



Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa

EVALUACIÓN DEL SUELO PARA CIMENTACIÓN DE OBRAS CIVILES



Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio **Sancán del cantón Jipijapa**

Denny Augusto Cobos Lucio

Saury Fabricio Cañarte Valencia

Glider Nunilo PARRALES Cantos

Daniel David Carvajal Rivadeneira

Julio Johnny Regalado Jalca

Byron Patricio Baque Campozano

Lucy Elizabeth Solórzano Villegas

Autores Investigadores



Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa

AUTORES

INVESTIGADORES

Denny Augusto Cobos Lucio

Magíster en Construcción de Obras Viales;

Ingeniero Civil;

Profesor en la Universidad Estatal del Sur de Manabí;

Jipijapa; Ecuador

 <https://orcid.org/0000-0003-2094-9689>

Saury Fabricio Cañarte Valencia

Ingeniero Civil

Universidad Estatal del Sur de Manabí;

Jipijapa; Ecuador

 <https://orcid.org/0009-0008-5900-8652>

Glider Nunilo Parrales Cantos

Magíster en Administración Ambiental;

Ingeniero Civil;

Investigador acreditado SENESCY

Profesor titular de la Universidad Estatal del Sur de Manabí;

Jipijapa; Ecuador

 glider.parrales@unesum.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-2233-8825>

Daniel David Carvajal Rivadeneira

Magíster en Administración Pública;
Mención Desarrollo Institucional,
Ingeniero Civil

Doctorante del Doctorado en Dirección de
Proyectos en la Universidad de Investigación e Innovación de México;
Profesor de la Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Jipijapa; Ecuador

✉ daniel.carvajal@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-5288-5483>

Julio Johnny Regalado Jalca

Magíster en Educación Informática;
Ingeniero en Computación y Redes;

Actualmente profesor contratado de la carrera de;
Ingeniería Civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Jipijapa; Ecuador

✉ julio.regalado@unesum.edu.e

ID <https://orcid.org/0000-0003-1669-8522>

Byron Patricio Baque Campozano

Máster en Gerencia Educativa;
Ingeniero Civil;

Profesor titular Principal en la Carrera de Ingeniería Civil de la;
Universidad Estatal del sur de Manabí;
Jipijapa; Ecuador

ID <https://orcid.org/0000-0001-9701-2179>

Lucy Elizabeth Solórzano Villegas

Magíster en Construcción de Obras Viales;
Ingeniera;

Docente de la Facultad de Ciencias Técnicas en la;
Carrera de Ingeniería Civil de la;
Universidad Estatal del Sur de Manabí;
Jipijapa; Ecuador

✉ lucy.solorzano@unesum.edu.ec

ID <https://orcid.org/0000-0002-9903-5304>

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa

REVISORES

ACADÉMICOS

Gino Flor Chavez

Maestría en Ingeniería Vial;
Especialista en Obras Portuarias;
Ingeniero Civil;
Docente de la Universidad de Guayaquil;
Guayaquil, Ecuador;
✉ ginoflorch@ug.edu.ec;
ID <https://orcid.org/0000-0002-7838-8450>

Pedro Napoleón Chara Moreira

Magister en Tecnologías de Edificación;
Arquitecto;
Universidad de Guayaquil;
Guayaquil, Ecuador;
✉ pedro.cedenosa@ug.edu.ec;
ID <https://orcid.org/0000-0002-0696-7947>

CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Denny Augusto Cobos Lucio
Saury Fabricio Cañarte Valencia
Glider Nunilo Parrales Cantos

AUTORES: Daniel David Carvajal Rivadeneira
Julio Johnny Regalado Jalca
Byron Patricio Baque Campozano
Lucy Elizabeth Solórzano Villegas

Título: Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa

Descriptor: Ingeniería civil; Obras públicas; Servicio de utilidad pública; Organización y Gestión

Código UNESCO: 58 Pedagogía

Clasificación Decimal Dewey/Cutter: 3305.06 Ingeniería Civil

Área: Tecnología de la construcción

Edición: 1^{era}

ISBN: 978-9942-622-92-1

Editorial: Mawil Publicaciones de Ecuador, 2024

Ciudad, País: Quito, Ecuador

Formato: 148 x 210 mm.

Páginas: 133

DOI: <https://doi.org/10.26820/978-9942-622-92-1>

URL: <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/book/119>

Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico **Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada por el equipo profesional y editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.



Usted es libre de:
Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

Director Académico: PhD. Lenin Suasnabas Pacheco

Dirección Central MAWIL: Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador: Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

Dirección de corrección: Mg. Ayamara Galanton.

Editor de Arte y Diseño: Leslie Letizia Plua Proaño

Corrector de estilo: Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio **Sancán del cantón Jipijapa**

Índices

Contenidos



1.Generalidades -----	17
1.1. Introducción-----	17
1.2. Conceptos básicos-----	19
1.2.1 El Suelo -----	20
1.2.2 Composición del suelo -----	21
1.2.3 Fases del suelo-----	22
1.2.4 Densidad de los suelos -----	24
1.2.4.1 Densidad real-----	24
1.2.4.2 Densidad aparente-----	25
1.2.5 Ensayo de cono de arena-----	25
1.2.6 Densímetro nuclear -----	26
1.2.7 Gravedad especifica de los suelos -----	27
1.2.8 Rocas-----	28
1.2.8.1 Rocas ígneas -----	29
1.2.8.2 Rocas Sedimentarias -----	29
1.2.8.3 Rocas Metamórficas-----	29
1.2.9 Textura de los suelos-----	30
1.2.10 Color y consistencia del suelo -----	31
1.2.11 Porosidad del suelo-----	32
1.2.12 Coeficiente de hundimiento según Priklonski-----	32
1.2.13 Clasificación de los materiales.-----	33
1.2.13.1 Suelos seleccionados.-----	33
1.2.13.2 Suelos adecuados.-----	34
1.2.13.3 Suelos tolerables.-----	34
1.2.13.4 Suelos marginales.-----	35
1.2.13.5 Suelos inadecuados.-----	35
1.2.14 Fertilidad de los suelos -----	35
1.3 Estudio de Suelo-----	36
1.3.1 Etapas de estudios de suelos -----	37
1.3.2 Clasificación de Suelos-----	38
1.3.2.1 Sistema de clasificación AASHTO -----	40
1.3.2.1.1 Suelos Granulares -----	41
1.3.2.1.2 Suelos Finos -----	43
1.3.2.2 Sistema de clasificación ASTM -----	44
1.3.2.2.1 Determinación del límite plástico e índice de plasticidad -----	47
1.3.2.2.2 Determinación del límite líquido-----	48
1.3.2.2.3 Determinación del contenido de agua -----	50
1.3.3 Métodos permitidos para exploración en campo -----	52
1.4 Ensayo de penetración estándar (SPT)-----	52

1.4.1 Disposiciones específicas	55
1.4.2 Instrumental	55
1.4.3 Preparación previa al ensayo	55
1.4.4 Procedimiento del ensayo	56
1.4.5 Correcciones al N de campo	57
1.4.5.1 Factores de corrección para suelos granulares	58
1.4.5.2 Factores de corrección por energía	58
1.4.6 Factores de Corrección para suelos cohesivos	60
1.4.7 Numero de sondeos para evaluación preliminar	60
1.5 Capacidad de carga de suelos	62
1.6 Licuación del suelo	62
1.7 Ángulo de fricción interna	64
1.8 Estabilización de suelos	64
1.9 Obras civiles	65
1.9.1 Tipos de obras civiles	65
1.9.1.1 Obras horizontales	65
1.9.1.2 Obras verticales	66
1.10 Cimentaciones	68
1.10.1 Tipos de cimentación	69
1.10.1.1 Cimentaciones superficiales	69
1.10.1.2 Cimentaciones profundas	70
2. Evaluación de los suelos del sitio Sancán	71
2.1. Aspectos del sitio Sancán	71
2.2 Método de investigación	73
2.2.1 Método teórico	73
2.2.2 Método empírico	73
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	74
2.3.1 Técnica	74
2.3.2 Instrumento	75
2.3.3 Materiales	76
2.3.4 Levantamiento de la información	76
2.4 Resultados	81
2.4.1 Análisis de datos	81
2.4.2 Humedad Natural	82
2.4.3 Límite Líquido	85
2.4.4 Límite Plástico	88
2.4.5 Índice de plasticidad	91
2.4.6 Análisis granulométrico	92
2.4.6.1 Clasificación de suelos (Sistema ASTM)	93

2.4.6.2 Clasificación de suelo y suelo colapsable según Priklonski -----	95
2.4.6.3 Características generales del suelo según tipo de suelo-----	96
2.4.7 Gravedad Específica-----	98
2.4.7.1 Resumen de gravedad específica-----	99
2.4.8 Numero de golpes corregidos-----	100
2.4.9 Capacidad de carga de suelos -----	101
2.4.10 Licuefacción del suelo -----	103
2.4.10.1 Resumen de licuefacción de suelo -----	105
2.4.11 Ángulo de fricción interna-----	105
2.4.11.1 Resumen de grado de fricción interna-----	106
2.4.12 Clasificación de los materiales UNE -----	107
2.4.13 Relaciones Volumétricas -----	110
2.5 Descripción de resultados -----	114
2.5.2 Resumen de relaciones volumétricas-----	114
2.5.3 Perfiles Estratigráficos -----	115
3. BIBLIOGRAFÍA-----	117
4. ANEXOS -----	122

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio **Sancán del cantón Jipijapa**

Índices

Figuras



Figura 1. Capas de suelo -----	21
Figura 2. Composición del suelo-----	22
Figura 3. Suelo saturado -----	23
Figura 4. Suelo no saturado. -----	23
Figura 5. Suelo seco -----	24
Figura 6. El ciclo de las rocas -----	29
Figura 7. Tabla de Munsell -----	32
Figura 8. Evolución de la concepción de los suelos en la geomecánica-----	39
Figura 9. Clasificación de Suelos – Método AASHTO M-145-----	41
Figura 10. Tabla de clasificación de suelos - Método ASTM. -----	45
Figura 11. Gráfico de Plasticidad.-----	46
Figura 12. Dispositivo mecánico para el límite líquido-----	50
Figura 13. Ensayo de Penetración Estándar. -----	53
Figura 14. Libreta de campo -----	61
Figura 15. Criterio de susceptibilidad Bray & Sancio -----	63
Figura 16. Cargas sobre una cimentación superficial -----	68
Figura 17. Elementos estructurales más usuales -----	70
Figura 18. Esquema de cimentaciones profundas (pilotajes). -----	71
Figura 19. Implantación del sitio Sancán. -----	72
Figura 20. Ubicación de sondeos. -----	73
Figura 21. Perforación de suelo para extracción de muestra. -----	74
Figura 22. Recolección de muestra obtenida en cuchara. -----	75
Figura 23. Toma de datos de muestra.-----	76
Figura 24. Peso de muestra. -----	77
Figura 25. Recolección de datos. -----	77
Figura 26. Lavado de suelo mediante tamizado -----	80
Figura 27. Peso de muestra.-----	80
Figura 28. Ensayo de gravedad específica. -----	81
Figura 29. Límite líquido -----	85
Figura 30. Granulometría - Sondeo 1 Muestra 1-----	93
Figura 31. Carta de Plasticidad-----	94
Figura 32. Criterio de Susceptibilidad-----	103
Figura 33. Criterio de susceptibilidad S1-S2-S3.-----	104
Figura 34. Ensayo de casa grande. -----	113
Figura 35. Recolección de datos. -----	113
Figura 36. Perfil Estratigráfico – Tipo de Suelo ASTM-----	115
Figura 37. Perfil Estratigráfico - Clasificación de suelos UNE.-----	115
Figura 38. Perfil Estratigráfico – Capacidad de carga del suelo-----	116

