO ORGÁNICO	0.90
L	LIMO ORGÁNICO	0.90
M	LIMO ORGÁNICO	0.90

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

3.7 VARIABLES

La variable principal a estudiar es el Factor de Esponjamiento con el cual conseguiremos aumentar los costos de partidas referentes a movimientos de tierras en obras relacionadas a dragados en el lago Titicaca de Puno.

3.7.1 Operacionalización de Variables.

Se describe a continuación la operacionalización de variables de la presente investigación:

Tabla 3-50 Operacionalización de variables

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
PROBLEMA	OBJETIVO	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS	VARIABLE	INDICADOR	INSTRUMENTO	ENSAYOS DE LAB. DE SUELOS	CANTIDAD DE ENSAYOS	UNIDAD
¿Es posible determinar los factores de esponjamiento en suelos dragados en el canal de navegación los Uros y cuál será su incidencia en los costos de excavación, traslado y descarga?	Obtener los factores de esponjamiento del suelo dragado en el canal de navegación de los Uros.	<ul style="list-style-type: none"> Determinar las propiedades del suelo dragado en el canal de navegación los Uros de Puno. Obtener los factores de esponjamiento del suelo dragado en el canal de navegación de los Uros de Puno. Determinar la incidencia de los factores de esponjamiento en los costos de excavación, traslado y descarga? 	Existe una diferencia entre los factores de esponjamiento en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno -2018	Variable Independiente: Factor de Esponjamiento (X)	Obtención de los factores de esponjamiento y determinación de sus propiedades mediante los resultados de los ensayos de laboratorio de suelos	Realización de Ensayos de laboratorio de suelos obtenidos a través de muestras extraídas del canal de navegación de los Uros de Puno	Contenido de humedad	13	UND
							Granulometría	13	UND
							Límite líquido	13	UND
							Límite plástico	13	UND
							Densidad de masa	13	UND
							Clasificación de suelos	13	UND
							Gravedad específica	13	UND
							Compresión simple	12	UND
							Peso específico suelo	13	UND
							TOTAL DE ENSAYOS	116	UND
						DESCRIPCION	CANTIDAD	UND	
						Análisis de costos unitarios de excavación, traslado y descarga de dragados en el Canal de navegación de los Uros de Puno	3	UND	
						Mano de Obra	VARIOS		
						Materiales	VARIOS		
						Equipos y herramientas	VARIOS		
						Rendimientos	VARIOS		

3.8 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

3.8.1 Costos de Movimiento de Tierras en Suelos Dragados

3.8.1.1 Grado de Saturación del Suelo.

Se dice que un suelo es totalmente saturado, cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular, de solos dos fases, la sólida y la líquida. Muchos suelos yacientes bajo el nivel freático son totalmente saturados. (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2005)

3.8.1.2 Esponjamiento de Suelos.

Al excavar el material en banco, este resulta removido con lo que se provoca un aumento de volumen. Este hecho ha de ser tomado en cuenta para calcular la producción de excavación y dimensionar adecuadamente los medios transporte necesarios (Pomalaza Bacilio, 2016)

3.8.1.3 Metrados.

Los metrados para la verificación de la hipótesis, fueron tomados del Expediente Técnico Modificado denominado “Mejoramiento del canal de navegación los Uros Tramo II”, los cuales son:

Tabla 3-51 Metrados de movimiento de tierras según Exp. Técnico

Item	Descripción	Und.	Metrado	F.E.	Metrado Final
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
1.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	201,786.00	1.00	201,786.00
1.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	201,786.00	1.00	201,786.00
1.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	201,786.00	1.00	201,786.00

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

3.8.1.4 Análisis de Costos Unitarios en el Canal de Navegación los Uros Tramo II.

Se describe a continuación, las partidas que se usaron en movimiento de tierras según el Expediente Técnico Reformulado de la obra: Mejoramiento del canal de navegación los Uros Tramo II, donde se evaluaron los análisis de costos unitarios para la presente investigación, el mismo que servirá de comparación para los resultados finales.

3.8.1.4.1 Excavación de Material Suelto Bajo Agua.

Referente a la excavación de material dragado, podemos identificar el siguiente análisis de costos unitarios:

Tabla 3-52 Partida de excavación de material suelto bajo agua

1.01 EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA						UNIDAD: m3	
METRADO	259,010.20	RENDIMIENTO	MO.	600	EQ.	600	
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
CAPATAZ			hh	1	0.0133	14	0.19
OFICIAL			hh	1	0.0133	11.72	0.16
PEON			hh	2	0.0267	10.57	0.28
OPERADOR DE EQUIPO PESADO			hh	1	0.0133	14	0.19
OPERADOR DE BOTE - MOTORISTA			hh	0.5	0.0067	14	0.09
							0.91
	Materiales						
PETROLEO			gal		0.12	14.5	1.74
LUBRICANTES Y ACEITES			gal		0.004	45	0.18
							1.92
	Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES			% mo		3.00%	0.91	0.03
PLATAFORMA PONTÓN 21X10m			hm	1	0.0133	143	1.90
BOTE CON MOTOR FUERA DE BORDA 75 HP			hm	0.5	0.0067	24.9	0.17
REMOLCADOR DE TIRO 235 HP, 2000 RPM			hm	0.25	0.0033	172	0.57
GRUPO ELECTRÓGENO 38 HP 20 KW			hm	0.25	0.0033	15	0.05
EXCAVADORA SOBRE ORUGA 115-250 HP			hm	1	0.0133	165	2.19
							4.91
					COSTO UNITARIO	m3	7.74

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

3.8.1.4.2 Traslado de Material Extraído.

Se refiere a transportar el material en las condiciones más seguras posibles, evitando los desperdicios, que se originan debido al movimiento de las embarcaciones o al sobrellenado del mismo.

(Martinez Barron & S. Mora, 2008), propone varias formas de transportar el material dragado:

- En la misma draga que se auto carga con el material que se extrae y lo transporta a la zona de deposito
- El material lo pueden transportar otras embarcaciones, los gánguiles, que recién los materiales de la draga y lo llevan al área de vertido.
- También el material puede transportarse a través de tuberías impulsado en mezcla con agua

Se muestra a continuación el análisis de costos unitarios de la partida:

Tabla 3-53 Partida de traslado de material excavado

1.02 TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO						UNIDAD: m3	
METRADO	201,786.00	RENDIMIENTO	MO.	80	EQ.	80	
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
OPERADOR CAPITAN			hh	1	0.1000	14	1.4
TRIPULANTE OFICIAL			hm	1	0.1000	11.72	1.17
							2.57
Materiales							
GASOLINA 84			gal		0.053	12.8	0.68
							0.68
Equipos							
LANCHA AUTOPROPULSADA GASOLINERA			hm	1	0.1000	24.9	2.49
							2.49
COSTO UNITARIO						m3	5.74

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II

3.8.1.4.3 Descarga y Conformación de Relleno para Descanso de Aves.

Debe ejecutarse sobre áreas fijadas en el proyecto o de acuerdo a la topografía del lugar.

(Martínez Barrón & S. Mora, 2008), describe las formas de descarga:

- Por fondeo, es decir, el material se descarga por gravedad al mar desde el medio de transporte.
- Mediante el empleo de almejas o cucharas, que vacían el material del medio de transporte y lo echan al área de vertido.
- Por tuberías, siendo una continuación del método de elevación del material del fondo.