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio **Sancán del cantón Jipijapa**

Índices

Tablas



Tabla 1. Densidad de sólidos en minerales -----	28
Tabla 2. Tamaño de los separados del suelo -----	30
Tabla 3. Cantidad mínima de muestra. -----	51
Tabla 4. Resistencia de los suelos cohesivos.-----	54
Tabla 5. Propiedades comunes de los suelos arcillosos, HUNT 1984.-----	55
Tabla 6. N1, Factor que corrige la energía entregada y la energía teórica de 475J. -----	59
Tabla 7. Corrección por longitud de las barras N2. -----	59
Tabla 8. Corrección por la toma de muestra N3. -----	59
Tabla 9. Corrección por el diámetro de penetración N4. -----	60
Tabla 10. Número mínimo de sondeos por superficie-----	60
Tabla 11. Tipos de cimientos directos. -----	69
Tabla 12. Resumen de sondeo 1. -----	78
Tabla 13. Resumen de Sondeo 2. -----	78
Tabla 14. Resumen de Sondeo 3. -----	79
Tabla 15. Ensayos realizados en laboratorio.-----	82
Tabla 16. Humedad Natural - Sondeo 1.-----	83
Tabla 17. Humedad Natural - Sondeo 2.-----	83
Tabla 18. Humedad Natural - Sondeo 3. -----	84
Tabla 19. Límite Líquido - Sondeo 1 -----	86
Tabla 20. Límite Líquido - Sondeo 2 -----	87
Tabla 21. Límite Líquido - Sondeo 3.-----	88
Tabla 22. Límite Plástico - Sondeo 1. -----	89
Tabla 24. Límite Plástico - Sondeo 3. -----	90
Tabla 25. Índice de Plasticidad - Sondeo 1. -----	91
Tabla 26. Índice de Plasticidad - Sondeo 2. -----	91
Tabla 27. Índice de Plasticidad - Sondeo 3. -----	91
Tabla 28. Granulometría - Muestra 1 - Sondeo 1. -----	92
Tabla 29. Características generales del suelo Sondeo 1 Muestra 1 -----	94
Tabla 30. Tipo de suelo según Priklonski. -----	94
Tabla 31. Clasificación del Suelo - Sondeo 1. -----	95
Tabla 32. Clasificación del Suelo - Sondeo 2. -----	96
Tabla 33. Clasificación del Suelo - Sondeo 3. -----	96
Tabla 34. Características Generales - Sondeo 1.-----	97
Tabla 35. Características Generales - Sondeo 2.-----	97
Tabla 36. Características Generales - Sondeo 3.-----	98
Tabla 37. Datos para obtención de gravedad específica	

Sondeo 1 - Muestra 1.-----	98
Tabla 38. Gravedad Específica - Sondeo 1.-----	99
Tabla 39. Gravedad Específica - Sondeo 2.-----	99
Tabla 40. Gravedad Específica - Sondeo 3.-----	99
Tabla 41. Número de golpes corregido - Sondeo 1.-----	100
Tabla 42. Número de golpes corregido - Sondeo 2.-----	100
Tabla 43. Número de golpes corregido - Sondeo 3-----	101
Tabla 44. Datos para capacidad de carga	
Sondeo 1 - Muestra 1.-----	101
Tabla 45. Capacidad de carga de Suelos - Sondeo 1.-----	102
Tabla 46. Capacidad de carga de suelos - Sondeo 2.-----	102
Tabla 47. Capacidad de carga de suelos - Sondeo 3.-----	103
Tabla 48. Datos de S1 - M1 (Licuefacción).-----	104
Tabla 49. Valores de criterio de susceptibilidad.-----	105
Tabla 50. Resumen de susceptibilidad a licuefacción.-----	105
Tabla 51. Tipo de suelo según ángulo de fricción interna.-----	106
Tabla 52. Grado de fricción interna - Sondeo 1.-----	106
Tabla 53. Grado de fricción interna - Sondeo 2.-----	107
Tabla 54. Grado de fricción interna - Sondeo 3.-----	107
Tabla 55. Clasificación de materiales - Sondeo 1 Muestra 1.-----	108
Tabla 56. Clasificación de materiales - Sondeo 1.-----	109
Tabla 57. Clasificación de materiales - Sondeo 2.-----	109
Tabla 58. Clasificación de materiales - Sondeo 3.-----	109
Tabla 59. Propiedades comunes de los suelos arcillosos (Hunt, 1984).-----	110
Tabla 60. Resumen de relaciones volumétricas.-----	112
Tabla 61. Resumen de Sondeo 1-----	114
Tabla 62. Resumen de Sondeo 2-----	114
Tabla 63. Resumen de Sondeo 3-----	115

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa

Prólogo



El estudio del suelo y su adecuada caracterización se ha convertido en un pilar fundamental en la ingeniería civil moderna, ya que de su análisis correcto depende la seguridad y estabilidad de las estructuras que erigen nuestras comunidades. En este contexto, la investigación que aquí se presenta aborda de manera detallada la importancia de llevar a cabo un estudio de suelos en el sector 3 del sitio Sancán, donde las variaciones climáticas y las características geológicas del terreno plantean desafíos únicos para la construcción de obras civiles.

La adecuada cimentación no solo garantiza la durabilidad de las construcciones, sino que, cuando se realiza con rigor, se traduce en beneficios concretos para la población. Este trabajo no solo busca identificar el tipo de suelo existente, sino también analizar su comportamiento y resistencia, a fin de implementar métodos y herramientas tecnológicas de estabilización que respondan a las necesidades y condiciones del entorno. En un Ecuador que atraviesa un proceso de modernización y cambio constante, es esencial desarrollar proyectos que promuevan un uso sostenible y responsable de nuestros recursos, particularmente el suelo, que enfrenta una creciente presión por el crecimiento demográfico y la explotación desmedida.

La historia de la ciencia del suelo, unida a la ingeniería geotécnica, sienta las bases para un enfoque interdisciplinario que busca no solo resolver problemas técnicos, sino también contribuir al desarrollo socioeconómico de las comunidades. En este sentido, el estudio del suelo en la comuna Sancán se presenta como una oportunidad valiosa para generar conocimiento y proporcionar directrices para futuros proyectos que beneficien a sus habitantes, garantizando una cimentación adecuada y un desarrollo estructural alineado con las normativas técnicas.

Invitamos al lector a sumergirse en los hallazgos de esta investigación, que no solo se limitan a la identificación del tipo de suelo, sino que también destacan la importancia de la educación y sensibilización sobre el uso adecuado del recurso suelo, asegurando así un porvenir sostenible y próspero para la comuna.

Los Autores.

1. Generalidades

El análisis de muestras para la obtención de la calidad del suelo es fundamental, ya que conociendo las propiedades y características del suelo, se cuenta con las bases para desarrollar un proyecto civil, es así que, en el sector 3 del sitio Sancán perteneciente al cantón Jipijapa, se observó una falta de conocimiento técnico sobre el suelo, por lo tanto, tomando en cuenta que la utilización del método teórico y el método empírico se realizó un estudio mediante el Ensayo de Penetración Estándar, en un total de 3 perforaciones en un área de 20,55 ha, ubicados de manera aleatoria a una profundidad de 6 metros, extrayendo 6 muestras por cada sondeo, para su posterior análisis en el laboratorio, siguiendo las normas NTE INEN 690, 691, 692, 696, para la obtención de humedad natural, límites de Atterberg, gravedad específica y para la clasificación se utilizó el sistema ASTM, posteriormente se realizaron cálculos para obtener la capacidad de carga, licuación del suelo, ángulo de fricción interna, su densidad húmeda y densidad seca. Teniendo como resultado un suelo marginal, no susceptible a licuación brindando a la comunidad un estudio que permitan realizar cimentaciones adecuadas evitando sobre gastos y futuros problemas de asentamientos, garantizando confiabilidad y durabilidad de la misma, favoreciendo también la investigación que lleva a cabo la carrera de Ingeniería civil de la Universidad Estatal del Sur de Manabí por medio de su proyecto “Diagnostico de infraestructura para fomentar el desarrollo productivo del sitio Sancán del cantón Jipijapa”.

1.1. Introducción

El suelo como elemento básico para cimentación debe ser analizado de forma correcta, en toda obra de ingeniería moderna es imprescindible la realización de un estudio de suelos, como rama de la ingeniería civil, el estudio de la mecánica del suelo se ocupa de la aplicación de leyes de mecánica e hidráulica a los distintos problemas del terreno, estudia el comportamiento y resistencia que ofrezca seguridad, estabilidad y durabilidad a las estructuras. Dicho estudio también permite conocer las propiedades físicas y mecánicas, su composición estratigráfica, logrando diseñar una cimentación técnicamente adecuada, considerando el factor económico.

En el sector 3 del sitio Sancán, se presenta un clima templado con variación de temperaturas, el trabajo tiene como propósito identificar el tipo de suelo que existe, determinando el uso adecuado de estabilizadores por medio de métodos y herramientas tecnológicas que se presentan en la actualidad, es así que, por condiciones de trazo y topografía, es necesario conocer su

tipo y clasificación para un adecuado asentamiento de obra civil. Buscando brindar un servicio en la construcción de obras civiles para alcanzar una mayor estabilidad en la estructura a beneficio de la comunidad en general, ya que teniendo una cimentación consolidada de obras civiles se garantiza una correcta ejecución del trabajo.

La actividad humana se orienta en torno a la producción, comercio, equipamiento comunal, recreacional y vivienda. Alemania, sobre las bases proporcionadas por la Geología implantó una escuela para estudiar, definir e inventariar los suelos. El estudio de la calidad del suelo es necesario para todo proyecto civil, agrícola, u otro. La historia de la evolución de la Ciencia del Suelo, encargada del estudio de la composición y naturaleza del mismo, en su relación con las plantas y el entorno que lo rodea, de acuerdo a su gran importancia y correspondencia con la Ingeniería Geotécnica complementa lo que se ha venido tratando, en busca de mayores conocimientos en cuanto a la cimentación de obras civiles.