Se muestra a continuación el análisis de costos unitarios de la partida:

Tabla 3-54 Partida de descarga y conformación de relleno para descanso de aves

1.03 DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE						UNIDAD: m3	
METRADO	201,786.00	RENDIMIENTO	MO.	600	EQ.	600	
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra							
CAPATAZ			hh	0.1	0.0013	14	0.02
OFICIAL			hh	1	0.0133	11.72	0.16
PEON			hh	4	0.0533	10.57	0.56
							0.74
Materiales							
PETROLEO			gal		0.1	14.5	1.45
LUBRICANTES Y ACEITES			gal		0.0033	45	0.15
							1.6
Equipos							
HERRAMIENTAS MANUALES			% mo		3.00%	0.74	0.02
RETROEXCAVADORA SOBRE ORUGAS 115 - 165 HP			hm	1	0.0133	110	1.46
PLATAFORMA FLOTANTE			hm	0.5	0.0067	60	0.4
GRUPO ELECTRÓGENO 38 HP 20 KW			hm	0.25	0.0033	15	0.05
							1.93
COSTO UNITARIO						m3	4.27

Fuente: Expediente Técnico Modificado – Los Uros Tramo II



3.8.1.5 Presupuesto.

El presupuesto manteniendo como constante el factor de esponjamiento de 1.00, se puede obtener del siguiente cuadro:

Tabla 3-55 Presupuesto de movimiento de tierras con F.E. de 1.00

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	F.E .	Metrado Final	Precio S/.	Parcial S/.
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						3,581,701.50
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	201,786.00	-	201,786.00	7.74	1,561,823.64
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	201,786.00	1.00	201,786.00	5.74	1,158,251.64
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	201,786.00	1.00	201,786.00	4.27	861,626.22

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PROPIEDADES DE SUELOS DRAGADOS

4.1.1 Relación de Vacíos

La relación de vacíos y la porosidad están relacionadas entre sí de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100$$

Donde:

n: porosidad

e: relación de vacíos

El procedimiento de cálculo de la relación de vacíos es la siguiente:

- Muestra A (arcilla orgánica)

Se sabe que para un suelo saturado:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + e}$$

El peso específico seco en términos del sistema internacional:

$$\rho_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$

Además, la densidad seca, esta expresada como:

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + w}$$

Como $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$

Entonces determinamos la relación de vacíos para la arcilla orgánica:

$$\frac{\rho_h}{1 + w} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$
$$\frac{1.67}{1 + 0.5256} = \frac{2.59 * 1.00}{1 + e}$$
$$e = 1.37$$

Como la porosidad depende de la relación de vacíos:



$$n = \frac{e}{1 + e}$$
$$n = \frac{1.37}{1 + 1.37} = 57.22\%$$

- Muestra G (limo orgánico)

Se sabe que para un suelo saturado:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{G_s * \gamma_w}{1 + e}$$

El peso específico seco en términos del sistema internacional:

$$\rho_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$

Además, la densidad seca, esta expresada como:

$$\rho_d = \frac{\rho_h}{1 + w}$$

Como $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$

Entonces determinamos la relación de vacíos para la arcilla orgánica:

$$\frac{\rho_h}{1 + w} = \frac{G_s * \rho_w}{1 + e}$$
$$\frac{1.60}{1 + 0.5984} = \frac{2.54 * 1.00}{1 + e}$$
$$e = 1.53$$

Como la porosidad depende de la relación de vacíos:

$$n = \frac{e}{1 + e}$$
$$n = \frac{1.53}{1 + 1.53} = 60.51\%$$

De acuerdo a los cálculos efectuados en los ensayos de laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4-1 Resultados de la Relación de Vacíos

MUESTRA	HUMEDAD	DENS. MASA	G _s	DENS. SECA	REL. VACIOS	POROSIDAD
A	52.56	1.67	2.59	1.09	1.37	57.72
B	55.08	1.65	2.63	1.07	1.47	59.44
C	56.75	1.65	2.64	1.05	1.51	60.09
D	59.24	1.6	2.51	1.01	1.49	59.8
E	57.95	1.64	2.62	1.04	1.53	60.43
F	63.65	1.56	2.53	0.95	1.65	62.33
G	59.84	1.6	2.54	1	1.53	60.51
H	59.09	1.63	2.61	1.03	1.54	60.7
I	56.09	1.63	2.62	1.05	1.5	60.08
J	61.61	1.6	2.54	0.99	1.57	61.07
K	60.17	1.6	2.51	1	1.51	60.24
L	61.73	1.58	2.51	0.97	1.57	61.15
M	59.89	1.6	2.52	1	1.52	60.36

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.2 Grado de Saturación

El grado de saturación depende lo siguiente:

$$S = \frac{w \cdot G_s}{e}$$

Donde:

S: grado de saturación

w: contenido de humedad del suelo

G_s: gravedad específica

e: relación de vacíos

según

Tabla 4-2 Grado de saturación de suelos

Denominación	Grado de saturación (%)
Seco	0-25
Húmedo	25-50
Muy Húmedo	50-80
Altamente saturado	80-95
Saturado	95-100

Fuente: (Gonzalo, 2002)

El procedimiento de cálculo del grado de saturación es el siguiente:

- Muestra A (arcilla orgánica)

Se sabe que para un suelo:

$$S * e = w * G_s$$

Despejando el grado de saturación, tenemos:

$$S = \frac{w * G_s}{e}$$
$$S = \frac{0.5256 * 2.59}{1.37} = 99.53\%$$

- Muestra G (limo orgánico)

Se sabe que para un suelo:

$$S * e = w * G_s$$

Despejando el grado de saturación, tenemos:

$$S = \frac{w * G_s}{e}$$
$$S = \frac{0.5984 * 2.54}{1.53} = 99.15\%$$

Los resultados del grado de saturación se muestran a continuación:

Tabla 4-3 Resultados del grado de saturación

MUESTRA	HUMEDAD	G _s	REL. VACÍOS	GRAD. SATUR	EVALUACIÓN
A	52.56	2.59	1.37	99.53	SATURADO
B	55.08	2.63	1.47	98.76	SATURADO
C	56.75	2.64	1.51	99.31	SATURADO
D	59.24	2.51	1.49	99.8	SATURADO
E	57.95	2.62	1.53	99.32	SATURADO
F	63.65	2.53	1.65	97.33	SATURADO
G	59.84	2.54	1.53	99.15	SATURADO
H	59.09	2.61	1.54	99.88	SATURADO
I	56.09	2.62	1.5	97.64	SATURADO
J	61.61	2.54	1.57	99.59	SATURADO
K	60.17	2.51	1.51	99.7	SATURADO
L	61.73	2.51	1.57	98.36	SATURADO
M	59.89	2.52	1.52	99.21	SATURADO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.3 Características de un Suelo Orgánico

Las características propias de un suelo orgánico fueron las siguientes:

Tabla 4-4 Características de un suelo orgánico

MUESTRA	COLOR	OLOR	RESIST. SUELO SECO
A	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
B	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
C	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
D	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
E	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
F	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
G	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
H	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
I	NEGRO	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	ALTA
J	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
K	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
L	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA
M	GRIS	FUERTE (DESCOM. MAT. ORG.)	MEDIANA

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede evidenciar que, de acuerdo a las características del suelo orgánico, tales como el olor y color, se puede distinguir dos tipos de suelos orgánicos.

4.1.4 Tipos de Suelo Orgánico

De acuerdo a la obtención de muestras mediante el barreno posteadora, además de los ensayos de laboratorio se obtuvieron una clasificación de suelos, tal como se muestra a continuación:

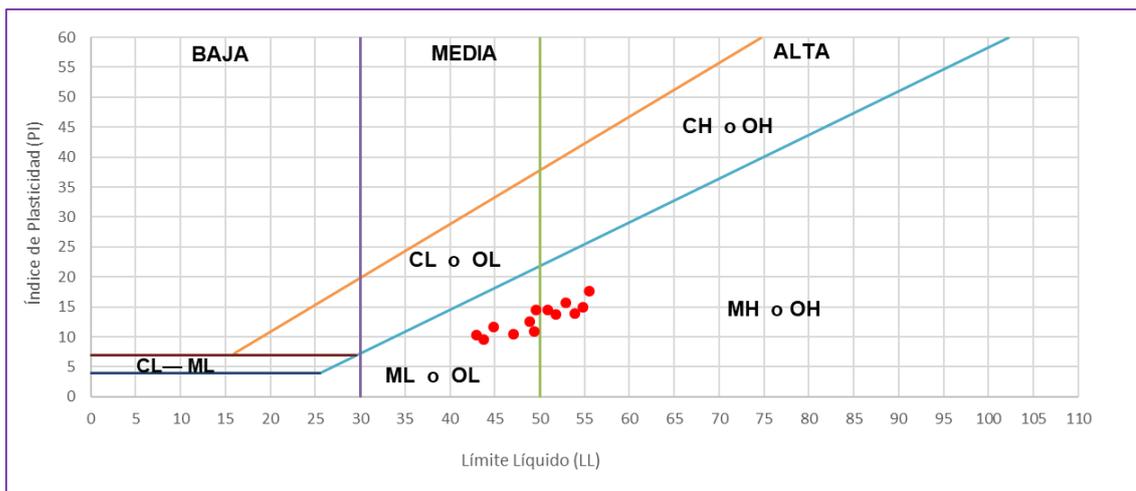


Figura 4-1 Resultados de la clasificación de suelo orgánico

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De acuerdo al gráfico de plasticidades, tal como lo expreso A. Casagrande, los suelos se pueden clasificar de la siguiente manera:

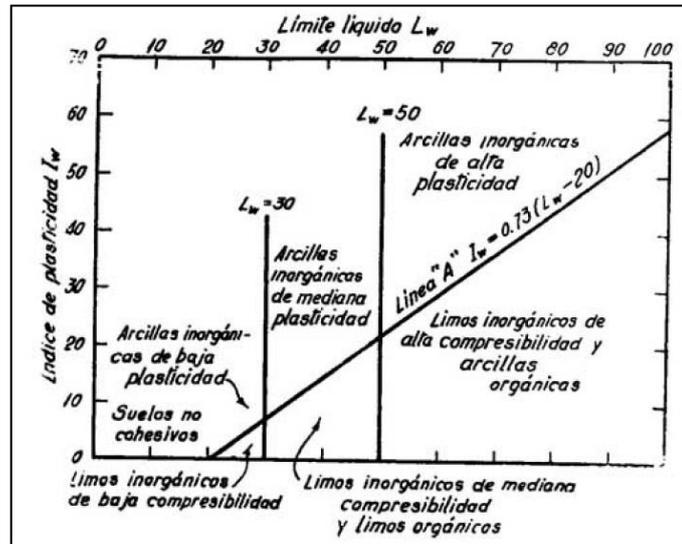


Figura 4-2 Grafico de plasticidades

Fuente: (Terzaghi & B. Peck, 1978)

De acuerdo al grafico anterior, de los resultados obtenidos en la presente investigación, podemos definir dos tipos de suelos orgánicos: arcilla orgánica y limo orgánico de acuerdo al criterio descrito por Braja M. Das:

$$\text{Orgánico; } \frac{LL - \text{seco en horno}}{LL - \text{sin secar}} < 0.75$$

El procedimiento de cálculo para determinar un suelo orgánico es el siguiente:

- Muestra A (arcilla orgánica)

El criterio para saber si un suelo orgánico según el SUCS es:

$$\frac{LL - \text{seco en horno}}{LL - \text{sin secar}} < 0.75$$

$$\frac{0.5180 - 193.50}{0.5180 - 808.00} = 0.24 < 0.75$$

- Muestra G (limo orgánico)

El criterio para saber si un suelo orgánico según el SUCS es:

$$\frac{LL - \text{seco en horno}}{LL - \text{sin secar}} < 0.75$$



$$\frac{0.4492 - 271.27}{0.4492 - 952.00} = 0.28 < 0.75$$

De acuerdo a la formula anterior, podemos definir nuestro tipo de suelo orgánico, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4-5 Obtencion del tipo de suelo organico

MUESTRA	LL	LP	IP	PESO SIN SECAR	PESO SECO EN HORNO	ORGANICO <0.75	SIMBOLO DEL SUELO	DENOMINACION
A	51.80%	38.07%	13.74%	808.00	193.5	0.24	OH	ARCILLA ORGÁNICA
B	52.88%	37.15%	15.73%	620.70	176.14	0.28	OH	ARCILLA ORGÁNICA
C	50.88%	36.35%	14.53%	688.35	231.94	0.34	OH	ARCILLA ORGÁNICA
D	47.12%	36.70%	10.41%	518.62	194.64	0.37	OL	LIMO ORGÁNICO
E	54.81%	39.87%	14.94%	590.41	223.59	0.38	OH	ARCILLA ORGÁNICA
F	43.78%	34.22%	9.56%	970.00	314.00	0.32	OL	LIMO ORGÁNICO
G	44.92%	33.22%	11.70%	952.00	271.27	0.28	OL	LIMO ORGÁNICO
H	55.55%	37.94%	17.61%	428.77	205.98	0.48	OH	ARCILLA ORGÁNICA
I	53.93%	40.08%	13.85%	801.07	238.78	0.3	OH	ARCILLA ORGÁNICA
J	49.57%	35.03%	14.54%	678.12	238.47	0.35	OL	LIMO ORGÁNICO
K	42.95%	32.72%	10.24%	710.52	344.17	0.48	OL	LIMO ORGÁNICO
L	49.39%	38.56%	10.84%	669.90	312.6	0.47	OL	LIMO ORGÁNICO
M	48.87%	36.35%	12.51%	669.90	312.6	0.47	OL	LIMO ORGÁNICO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.5 Consistencia del Suelo Orgánico

Es típico definir el tipo de suelo orgánico de acuerdo a la consistencia, en este caso de la arcilla orgánica, que queda definido como:

Tabla 4-6 Consistencia de las arcillas saturadas en función de la resistencia a la compresión simple

Consistencia	Resistencia a la compresión simple qu en kg/cm2
Muy blanda	menos de 0.25
Blanda	0.25-0.50
Medianamente compacta	0.50-1.00
Compacta	1.00-2.00
Muy compacta	2.00-4.00
Dura	mayor de 4.00

Fuente: (Terzaghi & B. Peck, 1978)

El procedimiento de cálculo para determinar la consistencia de un suelo es el siguiente:

- Muestra A (arcilla orgánica)

La cohesión para una condición no consolidada – no drenada es el siguiente:

$$C_U = \frac{q_U}{2}$$
$$C_U = \frac{0.34}{2} = 0.17 \text{ kg/cm}^2$$

Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos, fueron los siguientes:

Tabla 4-7 Resultados de la consistencia de arcilla organica

MUESTRA	qu (kg/cm2)	Cohesión (kg/cm2)	Tipo de suelo	Consistencia
A	0.34	0.17	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA
B	0.28	0.14	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA
C	0.29	0.14	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA
E	0.26	0.13	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA
H	0.27	0.14	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA
I	0.27	0.13	ARCILLA ORGÁNICA	BLANDA

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.6 Compresibilidad del Suelo Orgánico

La compresibilidad depende también del tipo de suelo, tal como se describe:

Tabla 4-8 Compresibilidad de un suelo

Cc	Compresibilidad
0.00 a 0.19	Baja
0.20 a 0.39	Media
0.40 a mas	Alta

Fuente: (Serquen, 2016)

El procedimiento de cálculo para determinar la compresibilidad de un suelo es el siguiente:

- Muestra A (arcilla orgánica)

La compresibilidad se expresa como:

$$C_C = 0.009 * (LL - 10\%)$$
$$C_C = 0.009 * (51.80\% - 10\%)$$
$$= 0.38, \text{ por lo que tiene una compresibilidad media}$$

- Muestra G (limo orgánico)

La compresibilidad se expresa como:

$$C_C = 0.009 * (LL - 10\%)$$

$$C_c = 0.009 * (44.92\% - 10\%)$$
$$= 0.31, \text{ por lo que tiene una compresibilidad media}$$

Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos, fueron los siguientes:

Tabla 4-9 Resultados de compresibilidad de suelos orgánicos

MUESTRA	LL	Cc	Tipo de suelo	Compresibilidad
A	51.80%	0.38	ARCILLA ORGÁNICA	MEDIA
B	52.88%	0.39	ARCILLA ORGÁNICA	MEDIA
C	50.88%	0.37	ARCILLA ORGÁNICA	MEDIA
D	47.12%	0.33	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
E	54.81%	0.4	ARCILLA ORGÁNICA	ALTA
F	43.78%	0.3	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
G	44.92%	0.31	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
H	55.55%	0.41	ARCILLA ORGÁNICA	ALTA
I	53.93%	0.4	ARCILLA ORGÁNICA	ALTA
J	49.57%	0.36	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
K	42.95%	0.3	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
L	49.39%	0.35	LIMO ORGÁNICO	MEDIA
M	48.87%	0.35	LIMO ORGÁNICO	MEDIA

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.7 Determinación del Factor de Esponjamiento

Se ha podido distinguir dos tipos de suelos orgánicos: arcilla orgánica y limo orgánico, el cual tendrá cada uno su factor de esponjamiento por sus propiedades diferentes de cada suelo orgánico.