Es muy notorio que en el Ecuador se viva una etapa de cambios y en este contexto, el país enfrenta nuevos retos, enrolados en el marco de la modernización y la globalización constante, para continuar con un desarrollo dinámico y sostenible para asumir transformaciones económicas, comerciales, institucionales, sociales y otras. Existe, además, un agresivo deterioro del recurso suelo, por su uso inadecuado, situación que se acentúa cada vez más. Su origen se debe al desconocimiento del tipo de suelos en el que se encuentran asentados y al crecimiento demográfico, que presiona la explotación intensiva de los recursos (suelo, agua, vegetación).

Es así que en la comuna Sancán, existe un ecosistema desconocido para el uso de suelo y no se toma en consideración las normas técnicas para una correcta construcción de obra civil, por tanto, es necesario un estudio ya que los suelos están sometidos a una fuerte erosión y de esta manera, los habitantes serán los beneficiados de manera que el estudio servirá como fuente de información para futuros proyectos en el sector.

El trabajo tiene como propósito identificar el tipo de suelo que existe, determinando que el suelo es tolerable si logra ser estabilizado por medio de métodos y herramientas tecnológicas que son muy utilizados en la actualidad o, esperando su estabilización a través del tiempo. Conocer la capacidad portante del suelo del sector 3, del sitio Sancán, contribuye al avance y desarrollo de la comuna por medio del proyecto de investigación "Diagnostico de infraestructura para fomentar el desarrollo productivo del sitio Sancán del cantón Jipijapa"

que mantiene vigente la carrera de ingeniería civil como aparte de vinculación con la comunidad.

1.2. Conceptos básicos

Es necesario el estudio de la calidad del suelo para tener una base clara acerca de la cimentación de obras civiles, puesto que en ocasiones se manejan de manera empírica, es decir, sin un conocimiento apropiado y realizado por una persona capacitada práctica y teóricamente en el tema.

En el Ecuador el estudio de la calidad del suelo se viene aplicando en grandes obras como también en trabajos constantes supervisados por un ingeniero civil, que garantizará mediante el mismo, beneficios, tanto en lo económico como en la durabilidad de la obra, no así, se da el caso de la mayoría de obras pequeñas que no cuentan con los estudios necesarios para su respectiva construcción, es decir, desconocen los aspectos técnicos que contribuyan o ayuden a que la obra tenga la fortaleza necesaria.

En Manabí siendo una provincia de la costa, nos encontramos con zonas altas y bajas, es decir, llanuras y extensiones que nos permiten tener diferentes clases de suelos, entre los sólidos del suelo (minerales y materia orgánica) se ubican los poros que son ocupados por agua y aire, de manera variable. En general los poros más grandes están llenos de aire, necesario para que respiren las raíces y pequeños animales que viven en el suelo. Los poros pequeños son los que almacenan agua, por lo tanto, se requiere de un análisis exhaustivo de la calidad del suelo, puesto que será la base para el conocimiento de que tan apta o no está ese terreno y así poderse diseñar una correcta cimentación.

El sitio Sancán, sector perteneciente al cantón jipijapa, provincia de Manabí, según la investigación realizada en este sector y en base a la conversación con los moradores del mismo se ha podido notar que el bajo conocimiento en el nivel educativo ha permitido que los habitantes se vuelvan introvertidos y no vean la importancia del conocimiento en diferentes áreas, por ende, el entender que si el joven se prepara podrá conocer y optar por una mejor calidad de vida, es así, que los niños ven más importante el trabajo del campo porque desde pequeños se acostumbran a obtener un recurso económico, no así, con la preparación educativa diaria que llevará a que salga un futuro profesional con conocimiento de causa en determinado tema, puesto que en este sector se construye sin el estudio previo y de manera rudimentaria, es decir que no toman en cuenta que en este sector debido a las propiedades físicas y mecánicas del suelo ocurren asentamientos que provocan la inestabilidad o falla de la estructura en una obra civil.

Debido al desconocimiento de la calidad de suelo en las diferentes obras civiles en este sector, se considera importante conocer las características físicas y mecánicas del suelo donde se piensa construir, es decir, las capas o estratos de diferentes características que componen el suelo, además del nivel de profundidad al que deben realizarse las fundiciones en la construcción.

El estudio de la calidad del suelo se origina antes de una determinada construcción puesto que, con dicho análisis, se considerará factible o no determinado proyecto ya que, con el mismo nos acercamos a realizar un trabajo eficaz. Al realizarlo para la cimentación de obras civiles se va conociendo cuales son las causas y efectos de un diseño defectuoso, que conlleva a deformaciones asentamientos, fallas en la cimentación y la estructura en general.

Al tomar en cuenta el análisis se puede llegar a entender en esta investigación que de la misma se fortalecen intereses personales, institucionales como lo es el proyecto "Diagnostico de infraestructura para fomentar el desarrollo productivo del sitio Sancán del cantón Jipijapa" y/o del sector en general, en este caso, la cimentación de estas obras civiles se da en su mayor parte para viviendas unifamiliares

1.2.1 El Suelo

El suelo es un recurso natural sujeto a diversas presiones que provocan su deterioro y afectan sus propiedades y funciones dentro de los ecosistemas. Las principales afectaciones están dadas por las prácticas de manejo y remoción de la vegetación natural, su exposición a sustancias contaminante y el cambio de uso de suelo. Aun cuando diversos estudios se han enfocado a la aplicación de indicadores que permitan conocer la calidad del suelo, no se tiene un método estandarizado para evaluarlo debido a que es un recurso dinámico y presenta variaciones considerables (Page-Dumroese et al., 2000).

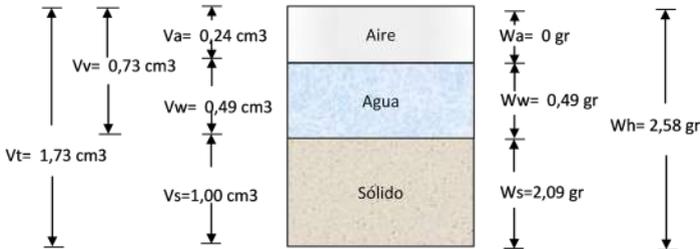
Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan, se extiende tanto en superficie como en profundidad; consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie. En el perfil de un suelo se puede observar en un corte de caminos o en una barranca (INIA Tacuarembó, 2015).

- A: capa superior, más oscura y fértil, con más raíces. Es la capa arable del suelo.

- B: capa más arcillosa, menos fértil y con menos raíces.
- C: capa más profunda. Prácticamente sin raíces (INIA Tacuarembó, 2015).

Figura 1.

Capas de suelo.



Nota. Adaptado de Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas, por INIA Tacuarembó, 2015.

1.2.2 Composición del suelo

El suelo tiene cuatro grupos de componentes:

- Materia mineral.
- Materia orgánica (en suelos orgánicos).
- Agua.
- Aire.

La materia mineral es el componente más abundante del suelo. Está formada por partículas que varían de tamaño desde pequeñas piedras hasta partículas de arcilla que no se pueden ver siquiera con un microscopio común. La materia mineral que forma el suelo se agrupa según su tamaño en fracciones:

- Grava: $>0,06 \text{ mm}$.
- Arena: de 2 a $0,05 \text{ mm}$.
- Limo: de $0,05$ a $0,002 \text{ mm}$.
- Arcilla: menor a $0,002 \text{ mm}$.

La materia orgánica (humus) se forma con la incorporación de restos animales y vegetales. Es muy importante para la fertilidad ya que, desde ella, los

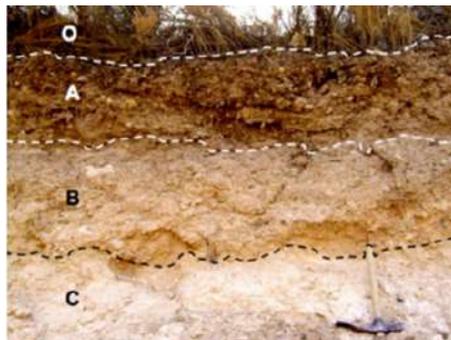
microorganismos que viven en el suelo, liberan nutrientes para las plantas. La materia orgánica le da al suelo su color oscuro característico (INIA Tacuarembó, 2015).

Entre los sólidos del suelo (minerales y materia orgánica) se ubican los poros que son ocupados por agua y aire, de manera variable. En general los poros más grandes están llenos de aire, necesario para que respiren las raíces y pequeños animales que viven en el suelo. Los poros pequeños son los que almacenan agua. El agua es importante pues tiene sustancias minerales necesarias para la nutrición de las plantas (INIA Tacuarembó, 2015).

Se concluye que, el suelo desde el punto de vista profesional, está compuesto principalmente por: materia sólida, materia líquida y materia gaseosa, a cada uno de estos componentes principales se denominan fase del suelo. El comportamiento del suelo depende de la cantidad relativa de cada una de estas tres fases, ya que estas interactúan entre sí. En la *figura 2* se muestra una fracción del suelo grande para que se puedan observar espacios vacíos entre partículas (Eddyhrbs, 2010).

Figura 2.

Composición del suelo.



1.2.3 Fases del suelo

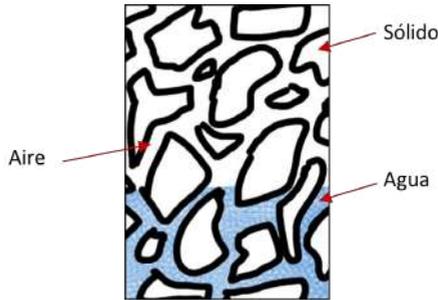
La fase sólida está compuesta de partículas diminutas derivadas de la roca o sedimento producto de la meteorización o incluso materia orgánica. La fase líquida, corresponde al agua que se ubica en los espacios vacíos entre partículas. La fase gaseosa corresponde al aire, los espacios vacíos los restantes que no ocupa el agua son ocupados por el aire. La fase líquida del suelo varía en su cantidad con respecto a las otras fases, lo que da lugar a dis-

tintos estados del suelo. De acuerdo a la variación de la fase líquida el suelo se puede clasificar en diferentes estados que son (Eddyhrbs, 2010):

- **Suelo saturado:** Este suelo contiene únicamente fase líquida y fase sólida, por ende, se llama saturado ya que todos sus espacios están llenos de agua.

Figura 3.

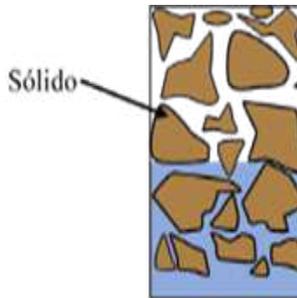
Suelo saturado.



- **Suelo no saturado:** Llamado también húmedo, este suelo posee una fase sólida, líquida y gaseosa simultáneamente.

Figura 4.

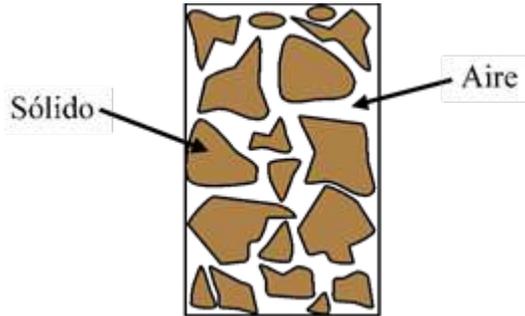
Suelo no saturado.



- **Suelo seco:** Este estado cuenta con fase sólida y fase gaseosa, es decir que no contiene agua.

Figura 5.

Suelo seco.



1.2.4 Densidad de los suelos

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. Son la densidad real que es aquella densidad media de las partículas sólidas y la densidad aparente al cual toma en cuenta el volumen de los poros.

1.2.4.1 Densidad real

También conocida como densidad de sólidos o densidad de las partículas, para su determinación se utiliza el picnómetro y líquidos no polares, se define como la masa de sólidos por unidad de volumen y viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \tag{1}$$

Donde:

M = Masa de sólidos.

V = Volumen de sólidos de un suelo.

1.2.4.2 *Densidad aparente*

La densidad aparente de un suelo seco expresa la relación entre la masa de sólidos y el volumen total de suelo, incluyendo los poros. Viene dada por la siguiente expresión:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{(V_s + V_a + V_w)} \quad (2)$$

Donde:

Ms = masa de sólidos.

Vt = volumen total que viene dado por el sumatorio del volumen de sólido (V_s), el volumen de aire (V_a) y el volumen de agua (V_w) que posee un suelo.

Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de diversos factores, como textura, contenido en materia orgánica o tipo de manejo del suelo.

En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable ya que está afectada por la estructura del suelo, y por sus características de retracción y expansión. Esto último depende tanto de su contenido en arcilla como de la humedad del suelo. Aún en suelos extremadamente compactados, la densidad aparente sigue siendo menor que la densidad real porque las partículas nunca llegan a entrelazarse perfectamente. El espacio poroso puede verse muy reducido por compactación, pero nunca llega a eliminarse totalmente. La densidad aparente se utiliza para referir los resultados de los análisis de laboratorio a un volumen de suelo en el campo (Ingaramo et al., 2007).

1.2.5 *Ensayo de cono de arena*

Es un ensayo que permite calcular in situ el valor de la densidad natural de los suelos, especialmente en suelos sin cohesión, arenas y gravas, los cuales representan un reto al usar otros métodos, ya que por lo general no se logran obtener muestras inalteradas en suelos con estas características (Geotecnia fácil, 2024).

Este ensayo de densidad in situ funciona para distintos suelos con diferentes tamaños de partículas dependiendo del tipo de cono a utilizar y los ensayos complementarios a disposición. Se recomienda para suelos cohesivos en condiciones no saturadas, ya que en suelos que se desmoronan fácilmente y/o el contenido de humedad es muy alto, el orificio excavado puede

presentar deformaciones y llegar a sufrir derrumbamientos parciales o totales (Geotecnia fácil, 2024).

Existe el cono convencional que consta de una válvula cilíndrica de 12,5 mm de abertura, que controla tanto el llenado como el vaciado de un cono de 6" de diámetro y con un ángulo de 60° y el macro cono es de 12" y su recipiente tiene una capacidad aproximada de 35 litros. Este equipo permite el control de capas de suelo con espesores mayores a 20 cm y de hasta 150 mm (6") (Geotecnia fácil, 2024).

Procedimiento:

- Se selecciona el lugar y se alisa la superficie del terreno, de ser necesario, para la posterior colocación del plato metálico con perforación central.
- Luego se excava a través de esta perforación un orificio con una profundidad similar a la capa de control.
- A continuación, se procede a colocar el cono, bien sea cono convencional o macro cono, de manera invertida sobre el agujero, se abre la válvula de este y se deja caer en caída libre la arena de densidad conocida (una arena estandarizada compuesta por partículas cuarzosas, sanas, no cementadas, de granulometría redondeada) hasta el agujero para determinar el volumen.
- La densidad húmeda del suelo se determina dividiendo la masa húmeda del material que fue removido entre el volumen del orificio. Luego utilizando la masa húmeda del suelo, el contenido de humedad y volumen del orificio, se puede calcular el volumen del agujero excavado, la masa seca del material extraído y las densidades húmedas y secas "in situ" del suelo ensayado (Geotecnia fácil, 2024).

1.2.6 Densímetro nuclear

El densímetro nuclear permite calcular la densidad *in-situ* de suelos o agregados de tres maneras por retro dispersión, por transmisión directa o por retro dispersión/proporción de vacíos de aire. Pero el método más utilizado es el de transmisión directa (ASTM International, 2023).

La densidad húmeda del suelo es obtenida a través de la disminución de la radiación gamma desde una fuente ubicada a no más de 300 mm hacia el detector que está ubicado en la superficie del suelo. Para calcular los valores de la densidad en masa por unidad de volumen, el equipo compara la velo-

cidad a la que viajaron los rayos gamma con datos previamente establecidos durante la calibración. Por otro lado, para obtener la densidad seca se sustrae la masa del agua por unidad de volumen de la densidad húmeda (ASTM International, 2023).

Para humedecer el material se calculó la masa de agua que necesitaba el suelo mediante la siguiente fórmula:

$$W_{\text{agua}} = \frac{W_m \times (h - h_{\text{nat}})}{100 + h_{\text{nat}}} \quad (3)$$

Donde:

W_{agua} = Masa del agua (kg).

W_m = Masa total del suelo húmedo (kg).

h = Humedad a la que se quiere llegar (%).

h_{nat} = Humedad a la que se encuentra el suelo (%).

$$W_m = \rho_m \times V \quad (4)$$

Donde:

W_m = Masa total del suelo húmedo (kg).

P_m = Densidad del suelo húmedo (kg/m^3) – Calculada con el densímetro nuclear.

V = Volumen del material (m^3) – Calculado en la caja (ASTM International, 2012).

1.2.7 Gravedad específica de los suelos

La gravedad específica de los sólidos de un suelo se utiliza para calcular las relaciones de fases de suelos tales como razón de vacíos y grado de saturación. La gravedad específica de los sólidos del suelo se utiliza para calcular la densidad de los sólidos del suelo (ASTM International, 2003).

Esto se calcula multiplicando su gravedad específica por la densidad del agua (en la temperatura apropiada). El término “sólidos del suelo” normalmente se utiliza para referirse a las partículas minerales de origen natural o suelos como partículas que no son fácilmente solubles en agua. Se debe aplicar un procedimiento especial para las partículas solubles o que reaccionen con el agua (ASTM International, 2003).

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{W_s}{V_s \gamma_0} \quad (5)$$

Donde:

G_s = Gravedad específica

W_s = Peso específico de los sólidos

$V_s \gamma_0$ = Peso específico del agua

Los valores típicos de la gravedad específica, están asociados a los valores de los minerales constituyentes de la fase sólida del suelo, son: Gravas 2,65 a 2,68; Arenas 2,65 a 2,68; Limos 2,66 a 2,70 y arcillas 2,68 a 2,80. En general los suelos presentan valores de G_s comprendidos entre 2,5 y 3,1 (valores adimensionales) (Duque Escobar & Escobar Potes, 2016).

Tal como se indica en la tabla 1, la haloisita tiene gravedad específica entre 2,0 – 2,55.

Tabla 1.

Densidad de sólidos en minerales.

Mineral	Gs	Mineral	Gs	Mineral	Gs
Cuarzo	2,65	Haloisita	2,0 – 2,55	Moscobita	2,75 – 3,1
Caolinita	2,6	Feld. Potásico	2,57	Hornblenda	3,0 – 3,47
Illita	2,8	Clorita	2,6 – 2,76	Limonita	3,6 - 4,0
Montmorillonita	2,65 – 2,80	Biotita	2,8 – 3,2	Olivino	3,27 – 3,37

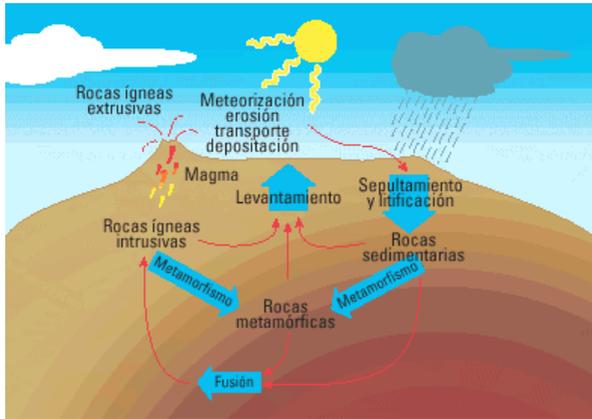
Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001 International Thomson Editores.

1.2.8 Rocas

Una roca se define como una asociación inorgánica de uno o varios minerales originados en forma natural por procesos geológicos endógenos o exógenos. Según su origen se clasifican en 3 tipos: las rocas ígneas, las rocas sedimentarias y las metamórficas. Las rocas ígneas se forman por el enfriamiento y la solidificación de material fundido, magma, proveniente del interior de la Tierra (Orozco-Centeno et al., 2014).

Figura 6.

El ciclo de las rocas.



Nota. Adaptado de Ígneo, por Energy Glossary, 2024, Energy Glossary (<https://glossary.slb.com/es/terms/i/igneous>).

1.2.8.1 Rocas ígneas

Según el proceso de formación se clasifican en rocas ígneas intrusivas o plutónicas y rocas ígneas efusivas o volcánicas: las rocas ígneas intrusivas o plutónicas, son aquellas que se forman en zonas profundas de la corteza, bajo presiones que no permiten el escape de gases, presentan cristales grandes y bien formados. Las rocas ígneas efusivas o volcánicas se forman a partir del magma que fluye hacia la superficie terrestre a través de zonas de debilidad o que fue expulsado desde un volcán (Orozco-Centeno et al., 2014).

1.2.8.2 Rocas Sedimentarias

Las rocas sedimentarias se pueden formar por la acumulación de sedimentos y partículas, que se forman por la meteorización de otras rocas, ya sean ígneas, metamórficas u otras sedimentarias, o por la acumulación de material de origen biológico, o por la precipitación de sustancias químicas o bioquímicas, o por la combinación de todas las anteriores (Orozco-Centeno et al., 2014).

1.2.8.3 Rocas Metamórficas

En cuanto a las rocas metamórficas, son aquellas que han sido sometidas a cambios de presión y temperatura, generalmente en profundidades relativamente grandes con respecto a la superficie, y que en estado sólido han tenido

cambios en la mineralogía y las estructuras como respuesta a los diferentes cambios físicos y químicos que conllevan los cambios de presión y temperatura (Orozco-Centeno et al., 2014).