El procedimiento de cálculo para la determinación del factor de esponjamiento fue el siguiente:

Se determinó preliminarmente la densidad saturada:

- Muestra A (arcilla orgánica)

$$\rho_{sat} = \frac{(e + G_s) * \rho_w}{(1 + e)}$$

Como $\rho_w = 1 \text{ g/cm}^3$

$$\rho_{sat} = \frac{(1.37 + 2.59) * 1.00}{(1 + 1.37)} = 1.67 \text{ g/cm}^3$$

Luego determinamos el peso específico suelto:

$$\gamma_{SUELTO} = \frac{W_{SUELTO}}{V}$$



El peso específico seco suelto:

$$\gamma_{d \text{ SUELTO}} = \frac{W_{s \text{ SUELTO}}}{V}$$

El peso específico seco se expresa en términos de su peso específico húmedo y contenido de humedad como:

$$\gamma_{d \text{ SUELTO}} = \frac{\gamma_{\text{SUELTO}}}{1 + \frac{W}{100}}$$

Peso de la muestra seca:

$$W_{\text{muestra seca}} = W_{\text{molde+muestra seca}} - W_{\text{molde}}$$

$$W_{\text{muestra seca}} = 10595 - 7616 = 2979 \text{ gramos}$$

Determinamos el peso unitario seco:

$$\gamma_{\text{SUELTO}} = \frac{2979}{2924.84} = 1.02 \text{ g/cm}^3$$

De las 3 muestras, se debe sacar el promedio, no pudiendo variar en más del 2% los resultados:

$$\gamma_{\text{SUELTO PROM.}} = \frac{1.02 + 1.02 + 1.03}{3} = 1.02 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{suelto saturado}} = \frac{\gamma_{\text{suelto}}}{1 + w} = \frac{1.02}{1 + 0.5256} = 1.56 \text{ g/cm}^3$$

El factor de esponjamiento es el siguiente:

$$FE = \frac{1.67}{1.56} = 1.07$$

En la arcilla orgánica, se pudieron determinar 6 suelos orgánicos, los cuales se obtuvieron los factores de esponjamiento como se muestra a continuación:

Tabla 4-10 Resultados de los factores de esponjamiento en arcilla orgánica

MUESTRA	TIPO DE SUELO	HUMEDAD	G _s	REL. DE VACÍOS	PES SECO	DENS. MASA	DENS. SATURADA	PES SATURADO	FE
A	ARCILLA ORGÁNICA	52.56	2.59	1.37	1.02	1.668	1.67	1.56	1.07
B	ARCILLA ORGÁNICA	55.08	2.63	1.47	1.02	1.65	1.66	1.57	1.05
C	ARCILLA ORGÁNICA	56.75	2.64	1.51	1.01	1.65	1.653	1.58	1.05
E	ARCILLA ORGÁNICA	57.95	2.62	1.53	0.99	1.64	1.64	1.56	1.05
H	ARCILLA ORGÁNICA	59.09	2.61	1.54	1	1.63	1.633	1.6	1.02
I	ARCILLA ORGÁNICA	56.09	2.62	1.5	1.02	1.63	1.647	1.59	1.04

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En el limo orgánico, se pudieron determinar 7 suelos orgánicos, los cuales se obtuvieron los factores de esponjamiento como se muestra a continuación:

Tabla 4-11 Resultados de los factores de esponjamiento en limo orgánico

MUESTRA	TIPO DE SUELO	HUMEDAD	G _s	REL. DE VACÍOS	PES SECO	DENS. MASA	DENS. SATURADA	PES SATURADO	FE
D	LIMO ORGÁNICO	59.24	2.51	1.49	0.9	1.6	1.606	1.44	1.12
F	LIMO ORGÁNICO	63.65	2.53	1.65	0.89	1.56	1.577	1.45	1.09
G	LIMO ORGÁNICO	59.84	2.54	1.53	0.9	1.6	1.608	1.44	1.11
J	LIMO ORGÁNICO	61.61	2.54	1.57	0.9	1.6	1.598	1.46	1.1
K	LIMO ORGÁNICO	60.17	2.51	1.51	0.9	1.6	1.6	1.44	1.11
L	LIMO ORGÁNICO	61.73	2.51	1.57	0.9	1.58	1.586	1.46	1.09
M	LIMO ORGÁNICO	59.89	2.52	1.52	0.9	1.6	1.603	1.44	1.12

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

De ambos tipos de suelos orgánicos encontrados en la presente tesis y teniendo en consideración el contenido de humedad de cada suelo, se determina el factor de esponjamiento, según el promedio ponderado:

Tabla 4-12 Determinación del factor de esponjamiento

MUESTRA	TIPO DE SUELO	F.E.	HUMEDAD	HUMEDAD (%)	F.E. x HUMEDAD (%)
A	ARCILLA ORGÁNICA	1.07	52.56	0.5256	0.56
B	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	55.08	0.5508	0.58
C	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	56.75	0.5675	0.59
E	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	59.24	0.5924	0.62
H	ARCILLA ORGÁNICA	1.02	57.95	0.5795	0.59
I	ARCILLA ORGÁNICA	1.04	63.65	0.6365	0.66
D	LIMO ORGÁNICO	1.12	59.84	0.5984	0.67
F	LIMO ORGÁNICO	1.09	59.09	0.5909	0.64
G	LIMO ORGÁNICO	1.11	56.09	0.5609	0.63
J	LIMO ORGÁNICO	1.10	61.61	0.6161	0.68
K	LIMO ORGÁNICO	1.11	60.17	0.6017	0.67
L	LIMO ORGÁNICO	1.09	61.73	0.6173	0.67
M	LIMO ORGÁNICO	1.12	59.89	0.5989	0.67

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

El promedio ponderado para determinar el factor de esponjamiento, se define de acuerdo a la siguiente formula:

$$PP = \frac{a_1 * b_1 + a_2 * b_2 + a_3 * b_3 + a_n * b_n}{b_1 + b_2 + b_3 + b_n}$$

Donde:

PP: Promedio ponderado

a1: Factor de esponjamiento

b1: Grado de Saturación del suelo

Para la arcilla orgánica:

$$PP = F.E. = \frac{3.60}{3.45} = 1.05$$

Para el limo orgánico:

$$PP = F.E. = \frac{4.64}{4.19} = 1.11$$

Del cuadro anterior, se observa que, determinándose un factor de esponjamiento para la arcilla orgánica es de 1.05 y para el limo orgánico es de 1.11

4.1.8 Incidencia del Factor de Esponjamiento en Costos de Excavación, Traslado y Descarga.

Una vez determinado el factor de esponjamiento para cada suelo orgánico, podemos realizar la comparación de costos de cada partida de movimiento de tierras de suelos dragados, tal como se muestra a continuación:

Como se obtuvo dos tipos de suelos orgánicos, con dos factores de esponjamiento, los metrados planteados se distribuyen de acuerdo al volumen con las progresivas de manera proporcional, tal como se muestra a continuación:

Tabla 4-13 Metrados de acuerdo al tipo de suelo

MUESTRA	TIPO DE SUELO	F.E.	VOLUMEN DE CORTE (m3)	REFINE (1%)	VOLUMEN TOTAL (m3)
A	ARCILLA ORGÁNICA	1.07	23,903.59	239.04	24,142.62
B	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	15,640.58	156.41	15,796.99
C	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	14,562.03	145.62	14,707.65
E	ARCILLA ORGÁNICA	1.05	14,244.75	142.45	14,387.19
H	ARCILLA ORGÁNICA	1.02	16,727.70	167.28	16,894.98
I	ARCILLA ORGÁNICA	1.04	20,843.82	208.44	21,052.25
D	LIMO ORGÁNICO	1.12	17,845.40	178.45	18,023.85
F	LIMO ORGÁNICO	1.09	19,057.95	190.58	19,248.53
G	LIMO ORGÁNICO	1.11	16,372.92	163.73	16,536.65
J	LIMO ORGÁNICO	1.10	16,133.16	161.33	16,294.49
K	LIMO ORGÁNICO	1.11	17,364.60	173.65	17,538.25
L	LIMO ORGÁNICO	1.09	5,648.67	76.67	5,725.34
M	LIMO ORGÁNICO	1.12	1,422.98	14.23	1,437.21
TOTAL			199,768.14	2,017.86	201,786.00

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior podemos definir el volumen para cada tipo de suelo orgánico, tal como se describe a continuación:

Tabla 4-14 Resumen de metrados para suelos orgánicos

TIPO DE SUELO	F.E.	VOLUMEN DE CORTE (m3)
ARCILLA ORGÁNICA	1.05	106,981.68
LIMO ORGÁNICO	1.11	94,804.32
TOTAL		201,786.00

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Para la arcilla orgánica, se evalúa el presupuesto de la siguiente manera:

Tabla 4-15 Presupuesto inicial con arcilla orgánica

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	F.E.	Metrado Final	Precio S/.	Parcial S/.
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						1,898,924.81
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	106,981.68	-	106,981.68	7.74	828,038.20
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	106,981.68	1.00	106,981.68	5.74	614,074.84
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	106,981.68	1.00	106,981.68	4.27	456,811.77

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez considerado el factor de esponjamiento de 1.05 para arcilla orgánica, el presupuesto se describe a continuación:

Tabla 4-16 Presupuesto considerando el factor de esponjamiento en arcilla orgánica