Conocer qué tipo de roca hay en un lugar determinado y bajo qué procesos se formaron, es de gran importancia debido a que las rocas son como las cajas negras de los aviones, ya que guardan en su interior información sobre los procesos geológicos de nuestro planeta. A través del estudio de los minerales que las conforman podemos saber qué procesos han ocurrido en la tierra. Analizar las rocas, sus componentes, sus procesos de formación y todo lo relacionado con ellas, nos da una idea de cómo fueron estos procesos y qué procesos se podrían presentar en el futuro (Orozco-Centeno et al., 2014).

1.2.9 Textura de los suelos

La textura del suelo se refiere a las cantidades relativas de partículas de diverso tamaño que contiene el suelo. Es significativo en lazo con la estructura, como se verá más adelante, y porque muchas propiedades físicas y químicas de la parte material de los suelos dependen de la proporción de partículas de tamaño pequeño que contienen. Las partículas minerales de diámetro menor de 2 mm se clasifican, de acuerdo con su tamaño, en tres grupos o separados que se denominan arena, limo y arcilla (Suárez de Castro, 1956).

Casi ningún suelo está compuesto exclusivamente de uno solo de tales separados; lo normal es que exista una mezcla variable de ellos y con base en sus porcentajes relativos se diferencian en los diversos tipos de textura, los cuales se designan arenoso, areno-limoso, franco, franco-limoso, franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso y arcilloso, en orden ascendente con su contenido de partículas del menor tamaño (Suárez de Castro, 1956).

Tabla 2.

Tamaño de los separados del suelo.

Nombre del separado	Límites en diámetro de las partículas (mm)
Arena muy gruesa	2,0 – 1,0
Arena gruesa	1,0 – 0,5
Arena media	0,5 – 0,25
Arena fina	0,25 – 0,10
Arena muy fina	0,10 – 0,05
Limo	0,05 – 0,002
Arcilla	Menos de 0,002

Nota. Adaptado de Conservación de suelos, por Suárez de Castro, 1956, IICA Biblioteca.

La textura del suelo es una de las características más permanentes y depende de las características del material parental y, de los procesos de formación que sobre éste actúan. Por ejemplo, un suelo formado de la meteorización de calizas tiene un contenido mayor de arcilla que un suelo formado por arenisca. Los suelos formados por la meteorización de granito o basalto contienen generalmente más arcilla en la zona tropical que en la zona templada (Suárez de Castro, 1956).

1.2.10 *Color y consistencia del suelo*

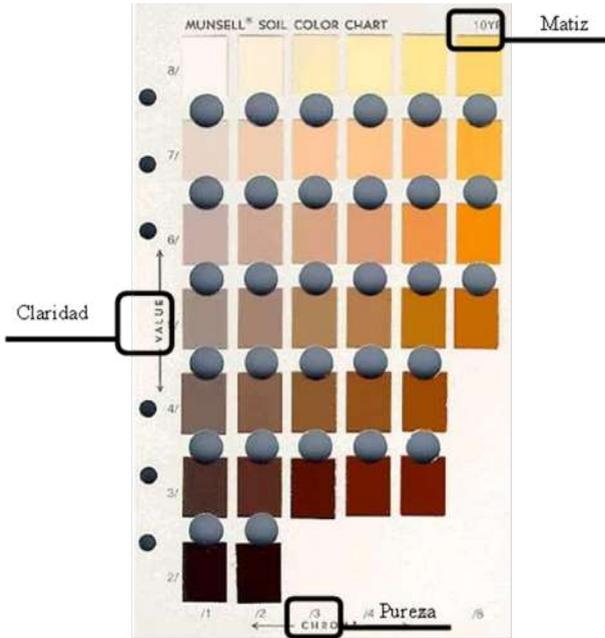
Es la característica más evidente de los suelos. El color del suelo viene dado por la existencia y proporción de compuestos orgánicos y minerales. La verdadera importancia radica en que el suelo tiene atributos que, de alguna forma, se relacionan con el color (Nieto, 2012).

- Grado de evolución del suelo.
- Contenido de humus y presencia de ciertos minerales.
- Clasificaciones de suelos.
- Potenciones de suelos.
- Potencialidad y productividad del suelo.

El color se puede determinar por medio de la vista con el uso de la tabla Munsell, teniendo en cuenta que la muestra debe ser secada al aire para poder determinar su color verdadero. El agua puede modificar volúmenes y absorción luminosa, por lo que se pueden oscurecer. También se puede determinar el color por medio del colorímetro, que es una herramienta netamente para obtener el color exacto en la medición de un suelo (Nieto, 2012).

Figura 7.

Tabla de Munsell.



Nota. Adaptado de La teoría del color Munsell para pintar el color de la piel, por, González, 2020, (<https://www.ttamayo.com/2020/01/munsell-el-color-de-la-piel/>).

1.2.11 Porosidad del suelo

La porosidad se refiere a la proporción de espacios o cavidades ocupados con aire y agua que existen en la masa del suelo. Su importancia reside en el hecho de que por estos espacios o poros circulan los gases y las soluciones a través del perfil. Con estas nociones generales es posible formarse una idea de la complejidad y variaciones del suelo, las cuales aprovecha el hombre para crear diferentes actividades, como hacer crecer diversas plantas que luego servirían como alimentación e hidratación (INIA Tacuarembó, 2015).

1.2.12 Coeficiente de hundimiento según Priklonski

Se utiliza para determinar si el suelo es colapsable o expansivo en función de los límites de consistencia.

$$K_D = \frac{\text{Contenido de humedad natural} - \text{Límite plástico}}{\text{Índice de plasticidad}} \quad (6)$$

$K_D < 0$ = Suelos altamente colapsables

$K_D < 0,5$ = Suelos poco colapsables

$K_D > 0,5$ = Suelos no colapsables

$K_D > 1$ = Suelos expansivos (Das & León, 2016).

1.2.13 Clasificación de los materiales.

Desde el punto de vista de sus características intrínsecas los materiales se clasificarán en los tipos siguientes (cualquier valor porcentual que se indique, salvo que se especifique lo contrario, se refiere a porcentaje en peso):

1.2.13.1 Suelos seleccionados.

Se considerarán como tales aquellos que cumplen las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento (MO < 0,2 %).
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento (SS < 0,2 %).
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100$ mm).
- Cernido por el tamiz 0,40 menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 \leq 15$ %) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
 - Cernido por el tamiz 2, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80$ %).
 - Cernido por el tamiz 0,40, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75$ %).
 - Cernido por el tamiz 0,080 inferior al veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25$ %).
- Límite líquido menor de treinta (LL < 30).

- Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$) (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

1.2.13.2 Suelos adecuados.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados cumplan las condiciones siguientes:

- Contenido en materia orgánica inferior al uno por ciento ($MO < 1 \%$).
- Contenido en sales solubles, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2 \%$).
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100 \text{ mm}$).
- Cernido por el tamiz 2, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80 \%$).
- Cernido por el tamiz 0,080 inferior al treinta y cinco por ciento ($\# 0,080 < 35 \%$).
- Límite líquido inferior a cuarenta ($LL < 40$).
- Si el límite líquido es superior a treinta ($LL > 30$) el índice de plasticidad será superior a cuatro ($IP > 4$) (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

1.2.13.3 Suelos tolerables.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados ni adecuados, cumplen las condiciones siguientes:

- Contenido en otras sales solubles distintas del yeso inferior al uno por ciento ($SS < 1 \%$), según NLT-114.
- Límite líquido inferior a sesenta y cinco ($LL < 65$).
- Si el límite líquido es superior a cuarenta ($LL > 40$) el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP > 0,73 (LL-20)$).
- Asiento en ensayo de colapso inferior al uno por ciento (1%), para muestra remoldeada según el ensayo Proctor normal, y presión de ensayo de dos décimas de megapascal (0,2 MPa).
- Hinchamiento libre inferior al tres por ciento (3 %), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013)

1.2.13.4 Suelos marginales.

Se considerarán como tales los que no pudiendo ser clasificados como suelos seleccionados, ni adecuados, ni tampoco como suelos tolerables, por el incumplimiento de alguna de las condiciones indicadas para éstos, cumplan las siguientes condiciones:

- Contenido en materia orgánica inferior al cinco por ciento ($MO < 5\%$).
- Hinchamiento libre inferior al cinco por ciento (5%), para muestra remoldeada según el ensayo Próctor normal.
- Si el límite líquido es superior a noventa ($LL > 90$) el índice de plasticidad será inferior al setenta y tres por ciento del valor que resulta de restar veinte al límite líquido ($IP < 0,73 (LL-20)$) (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

1.2.13.5 Suelos inadecuados.

Se considerarán suelos inadecuados:

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.
- Los que puedan resultar insalubres para las actividades que sobre los mismos se desarrollen en yeso inferior al cinco por ciento (yeso $< 5\%$), según NLT 115 (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

1.2.14 Fertilidad de los suelos

Cuando se habla de “fertilidad” de un suelo se aborda el recurso edáfico desde la perspectiva de la producción de cultivos. Así, la fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener la del crecimiento de los cultivos o ganado. Esta es una definición agronómica. La fertilidad de un suelo depende principalmente de su contenido en materia orgánica, de su textura y material parental. A mayor contenido de materia orgánica más fértil es el suelo, ya que es a partir de ella que los microorganismos que viven en el suelo liberan elementos nutritivos para las plantas. Por su parte cuanto más arcilloso es un suelo mayor fertilidad tiene, ya que posee más capacidad para retener nutrientes (INIA Tacuarembó, 2015).

Muchas veces se divide a la fertilidad en “química”, “física” y “biológica” para su abordaje particular, pero muchas veces resulta complicado separar-

las. La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a los cultivos (aquellos que de faltar determinan reducciones en el crecimiento y/o desarrollo del cultivo). En este sentido se evalúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo a través de análisis de suelos y/o plantas a través de un proceso de diagnóstico y posteriormente se definen estrategias de fertilización (INIA Tacuarembó, 2015).

La “fertilidad física” está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física de suelos. La “fertilidad biológica” se vincula con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos, en todas sus formas y tamaños (INIA Tacuarembó, 2015).

Los organismos del suelo son imprescindibles para sostener diversos procesos del suelo. Posiblemente sea el área de conocimiento edafológico menos desarrollado, pero con algunos avances interesantes en los últimos años en lo que se refiere a estudios enzimáticos y ecología microbiana de suelos. Si bien resulta muy sencillo clasificar la fertilidad de un suelo en diferentes clases, es evidente que en el suelo los procesos ocurren en forma multivariada y compleja (INIA Tacuarembó, 2015).