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	F.E.	Metrado Final	Precio S/.	Parcial S/.
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						1,952,469.11
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	106,981.68	-	106,981.68	7.74	828,038.20
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	106,981.68	1.05	112,330.76	5.74	644,778.56
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	106,981.68	1.05	112,330.76	4.27	479,652.35

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra la diferencia entre el presupuesto considerando el factor de esponjamiento en arcilla orgánica:

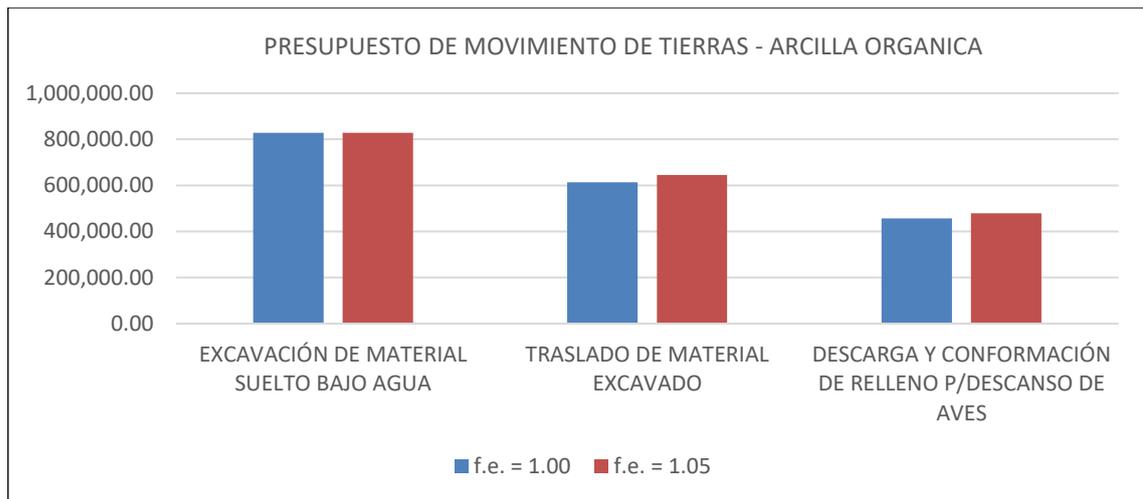


Figura 4-3 Comparación entre el presupuesto con arcilla orgánica

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Para el limo orgánico, se evalúa el presupuesto de la siguiente manera:

Tabla 4-17 Presupuesto inicial con limo orgánico

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	F.E.	Metrado Final	Precio S/.	Parcial S/.
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						1,682,776.69
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	94,804.3 2	-	94,804.32	7.74	733,785.44
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	94,804.3 2	1.00	94,804.32	5.74	544,176.80
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	94,804.3 2	1.00	94,804.32	4.27	404,814.45

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez considerado el factor de esponjamiento de 1.11 para limo orgánico, el presupuesto se describe a continuación:

Tabla 4-18 Presupuesto considerando el factor de esponjamiento en limo orgánico

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	F.E.	Metrado Final	Precio S/.	Parcial S/.
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS						1,787,165.66
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	94,804.3 2	-	94,804.32	7.74	733,785.44
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	94,804.3 2	1.11	105,232.79	5.74	604,036.21
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	94,804.3 2	1.11	105,232.79	4.27	449,344.01

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez obtenido los presupuestos de las partidas evaluadas, podemos determinar un presupuesto más aproximado de lo que nos costaría excavar, transportar y depositar un suelo dragado en el canal de navegación de los Uros:

Tabla 4-19 Presupuesto de movimiento de tierras considerando el suelo orgánico

Ítem	Descripción	Und.	Presupuesto inicial	Presupuesto final	Diferencia
01:00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.01	EXCAVACIÓN DE MATERIAL SUELTO BAJO AGUA	m3	1,561,823.64	1,561,823.64	0.00
01.02	TRASLADO DE MATERIAL EXCAVADO	m3	1,158,251.64	1,248,814.77	90,563.13
01.03	DESCARGA Y CONFORMACIÓN DE RELLENO P/DESCANSO DE AVES	m3	861,626.22	928,996.36	67,370.14
	COSTO DIRECTO		3,581,701.50	3,739,634.77	157,933.27
	PORCENTAJE		100.00%		4.41%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior, se puede concluir que, con un factor de esponjamiento de 1.00, valor que fue indica el Expediente Técnico Reformulado de la obra del dragado, el costo del movimiento de tierras para tales partidas fue de 3,581,701.50 soles. En cambio, si se hubiera hecho un estudio más específico sobre la determinación del factor de esponjamiento, tal como se realizó en la presente tesis, se hubiera obtenido un costo de 3,739,634.77. con una diferencia de 157,933.27 soles, que representa un 4.41% del costo directo del movimiento de tierras.

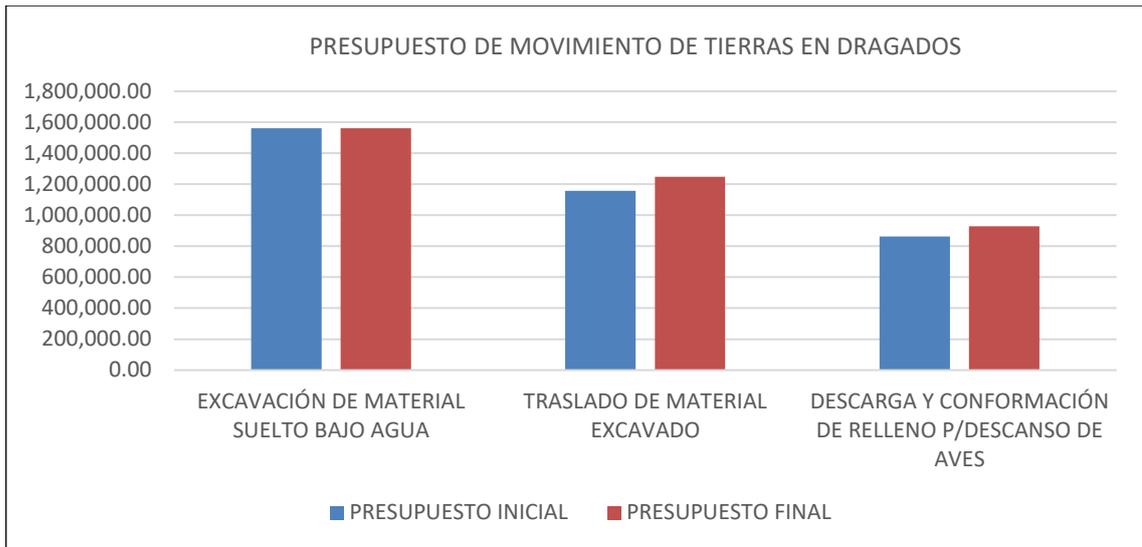


Figura 4-4 Comparación de costos entre factores de esponjamiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Además, se encontraron algunas similitudes en los resultados, se muestra el factor de esponjamiento en limos orgánicos, en función del grado de saturación del suelo:

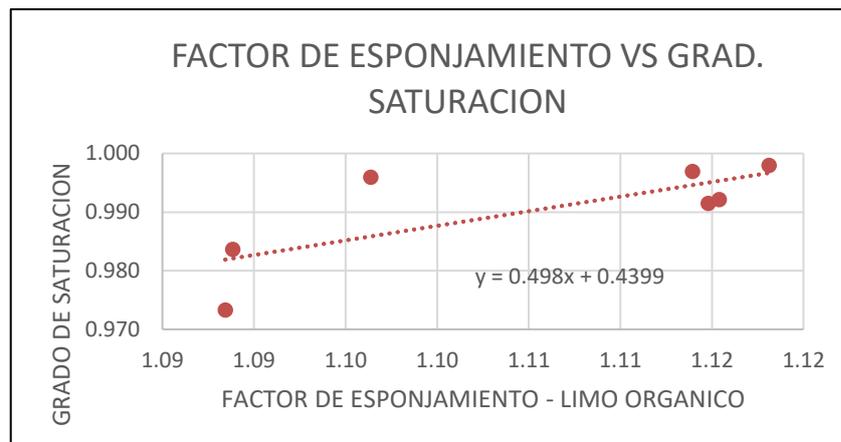


Figura 4-5 Comparación entre el factor de esponjamiento y el grado de saturación

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede observar también el grafico sobre el factor de esponjamiento vs contenido de humedad:

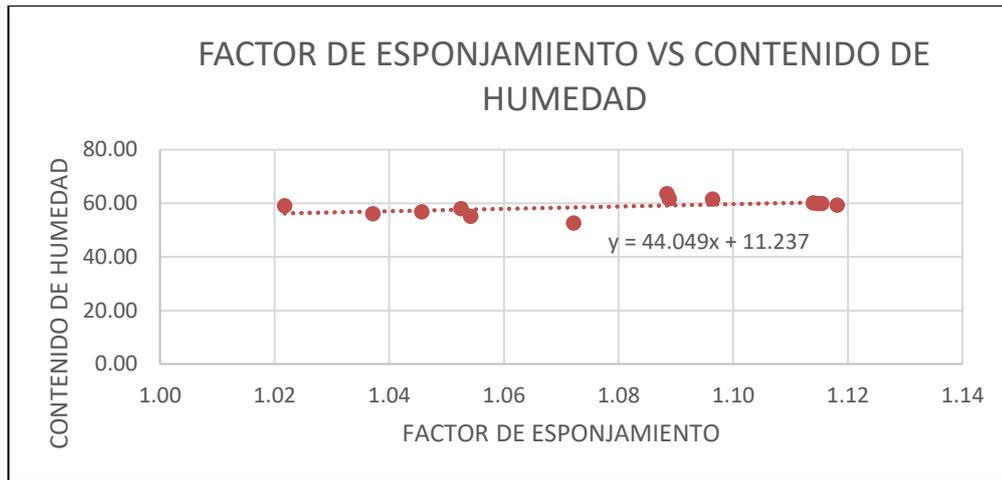


Figura 4-6 Comparación entre el factor de esponjamiento y el contenido de humedad

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Con respecto a la resistencia del suelo, la cohesión del suelo se puede representar mediante las siguientes graficas:

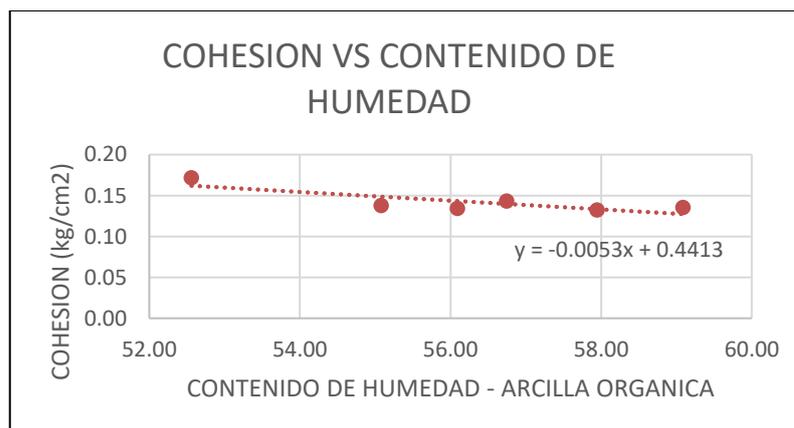


Figura 4-7 Comparación entre la cohesión y humedad en arcillas orgánicas

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se tiene a continuación un gráfico acerca de la tendencia existente entre:

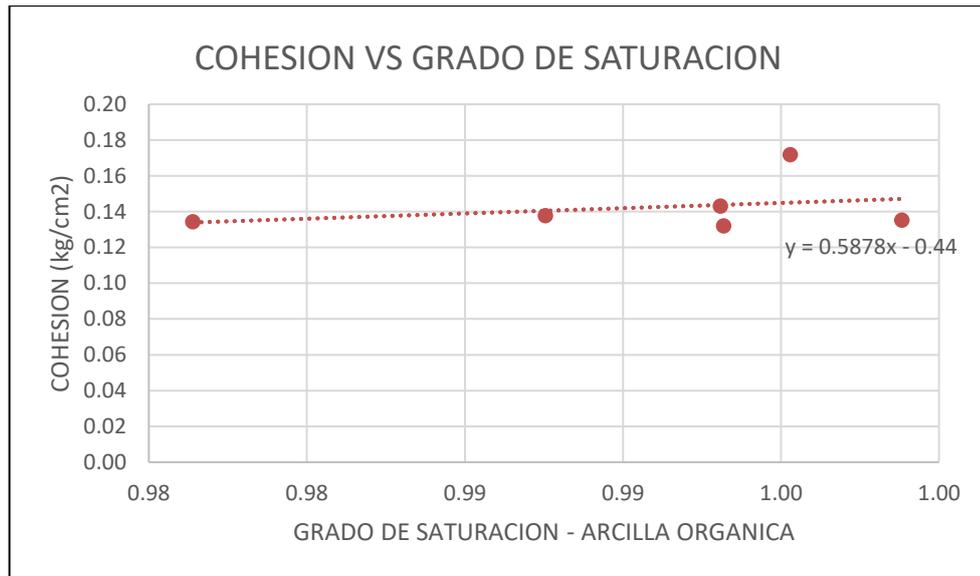


Figura 4-8 Comparación entre la cohesión y grado de saturación en arcillas orgánicas

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Tenemos la gráfica de la cohesión vs factor de esponjamiento:

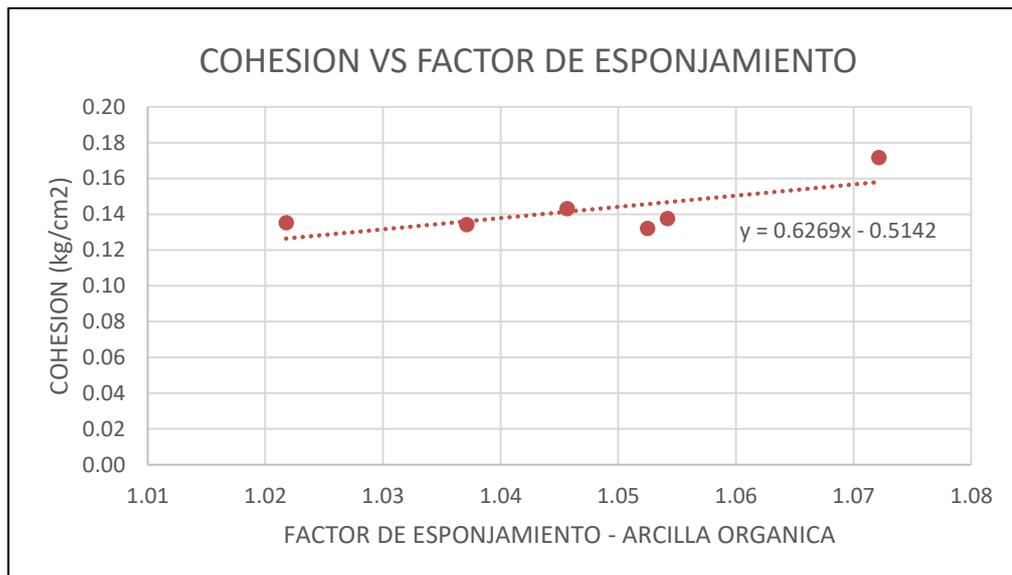


Figura 4-9 Comparación entre la cohesión y el factor de esponjamiento en arcillas orgánicas

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.9 Análisis Estadístico

Mediante el programa SPSS V25, se pudo identificar mediante la prueba de T DE STUDENT.

Hipótesis: existe una diferencia entre los factores de esponjamiento en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno - 2018

Hi: existe una diferencia de los factores de esponjamiento entre la arcilla orgánica y limo orgánico en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno – 2018

Ho: No existe una diferencia de los factores de esponjamiento entre la arcilla orgánica y limo orgánico en suelos dragados y este no incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno - 2018

El procedimiento fue el siguiente:

	muestra	suelo	FE
1	1,00	ARCILLA ORGANICA	1,07
2	2,00	ARCILLA ORGANICA	1,06
3	3,00	ARCILLA ORGANICA	1,05
4	4,00	ARCILLA ORGANICA	1,05
5	5,00	ARCILLA ORGANICA	1,02
6	6,00	ARCILLA ORGANICA	1,04
7	7,00	LIMO ORGANICO	1,12
8	8,00	LIMO ORGANICO	1,09
9	9,00	LIMO ORGANICO	1,11
10	10,00	LIMO ORGANICO	1,10
11	11,00	LIMO ORGANICO	1,11
12	12,00	LIMO ORGANICO	1,09
13	13,00	LIMO ORGANICO	1,12

Figura 4-10 Ingreso de datos en el programa SPSS para muestras independientes

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se procede con la investigación para analizar datos descriptivos:

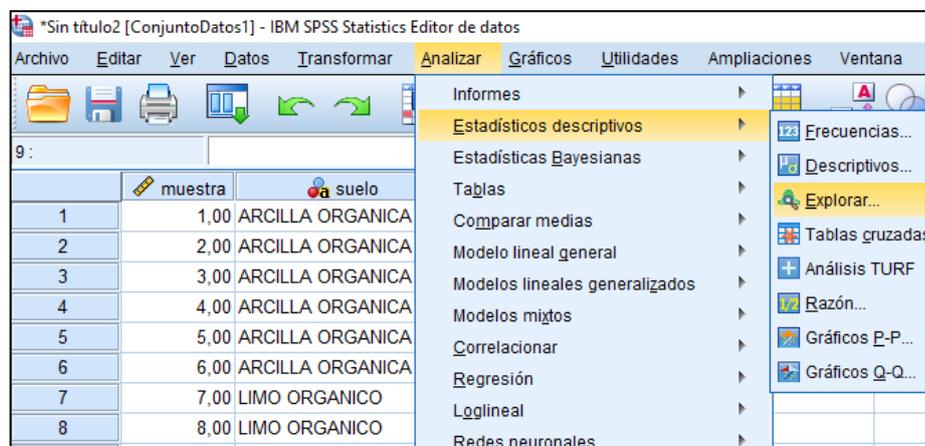


Figura 4-11 Procedimiento para el análisis de datos

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se ingresan los datos de manera separada como variables, tal como se muestra a continuación:



Figura 4-12 Procesamiento de variables para analizar

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra el procesamiento de datos:

Tabla 4-20 Resumen del procesamiento de casos

		Casos					
		Válido		Perdidos		Total	
		N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
FE	ARCILLA ORGÁNICA	6	100.0%	0	0.0%	6	100.0%
	LIMO ORGÁNICO	7	100.0%	0	0.0%	7	100.0%

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Luego se procede con el análisis del cumplimiento de la normalidad:

Tabla 4-21 Resultados estadísticos

Descriptivos					
suelo				Estadístico	Desv. Error
FE	ARCILLA ORGÁNICA	Media		1.0483	0.00703
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1.0303	
			Límite superior	1.0664	
		Media recortada al 5%		1.0487	
		Mediana		1.0500	
		Varianza		0.000	
		Desv. Desviación		0.01722	
		Mínimo		1.02	
		Máximo		1.07	
		Rango		0.05	
		Rango intercuartil		0.03	
		Asimetría		-0.678	0.845
		Curtosis		0.814	1.741
		LIMO ORGÁNICO	Media		1.1057
	95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1.0939	
			Límite superior	1.1175	
	Media recortada al 5%		1.1058		
	Mediana		1.1100		
	Varianza		0.000		
	Desv. Desviación		0.01272		
Mínimo			1.09		
Máximo			1.12		
Rango			0.03		
Rango intercuartil			0.03		
Asimetría			-0.222	0.794	
Curtosis			-1.715	1.587	

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra los resultados de la normalidad:

Tabla 4-22 Resultados de la prueba de normalidad

Pruebas de normalidad							
suelo		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FE	ARCILLA	0.205	6	,200*	0.961	6	0.830
	LIMO ORG	0.203	7	,200*	0.877	7	0.215

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior se puede verificar lo siguiente:

Tabla 4-23 Normalidad del factor de esponjamiento

NORMALIDAD - FACTOR DE ESPONJAMIENTO				
P-VALOR	ARCILLA ORGÁNICA	0.830	>	0.05
P-VALOR	LIMO ORGÁNICO	0.215	>	0.05

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se puede concluir con respecto a la variable factor de esponjamiento en ambos tipos de suelo se comporta normalmente, es decir, cumple esta condición.

Ahora para el procedimiento de la varianza, se describe a continuación:

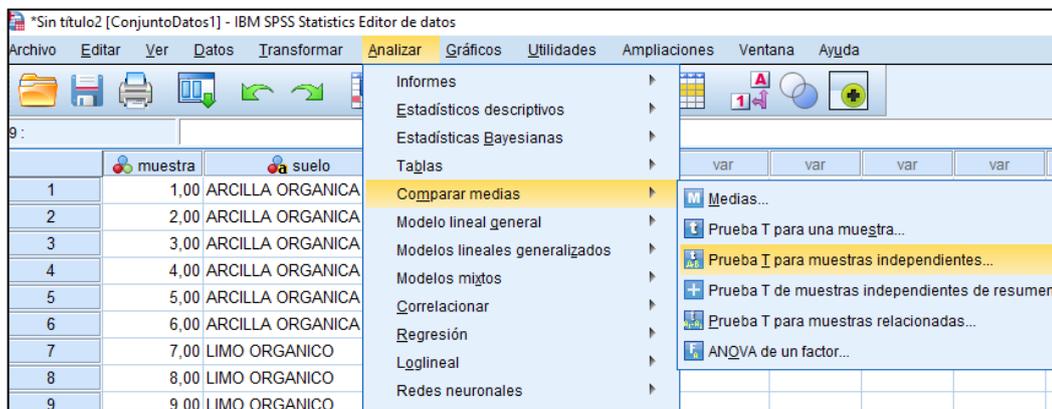


Figura 4-13 Procedimiento para el cumplimiento de la varianza

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Se sigue el procedimiento definiendo los tipos de muestras independientes:



Figura 4-14 Asignación de variables para la varianza

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Luego se definen los grupos: 1 = “ARCILLA ORGANICA” y 2 = “LIMO ORGANICO”, como se muestra a continuación:

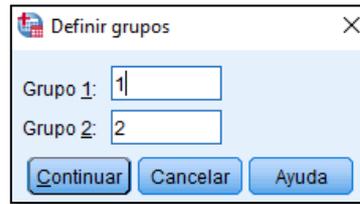


Figura 4-15 Definición de grupos para la varianza

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Luego se tiene que asignar el intervalo de confianza, de la siguiente manera:

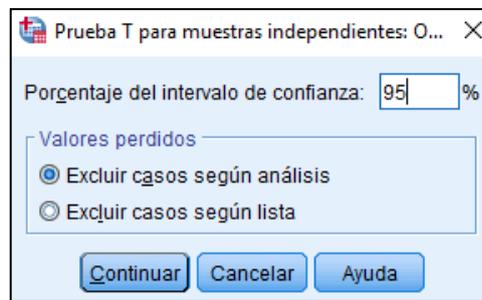


Figura 4-16 Asignación del intervalo de confianza

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, los resultados sobre la estadística de grupo:

Tabla 4-24 Estadística de grupo de suelos orgánicos

Estadísticas de grupo					
suelo		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
FE	ARCILLA ORGÁNICA	6	1.0483	0.01722	0.00703
	LIMO ORGÁNICO	7	1.1057	0.01272	0.00481

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior me dan las medias de los dos tipos de suelos orgánicos, siendo el factor de esponjamiento de la arcilla orgánica de 1.05 y para el limo orgánico de 1.11

Tabla 4-25 Resultados del T student para muestras independientes

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
FE	Se asumen varianzas iguales	0.120	0.736	-6.904	11	0.0000257	-0.05738	0.00831	-0.07567	-0.03909
	No se asumen varianzas iguales			-6.736	9.111	0.0000802	-0.05738	0.00852	-0.07662	-0.03815

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del cuadro anterior se verifica lo siguiente:

Tabla 4-26 Igualdad de varianza

IGUALDAD DE VARIANZA			
P-VALOR	0.736	>	0.05

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Por lo que cumple la condición de igualdad de varianzas entre los suelos orgánicos.

Finalmente, se evalúa lo siguiente:

Tabla 4-27 Aceptación de hipótesis alternativa

ACEPTACION DE HIPOTESIS			
P-VALOR	0.0000257	<	0.05

FUENTE: Elaborado por el equipo de trabajo

Del resultado anterior, se concluye que, entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0), se acepta la hipótesis alternativa H_1 : Existe una diferencia de los factores de esponjamiento entre la arcilla orgánica y limo orgánico en suelos dragados y este incide en costos de excavación, traslado y descarga, canal navegación uros, puno – 2018.



V. CONCLUSIONES

1. Las propiedades de los suelos dragados, en nuestro caso en el Canal de Navegación los Uros Tramo II, las propiedades que sirvieron para identificar estos suelos, empezando en la toma de muestras fueron distintivos para su identificación: el olor, color, textura, asimismo en el laboratorio sus propiedades como son: resistencia en estado seco, compresibilidad, consistencia, relación de vacíos, grado de saturación, esponjamiento, entre otros. Todos fueron determinantes para poder identificar cada tipo de suelo orgánico, los cuales de acuerdo a su composición se pudieron obtener dos tipos de suelos orgánicos, una arcilla orgánica y un limo orgánico.
2. El primer suelo orgánico obtenido, se pudo identificar claramente en la extracción de muestras por su color característico, que es de color negro, olor característico de suelo orgánico. En el laboratorio de suelos se pudo definir su alta resistencia en estado seco, se pudo identificar también por su consistencia, determinando una arcilla orgánica blanda, además presentó una compresibilidad entre media y alta, finalmente de acuerdo al gráfico de plasticidades, se pudo identificar una arcilla orgánica. El segundo suelo orgánico obtenido, se pudo identificar claramente en la extracción de muestras por su color característico, que es de color gris, olor característico de suelo orgánico. En el laboratorio de suelos se pudo definir su mediana resistencia en estado seco, presentó una compresibilidad entre media y alta, finalmente de acuerdo al gráfico de plasticidades propuesto por A. Casagrande, se pudo identificar un limo orgánico. Se ha podido concluir finalmente que, el factor de esponjamiento para arcilla orgánica es 1.05 y para limo orgánico es 1.11, este resultado, es un valor más aproximado que se puede usar en dragados donde hay suelos orgánicos a nivel del Canal de Navegación de los Uros que parte de la Isla de los Uros y se extiende a unos 4 kilómetros hacia la Isla de Taquile, donde el nivel freático está por encima de la superficie de terreno natural.
3. Se ha podido determinar que, los valores de los factores de esponjamiento obtenidos de la arcilla orgánica y del limo orgánico, influyen en los costos de movimiento de tierras, aumentando los costos en las partidas de traslado de material excavado y descarga en S/.157,933.27 soles, que representa un 4.41% al costo directo de movimiento de tierras en comparación al presupuesto del Expediente Técnico Reformulado. El factor de esponjamiento es la medida más importante en las partidas de movimiento de tierras en caso de dragados, puesto que una vez que se termine de dragar un canal, la erosión hace que, el material dragado nuevamente se acumule en el fondo de canal impidiendo que lanchas y botes de mayor capacidad no puedan transportarse libremente, lo que generaría nuevos dragados posteriormente, por tal razón, su evaluación es importante.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que, para conocer las propiedades de suelos dragados, se debería participar o visitar más obras sobre trabajos en dragados, esto para conocer mejor las propiedades del suelo donde se va a trabajar. Se debe tener cuidado al manejar las muestras de suelos orgánicos, puesto que estos desprender algunas veces un mal olor, por lo que podría dañar la salud del que lo pretende estudiar.
2. Se recomienda que, los factores de esponjamiento obtenidos en la presente tesis sirven para un determinado lugar, puesto que las condiciones del suelo varían según su topografía, altitud del nivel de lago, entre otros. Lo que significa que las condiciones del suelo son diferentes según su área de estudio.
3. Se recomienda por último que, el aumento de costos en movimiento de tierras en el Canal de Navegación de los Uros Tramo II, pueden servir para poder aplicar el factor de esponjamiento obtenido, puesto que, con el tiempo la erosión hará que, nuevamente se realice un dragado en el Canal de Navegación los Uros Tramo II en el futuro.



VII. REFERENCIAS

- Ahmed Hamad, K. (2011). *Metodología para obras de dragado y relleno hidraulico en cauces fluviales*. Quito: FIA.
- Andrade Lam, G. E., & Ramirez Alvarado, P. A. (2009). *Optimizacion del empleo de maquinarias para el movimiento de tierras de un proyecto vial mediante el uso de diagrama de masas*. Guayaquil: FICT.
- Blanco Rodriguez, M., & Matus Lazo, I. (S.F.). *Guias de Laboratorio Mecanica de Suelos I*. Lima: UNI.
- Botia Diaz, W. (2015). *Manual de Procedimientos de Ensayos de Suelos y Memoria de Calculo*. Bogota: UMNG.
- Carvajal, E. P. (1999). *Tópicos de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de ingenieros del Perú.
- Castillo, F. A. (1995). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos.
- Código-SNIP-142649. (2012). *Expediente Tecnico Modificado: Mejoramiento del Canal de Navegacion los Uros Tramo II*. Puno.
- Cruz Ramirez, A. P. (2011). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*. Recuperado el 15 de 04 de 2015, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
- E. Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingenieria Civil*. Bogota: Mc. Graw-Hill.
- Estrada Colin, O. (2011). *Conceptos generales, metodologia y sistemas de control para la supervision de obras de dragado maritimo en puertos*. Mexico: UNAM.
- Estrategias Marinas, C. I. (2015). *Directrices para la Caracterizacion del Material Dragado y su reubicacion en aguas del dominio publico maritimo-terrestre*. Madrid: MAAMA.
- GALLEGOS CARCAUSTO , M. (2006). “*COMPORTAMIENTO DEL ESTADO DE PERMEABILIDAD AL AGUA EN CONCRETOS CONVENCIONALES CON ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE*”. PUNO: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.
- Gonzalo, D. E. (2002). *Mecanica de los Suelos*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2006). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico: McGraw -Hill.
- Huaquisto Caceres, S. (S/F). *Guia de Laboratorio de Mecanica de Suelos*. Puno: UNA.
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2005). *Fundamentos de la Mecanica de Suelos*. Mexico: LIMUSA.
- M. Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*. California: Thomson Learning.
- Martinez Barron, J., & S. Mora, A. (2008). *Dragado en Puertos Maritimos*. Mexico: ESIA.
- MTC-E107. (2000). *Analisis granulometrico de suelos por tamizado*. Lima: ICG.
- MTC-E108. (2000). *Metodo de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un Suelo*. Lima: ICG.
- MTC-E113. (2000). *Gravedad especifica de los suelos (picnometro)*. Lima: ICG.
- MTC-E203. (2000). *Peso Unitario y Vacios de los Agregados*. Lima: ICG.



- Ortega Larrea, G. D., & Pacheco Tonato, O. M. (2014). *Guia para la eleccion de maquinaria pesada en la excavacion de zanjas para alcantarillado en suelos arcillosos*. Quito: PUCE.
- Pomalaza Bacilio, F. J. (2016). *Determinacion de los factores de volumen a traves del SUCS y AASHTO para generar una tabla de conversion volumetrica en movimiento de tierras, Huancayo*. Huancayo: UNCP.
- RIVERA L., G. A. (2013). *CONCRETO SIMPLE*. CAUCA: UNIVERSIDAD DEL CAUCA - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.
- Serquen, I. W. (2016). *INGENIERIA GEOTECNICA*. Lambayeque: Univ. Pedro Ruiz Gallo.
- Terzaghi, K., & B. Peck, R. (1978). *Mecanica de Suelos en la Ingenieria Practica*. Harvard: El Ateneo S.A.
- The American Concrete Institute. (2002). Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete. *ACI*, 24-26.
- Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología. (2005). *Método de análisis de datos*. Obtenido de Universidad de Córdoba: <https://www.uco.es/servicios/informatica/windows/filemgr/download/ecolog/Methodos%20analisis%20datos.pdf>
- Zapata Coacalla, T. (2009). *Ensayos de Laboratorio para Mecanica de Suelos*. Puno: UNA.



ANEXOS

- 1) Constancia de Uso de Equipos de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales – Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- 2) Nivel medio del Lago Titicaca – Boletín Diario de la Temperatura Superficial del Agua en el Lago Titicaca IMARPE
- 3) Plano de Ubicación de Botadero N° 01, Plano de Ubicación de Botadero N° 02 y Plano de Ubicación de Botadero N° 03.
- 4) Documentos de Movimiento de Tierras del Expediente Técnico Reformulado: Cota rasante de la profundidad del canal, Cuadro Resumen del Estudio Geotécnico, Especificaciones Técnicas, Planilla de metrados, Análisis de costos unitarios de Excavación, Traslado y Descarga, Presupuesto de obra.
- 5) MUESTRA A: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 6) MUESTRA B: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 7) MUESTRA C: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 8) MUESTRA D: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 9) MUESTRA E: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 10) MUESTRA F: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de



- sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
- 11) MUESTRA G: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 12) MUESTRA H: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 13) MUESTRA I: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 14) MUESTRA J: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 15) MUESTRA K: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 16) MUESTRA L: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.
 - 17) MUESTRA M: perfil estratigráfico, ensayo de contenido de humedad, ensayo de análisis granulométrico, ensayo de límites de consistencia, carta de plasticidad, ensayo de peso específico de masa, ensayo de gravedad específica relativa de sólidos, ensayo de compresión simple no confinada, ensayo de peso específico unitario suelto.