1.3 Estudio de Suelo

Los suelos han sido y serán por todos los tiempos la base fundamental para llevar a cabo sobre los mismos, obras de infraestructura que permitan proporcionar las condiciones óptimas para dar paso al desarrollo mundial. Con el objetivo de obtener un mejor aprovechamiento y conocimiento del mismo, se creó la necesidad de tratar los suelos desde un punto de vista científico, empezando por realizar estudios de manera sistemática y organizada (1913 Por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles 1) y años más tarde (1925-1929) gracias a los estudios realizados por el Ingeniero estadounidense Karl Von Terzaghi, se crea lo que hoy se conoce como la Mecánica de Suelos y quien la define como la “aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica” (Botía Díaz, 2015).

La mecánica de suelos se define como la ciencia que estudia y determina las propiedades físicas y mecánicas de una determinada masa de suelo, dando

así datos y herramientas al Ingeniero Civil para conocer y predecir el comportamiento de dicha masa de suelo. Propiedades importantes como la capacidad portante de los suelos, permeabilidad, los asentamientos, la presión de poros, resistencia a la compresión, ángulo de fricción y cohesión, son determinadas gracias a los estudios en laboratorio e In-situ a muestras tomadas y cuyos valores se convierten en el insumo de diseños ingenieriles que garantizan seguridad, durabilidad y estabilidad. La mecánica de suelos no desconoce el alto impacto que causa el agua sobre el terreno y los suelos, es por eso que estudia también el flujo del agua hacia su interior, hacia su exterior y dentro de la misma masa del terreno y permitiendo así conocer que tan factible resulta hacer uso del suelo en estudio en una construcción (Botía Díaz, 2015).

El suelo se puede definir como aquel material terroso, de naturaleza variable y cuyo tamaño de partículas se encuentra por debajo de 7,5 cm (3"). Se consideran suelos gruesos cuando más del 50% de las partículas de la muestra en estudio, son de tamaño mayor a 0,075 mm. Por el contrario, se consideran suelos finos cuando más del 50% de las partículas de la muestra en estudio, son de tamaño menor a 0,075 mm. Los suelos gruesos pueden ser gravas o arenas y los suelos finos pueden ser limos, arcillas o suelos altamente orgánicos (Botía Díaz, 2015).

1.3.1 Etapas de estudios de suelos

a. Trabajo de terreno

En esta primera fase el profesional inspecciona el lugar y toma las muestras del suelo, las mismas que luego serán analizadas en el laboratorio.

En esta etapa se emplea diversas técnicas como:

- **Calicata:** para hacer excavaciones de una profundidad pequeña o mediana en puntos elegidos del terreno. La idea es tener una visión directa del terreno que generalmente no se ve, para su caracterización y análisis.
- **Penetrómetro:** consiste en la penetración del suelo con la introducción de una herramienta en el terreno, la cual generalmente tiene forma cónica.
- **Sondeos:** con esta técnica se perfora el terreno con una sonda cilíndrica que va extrayendo la tierra atrapada dentro del cilindro. A medida que se saca las muestras, se va colocando por orden de profundidad en unas cajas, con el objetivo de determinar el tipo de suelo a distintas profundidades (Cárdenas, 2019).

b. Trabajo de laboratorio

Una vez que el profesional cuenta con las muestras, estas son llevadas al laboratorio para realizar los ensayos correspondientes. Estos pueden ser químicos, para detectar componentes químicos del suelo (como sulfatos y cloro y el grado de acidez) ya que estos van a condicionar las características de los hormigones a emplear en las cimentaciones. También se mide la capacidad resistente y la rigidez del material del suelo. Se trata del ensayo de compresión simple, el de corte directo y otros que indicarán cuáles son las propiedades mecánicas del suelo (Cárdenas, 2019).

c. Redacción de informe final

Concluidas las dos primeras etapas, se prepara un documento técnico final que será presentado al encargado de la construcción. Allí se detallará las observaciones del estudio de suelo, las características que se ha encontrado y si este es o no apto para realizar construcciones (Cárdenas, 2019).

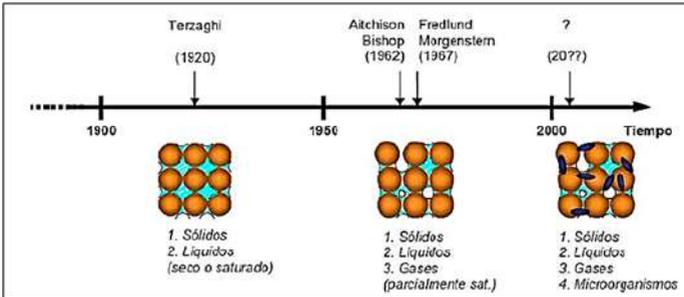
A través del estudio de suelos se puede conocer las características físicas y geológicas, se puede ver la secuencia litológica, las diferentes capas y su espesor, la profundidad del nivel del agua subterránea y hasta la capacidad de resistencia de un suelo o una roca. Con estos factores se puede asegurar una construcción segura y, por ende, de una ciudad segura (Cárdenas, 2019).

1.3.2 Clasificación de Suelos

El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como ser, aire o metano, etc.). El entendimiento actual del comportamiento de los suelos ha evolucionado a través del siglo XX, incluyendo esfuerzos efectivos (Terzaghi en los años '20), coloides y arcillas (Goy, Chapman en los '10, Lambe y Mitchell en los '50), dilatación en corte (Taylor 1948 y Estado Crítico con Roscoe, Schofield y Wroth en los '60), fase fluida mixta y suelos no saturados (Bishop, Aitchinson, Fredlund y Morgenstern en los '60) (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

Figura 8.

Evolución de la concepción de los suelos en la geomecánica.



Nota. Adaptado de Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación, por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016, Quito.

La granulometría de los suelos nos permite determinar la representación porcentual de los diferentes tamaños de las partículas que componen el suelo. La distribución granulométrica es la propiedad más importante de los suelos granulares. Si el suelo contiene finos, la muestra se trata primero con un agente defloculante, se lava y se seca, para luego tamizarla. Los resultados de los análisis mecánicos se presentan usualmente por una curva de distribución granulométrica. La forma de la curva es una indicación de la granulometría (Dirección de Ingeniería - Área de Construcción).

- Un suelo bien graduado es aquel que contiene proporciones casi iguales de todos los tamaños de las partículas, y se caracteriza por tener una curva relativamente suave que cubre un amplio espectro de partículas.
- Un suelo es uniforme, si una alta proporción de partículas está comprendida en una banda estrecha de tamaños.
- Un suelo de graduación discontinua, es aquel que contiene partículas pequeñas y grandes, pero presenta una ausencia notable de partículas intermedias (Dirección de Ingeniería - Área de Construcción).

Una indicación de la graduación puede expresarse a través de los coeficientes de uniformidad y de curvatura. En general, mientras mayor es el C_u , más amplio es el rango de tamaños de partículas en el suelo. Los suelos bien graduados tienen un $C_u > 4$ para gravas o $C_u > 6$ para arenas, mientras que C_c debe estar entre 1 y 3 (Dirección de Ingeniería - Área de Construcción).

1.3.2.1 Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de la AASHTO (AASHTO M 145-82) fue inicialmente desarrollado en los años 20. Se basa en características de estabilidad de los suelos empleados en la construcción de caminos. Se fundamenta en distribución granulométrica, límite líquido y límite plástico. Los tamices estándar #10, #40 y #200 (aberturas de 2 mm; 0,42 mm y 0,075mm respectivamente) son de vital importancia (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

En EEUU fue planteado por Terzaghi, basándose en la clasificación realizada previamente por Casagrande. Este método de clasificación considera siete grupos mayores de suelos numerados desde el grupo A-1 hasta el A-7. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. Los suelos que contienen más del 35% de partículas que pasan por el tamiz No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 formados mayoritariamente por limo y arcilla (Arízaga Mora, 2014).

Los materiales clasificados en el grupo A-1 son considerados como excelentes para ser usados en la subestructura de las vías, mientras que los clasificados en A-7 son los peores materiales (Arízaga Mora, 2014).

El sistema se basa en lo siguiente:

Tamaño de grano

Grava: Fracción que pasa el tamiz de 75mm y es retenida en el tamiz #10.

Arena: Fracción que pasa el tamiz #10 y es retenida en el tamiz 200.

Limo y Arcilla: Fracción que pasa el tamiz 200 (Arízaga Mora, 2014).

Plasticidad

Atterberg determinó que la plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. Es decir, un mismo suelo puede pasar de un estado sólido con plasticidad nula, hasta un estado líquido donde el suelo se encuentre en forma de suspensión. El comportamiento plástico del suelo se da entre estos dos extremos (Badillo & Rodríguez, 2005).

Se consideran suelos limosos, si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 10 o menor y se consideran suelos arcillosos si las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor. Si cantos rodados (mayores de 75mm) están presentes, se excluyen de la porción de muestra de

suelo que se esté clasificando. Los ensayos necesarios para clasificar un suelo dentro de un grupo, es el análisis granulométrico y los límites de Atterberg (Badillo & Rodríguez, 2005).

Si queremos determinar la posición relativa dentro del grupo es necesario obtener el índice de grupo (IG), que es un número entero comprendido entre 0 y 20 en función del porcentaje de suelo que pasa por el tamiz 200, este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o subgrupo, y viene dado por la siguiente expresión matemática (Arízaga Mora, 2014).

$$GI = (F - 35) \left[0,2 + 0,005(LL - 40) \right] + 0,01(F - 15)(IP - 10) \quad (7)$$

Se utiliza la siguiente tabla para la clasificación de suelos:

Figura 9.

Clasificación de Suelos – Método AASHTO M-145.

Clasificación General ⁽¹⁾	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla N° 200)							Materiales Limo-Arcillosos (pasan más del 35% la malla N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 ⁽²⁾
Clasificación por Grupos:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Análisis Granulométrico											
Porcentaje que pasa:											
Tamiz N° 10	50 máx										
N° 40	30 máx	50 máx	51 mín								
N° 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características de la fracción que pasa la malla N° 40											
Límite Líquido:			No plásico	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidad:	6 máx		Arena Fina	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuales de los materiales componentes importantes.	Fragmentos de Piedra, Grava y Arena.			Arena y Gravas limosas o arcillosas.				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasific. Gral como Subrasante.	DE EXCELENTE A BUENA.						DE REGULAR A MALA.				

Nota (1): Procedimiento de Clasificación: Teniendo presente los datos de prueba necesario, procedase de izquierda a derecha en el cuadro; se encontrará el grupo correcto siguiendo un proceso de eliminación. El primer grupo de la izquierda que corresponda con los datos de la prueba es la clasificación correcta.

Nota (2): El grupo A-7 se subdivide en A-7-5 o A-7-6, según su plasticidad. Para IP ≤ LL-30, la clasificación es A-7-5; para IP > LL-30, tenemos A-7-6.

Nota. Adaptado de Sistema AASHTO M-145, por American Association of State Highway and Transportation Officials, 2008.

1.3.2.1.1 Suelos Granulares

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción, se consideran como suelos no cohesivos o granulares, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la norma ASTM D2487-2000, los siguientes:

- Gravas: todos los materiales clasificados como GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GWGC, GP-GM, GP-GC.

- Arenas: todos los materiales clasificados como SW, SP, SM, SC, SC-SM, SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC, en los cuales 30% o menos del peso pase por tamiz No. 200 (suelos finos menores o iguales al 30%) y que tengan límite líquido $wL \leq 30\%$ e índice plástico $IP \leq 15\%$ (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

Grupo A-1

Este grupo está conformado de mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava y arena. Incluye también este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante. Para que el suelo entre en este grupo es necesario que menos del 20% pase el tamiz número 200 y menos del 50% pasa el tamiz número 40 y el $IP < 6\%$ (Montejo Fonseca, 2002).

Subgrupo A-1a

En 2002, Fonseca ha concluido que “Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado”.

Subgrupo A-1b

“Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien gradada, con o sin ligante.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-2

“Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.” (Montejo Fonseca, 2002).

Subgrupos A-2-4 y A-2-5

“Pertenece a estos Subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz No.40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente. Estos subgrupos, están conformados por suelos gravosos y arenosos (arena gruesa) que tengan un contenido de limo, o índices de grupo, en exceso a los indicados por el grupo A-1. Así mismo, incluyen aquellas arenas finas con un contenido de limo no plástico en exceso al indicado para el grupo A-3.” (Montejo Fonseca, 2002).

Subgrupos A-2-6 y A-2-7

“Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz No. 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-3

“Este grupo está conformado por arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye, además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.” (Montejo Fonseca, 2002).

1.3.2.1.2 Suelos Finos

Según la Norma Técnica Ecuatoriana de Construcción, se consideran como suelos cohesivos o finos, arcillas y limos, todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares.

Grupo A-4

“Pertencen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz No. 200. Además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64%.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-5

“Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, son elásticos y tienen un límite líquido elevado.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-6

“El material predominante de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz No. 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava es inferior al 64%, estos materiales tienen la propiedad de presentar grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-7

“Los suelos que conforman este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos y sus límites líquidos son elevados.” (Montejo Fonseca, 2002).

Grupo A-7-5

“Este grupo está conformado por suelos cuyos índices de plasticidad no son muy elevados con respecto a sus límites líquidos.” (Montejo Fonseca, 2002).

Subgrupo A-7-6

“Conformado por los grupos cuyos suelos tienen un índice de plasticidad muy elevado con respecto a sus límites líquidos, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.” (Montejo Fonseca, 2002).

1.3.2.2 Sistema de clasificación ASTM

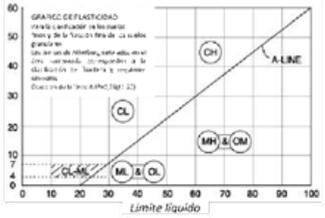
En la clasificación ASTM, los suelos se dividen en tres grandes grupos:

- **Suelos de grano grueso**, constituidos por gravas y arenas con menos del 50% de finos que pasan por el tamiz n° 200 ASTM (0,074 mm). Estableciéndose varios subgrupos en función de la granulometría del suelo y de la plasticidad de la fracción que pasa por el tamiz n° 40 (Tesen Muñoz, 2018).
- **Suelos de grano fino**, constituidos por los suelos con 50% o más de finos. Se trata de suelos arcillosos y limosos, estableciéndose una subclasificación en función de la relación entre su límite líquido y su índice de plasticidad y según que contengan o no materia orgánica. Los subgrupos se representan sobre zonas establecidas en el gráfico de plasticidad (Tesen Muñoz, 2018).
- **Suelos de estructura orgánica**, constituidos fundamentalmente por materia orgánica fibrosa, como las turbas. Estos suelos se identifican fácilmente por su color marrón oscuro y su olor a materia orgánica en descomposición (Tesen Muñoz, 2018).

Figura 10.

Tabla de clasificación de suelos - Método ASTM.

DIMENSION PRINCIPAL		SUBCICLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPOS	CRITERIO DE CLASIFICACION
SUELOS DE GRANOS GROSOS: 50% o más se retiene en el tamiz No. 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en el tamiz No. 4	GRAVAS LIMPIAS	GW Gravas bien graduadas y mezcla de arena y grava con pocos finos o sin finos	$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 4$ $W_p = \frac{w_L}{w_p} \leq 4$ $W_u = \frac{w_L}{w_u} \leq 3$ Si los criterios para GW no se cumplen Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7. $U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 6$ $W_p = \frac{w_L}{w_p} \leq 4$ $W_u = \frac{w_L}{w_u} \leq 3$ Si no se cumplen los criterios para SW Límites de Atterberg localizados bajo la línea "A" o índice de plasticidad inferior a 4. Límites de Atterberg sobre la línea "A" e índice de plasticidad superior a 7.
		GRAVAS CON FINOS	GM Gravas limosas, mezclas de grava-arena y limo	
		GRAVAS CON FINOS	GC Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena y arcilla	
	ARENAS Menos del 50% de la fracción gruesa pasa por el tamiz No. 4	ARENAS LIMPIAS	SW Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SP Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o sin finos	
		ARENAS CON FINOS	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo	
		SC Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
SUELOS DE GRANOS FINOS: 50% o más pasa por el tamiz No. 200	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido de 50% o inferior	ML Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvos de roca, arenas finas limosas o arcillosas	Clasificación basada en el porcentaje de finos: Menos del 5% pasa por el tamiz No. 200 GW, GP, SW, SP 5% a 12% pasa por el tamiz No. 200 GM, GC, SM, SC 12% a 50% pasa por el tamiz No. 200 Para clasificación de tierras se necesitan símbolos dobles	
		CL Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, suelos sin mucha arcilla		
		OL Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja calidad		
	LIMOS Y ARCILLAS Límite líquido superior a 50%	MH Limos inorgánicos, arenas finas o limos miscéneos de diatomeáceos, limos diluición		
		CH Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas		
		OH Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media		



Nota. Adaptado de Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (ASTM D2487), por American Society for Testing and Materials, 2010.

En la denominación de los suelos se utilizan símbolos para los que se usan las iniciales en inglés de los diferentes tipos de suelo o de sus características. Estas iniciales son las siguientes:

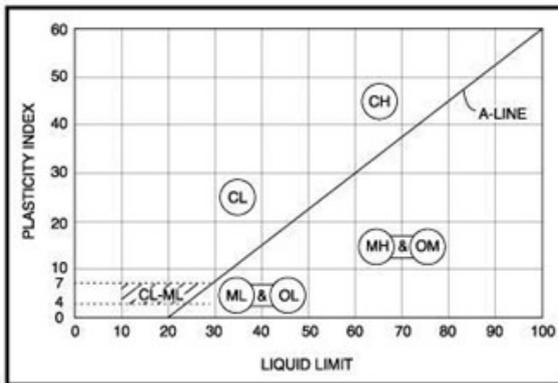
En los suelos de grano grueso se utilizan los prefijos G (grava) y S (arena), y los sufijos W (bien graduado) y P (mal graduado), y M (limo) y C (arcilla). De esta forma, los suelos serán gravas (G) si el 50% o más de la fracción retenida por el tamiz n° 200 es retenida por el tamiz n° 4, o arenas (S) en el caso contrario. Los grupos GW o SW, gravas y arenas bien graduadas con pocos finos o sin ellos (menos del 5% pasa tamiz n° 200), tienen impuesta una doble condición para los coeficientes de uniformidad y curvatura, con el fin de asegurar que su curva granulométrica es extendida y regular. A los grupos GP y SP pertenecen las gravas y arenas mal graduadas, con pocos finos o sin ellos. Los grupos GM, GC, SM y SC corresponden a las gravas y arenas con una proporción importante de finos (más del 12% pasa tamiz n° 200). El sufijo M o C se refiere a la plasticidad de la fracción empleada determinada por los

Límites de Atterberg.

Si el suelo queda representado por debajo de la línea A en el gráfico de plasticidad se trata de un suelo limoso (M) y si está representado por encima se trata de un suelo arcilloso (C). Para los casos intermedios, en los que la fracción de finos que pasan por el tamiz N° 200 está entre el 5 y el 12% o cuando el punto que representa al suelo se encuentra sobre la línea A o por encima con índice de plasticidad entre 4 y 7, se utiliza un símbolo doble (como GW-GM) (ASTM International, 2021).

Figura 11.

Gráfico de Plasticidad.



Nota. Adaptado de Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (ASTM D2487), por American Society for Testing and Materials, 2010.

En suelos de grano fino se utilizan los prefijos M (limo), C (arcilla) y O (suelo con materia orgánica), y los sufijos L (bajo límite líquido) y H (alto límite líquido). Para la clasificación de un suelo como arcilla o limo, se utiliza exclusivamente el gráfico de plasticidad, en el que la línea A separa convencionalmente las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos y de los suelos finos orgánicos, que a su vez se distinguen porque estos últimos tienen un color marrón oscuro y un olor característico cuando están húmedos y calientes, y su límite líquido se reduce en más de 25% al ser determinado en una muestra secada en estufa durante 24 horas a 110°C. Los sufijos H y L se asignan si el límite plástico es mayor de 50 o no, respectivamente. Los suelos intermedios se designan también con un doble símbolo (por ejemplo, CL-ML). Los suelos de estructura orgánica se designan con el símbolo PT (turba) (ASTM International, 2021).

1.3.2.2.1 *Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.*

Este ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua hasta que comienza a fisurarse o disgregarse. El método para comprobar el límite plástico de un suelo debe hacerse únicamente con la fracción de suelo que pasa el tamiz No. 40. El resultado de este sirve también para determinar los índices de plasticidad, tenacidad, liquidez y consistencia de suelos (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

- La determinación se efectuará por triplicado en porciones de igual cantidad de la misma muestra.
- La temperatura del laboratorio debe mantenerse a 23 ± 3 °C.
- Este método consiste en determinar el contenido (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).
- Instrumental
- **Plato o fuente de mezclado.** Recipiente de tamaño adecuado, apropiado para el mezclado de la muestra.
- **Espátula.** Debe ser flexible, de tamaño adecuado, apropiado para el mezclado y cortado de la muestra de suelo.
- **Placa de rolado.** Puede ser de vidrio, mármol o de cualquier material que tenga una superficie lisa no absorbente, de alrededor de 15 x 20 cm.
- **Varilla de calibración, (opcional)** Debe ser de acero inoxidable de 3 mm de diámetro y más o menos 10 mm de largo.
- **Equipo para determinar el contenido de agua,** como el descrito en la Norma INEN 690.
- **Recipiente con agua destilada** (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Preparación de la muestra

El valor del límite plástico del suelo será el promedio de los contenidos de agua determinados según el ensayo realizado de esta norma, expresado con el número entero más cercano, de conformidad con la Norma INEN 52 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Informe de resultados

La muestra debe contener información de procedencia, estado natural, secado al aire, secado al horno, no conocido, etc.

Todos los resultados y observaciones que se hagan en el ensayo deben registrarse de la mejor forma posible, para lo cual se recomienda el uso de la hoja de registro (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Índice de plasticidad

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L_p = W_L - W_p \quad (8)$$

$L_p =$ Índice de plasticidad

$W_L =$ Límite Líquido

$W_p =$ Límite plástico

Puede estar bajo las siguientes condiciones:

- Quando no puede determinarse el límite plástico, el índice de plasticidad debe informarse como No Plástico (NP).
- Quando el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad debe informarse como Cero (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

1.3.2.2.2 Determinación del límite líquido

Este ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento líquido y plástico, valiéndose de un dispositivo mecánico (Copa de Casagrande) en el que, con un determinado número de golpes, se establece la fluencia del suelo en condiciones normalizadas (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

- Debe hacerse únicamente con la fracción del suelo que pasa tamiz No. 40.
- La temperatura del laboratorio debe mantenerse a 23 ± 3 °C.
- La humedad relativa en el laboratorio no debe ser menor del 50% y, en la cámara húmeda, no menor del 90% (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Equipo

- **Dispositivo mecánico (Copa de Casagrande).** Consiste en una copa de bronce o de acero resistente a la corrosión, acoplada a un dispositivo construido de la forma y de acuerdo con las dimensiones que se indican en la *Figura 6*, cuya base debe ser de caucho vulcanizado o de madera dura.
- **Acanaladores.** Deben ser de bronce o acero resistente a la corrosión.
- **Plato o fuente de mezclado.** Recipiente de tamaño adecuado, apto para el mezclado de la muestra de suelo.
- **Espátulas.** Deben ser de acero inoxidable, de tamaños adecuados, apropiados para el mezclado y el cortado de la muestra de suelo.
- **Disco de evaporación.** Pueden utilizarse vidrios de reloj de tamaño adecuado o, en su defecto, una tela impermeable (opcional).
- **Equipo para determinar el contenido de agua.** Como el descrito en la Norma INEN 690.
- **Botella de lavado.** fabricada preferentemente de plástico, o un vaso de precipitación que contenga agua destilada.
- **Recipientes herméticos.** Deben ser de un material resistente a la corrosión y capaces de contener alrededor de 200 a 250 g de suelo húmedo.
- **Calibrador.** Puede ser metálico o de un material resistente a la corrosión (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Preparación de la muestra

Se toma una muestra de alrededor de 250 g de la porción completamente mezclada del material que pase el tamiz No. 40, a esta muestra se la deja evaporar, si fuera necesario, o se la añade agua destilada y se la mezcla completamente en la fuente, usando la espátula, hasta obtener una pasta de suelo homogénea y densa que pueda moldearse fácilmente con los dedos (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Informe de resultados

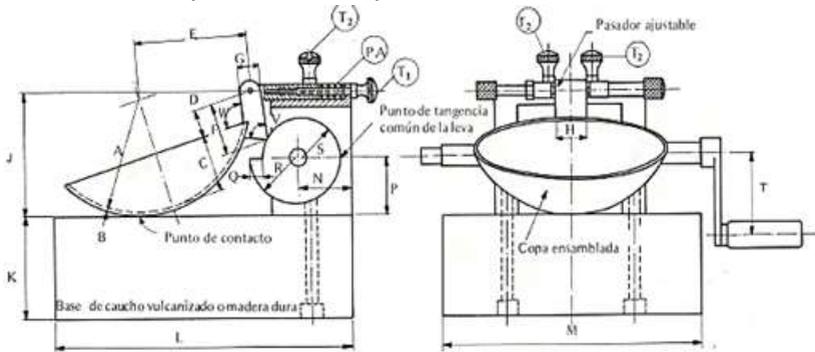
El informe debe emitir:

- Resultados obtenidos.
- Método utilizado.
- Condición de suelo.

Todos los resultados y observaciones que se hagan en el ensayo deben registrarse lo más adecuadamente posible, para lo cual se recomienda el uso de la hoja de registro (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Figura 12.

Dispositivo mecánico para el límite líquido.



Nota. Adaptado de Mecánica de suelos. Determinación de Límite Plástico, por Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982, Norma Técnica Ecuatoriana INEN 692.

1.3.2.2.3 Determinación del contenido de agua

El método de ensayo consiste en determinar la cantidad de agua que existe en una determinada masa de suelo, mediante un horno de secado, la determinación se efectuará por duplicado sobre diferentes porciones de la misma muestra.

Equipo

- Horno de secado.** Puede ser a gas o eléctrico.
- Balanzas.** Se debe utilizar una de las siguientes balanzas de acuerdo al tamaño de la muestra: 0.01 y 0.001 de precisión.

- **Recipientes.** Estos deben ser de un tamaño adecuado, fabricados de un material resistente a la corrosión y que no alteren su masa o se desintegren debido al fenómeno repetitivo de calentado y enfriado. Estos recipientes deben identificarse mediante numeración clara e indeleble.
- **Desecador.** Debe ser de un tamaño adecuado y contener gel de sílice anhidro (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Preparación de la muestra

La muestra de ensayo debe tener suficiente material para que sea representativa del suelo, lo cual está en función de la gradación, tamaño máximo de las partículas y del equipo utilizado. La masa mínima de la muestra debe estar en concordancia con los valores recomendados para uso general de laboratorio de la Tabla 2 (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Tabla 3.

Cantidad mínima de muestra.

Tamaño máx. de partículas		Masa mínima de la muestra
INEN	ASTM	(g)
425 mm	No. 40	25
2 mm	No.10	50
4,75 mm	No. 4	200
9,5 mm	3/8 pulg	300
13,2 mm	0,53 pulg	350
Tamaño máx. de partículas		Masa mínima de la muestra
19 mm	¾ pulg	500
26,5 mm	1.06 pulg	600
37,5 mm	1 ½ pulg	1000
53 mm	2,12 pulg	1200

*Debe tenerse en cuenta que mientras más seco sea el suelo, la cantidad tomada para el ensayo debe ser mayor.

Nota. Adaptado de Mecánica de suelos. Determinación de Limite Plástico, por Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982, Norma Técnica Ecuatoriana INEN 692.

Cálculos

El contenido de agua del suelo se calcula como un porcentaje de su masa seca con la siguiente ecuación:

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \cdot 100 \quad (9)$$

Siendo:

w = contenido de agua, en %.

m_1 = masa del recipiente, en g.

m_2 = masa del recipiente y el suelo húmedo, en g.

m_3 = masa del recipiente y el suelo seco, en g (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

Informe de resultados

Como resultado final, debe indicarse la media aritmética de los dos resultados, redondeada a tres cifras significativas.

El informe de este ensayo debe constar de lo siguiente:

- Descripción de las características de la muestra ensayada, procedencia, identificación, etc.
- Temperatura, tiempo y tipo de secado.
- Contenido de agua, en porcentaje (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 1982).

1.3.3 Métodos permitidos para exploración en campo

Existen varios métodos de exploración de campo para un estudio geotécnico definitivo, en este caso se tratarán:

- Exploración directa.
- Se podrá utilizar cualquier método de exploración.

1.4 Ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar (SPT), desarrollado por Terzaghi a finales de los años 20, es el ensayo *in situ* más popular y económico con la finalidad de estimar el grado de densificación de los suelos, es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los

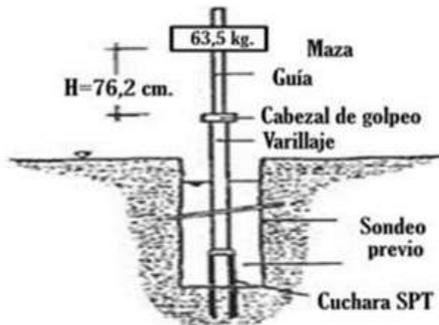
que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico. Constituye el ensayo o prueba más utilizada en la realización de sondeos, y se realiza en el fondo de la perforación (ASTM International, 2010).

La determinación del número de penetración estándar N consiste en medir el número de golpes necesario para que se introduzca una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior. En 1967 la ASTM la transformó en una prueba normalizada. En esta se especifican elementos y características necesarios para realizar el ensayo como ser:

- Masa de 63.5 kg.
- Altura de caída de 76 cm.
- Saca muestras con diámetro externo de 50mm y diámetro interno de 35 mm.
- Mecánica de liberación del martinete mediante soga y malacate.
- Barras de sondeo y cabeza de golpeo (ASTM International, 2010).

Figura 13.

Ensayo de Penetración Estándar.



Nota. Adaptado de Prueba de penetración estándar - ASTM D 1586, por ASTM International, 2010.

El amplio uso del SPT ha permitido establecer una serie de correlaciones con diferentes parámetros geotécnicos:

- Con la compacidad para suelos granulares.
- Con la densidad relativa, teniendo en cuenta la influencia de la profundidad.
- Con el ángulo de rozamiento en suelos granulares; aplicable a partir de 2 metros de profundidad.

Como se observa la mayoría de estos parámetros están indicados para suelos granulares, esto porque el ensayo SPT tiene su principal utilidad en la caracterización de suelos granulares (arenas o gravas arenosas), en las que es muy difícil obtener muestras inalteradas para ensayos de laboratorio. En suelos granulares, el valor de N es afectado por la presión efectiva de sobrecarga σ'_o . Por esa razón el valor N obtenido en una exploración de campo bajo diferentes presiones efectivas de sobrecarga debe ser cambiado para corresponder a un valor estándar de σ'_o , es decir:

$$N_{COR} = C_N N_F \quad (10)$$

Donde:

- N_{COR} = Valor N corregido a un valor estándar de σ'_o .
- C_N = Factor de corrección.
- N_F = Valor N obtenido en campo.

Tabla 4.

Resistencia de los suelos cohesivos.

No. De Golpes	Consistencia	Resistencia a la compresión simple q_u (Kg/cm ²)
< 2	Muy Blanda	< 0.25
2 – 4	Blanda	0.25 – 0.50
4 – 8	Media	0.50 – 1.00
8 – 15	Firme	1.00 – 2.00
15 – 30	Muy Firme	2.00 – 4.00
> 30	Dura	> 4.0

Nota. Adaptado de Prueba de penetración estándar - ASTM D 1586, por ASTM International, 2010.

A partir del valor N de golpes obtenido en campo mediante el Ensayo de Penetración Estándar, se puede deducir el valor de la Densidad Saturada (γ_{sat}) como se detalla en la tabla 4.

Tabla 5.

Propiedades comunes de los suelos arcillosos, HUNT 1984.

Consistencia	N	Identificación manual	γ_{sat} (gr/cm ³)	q_u (kg/cm ³)
Dura	> 30	Se marca difícilmente	> 2,0	> 4,0
Muy rígida	15-30	Se marca con la uña del pulgar	2,08 – 2,24	2,00 – 4,00
Rígida	8-15	Se marca con el pulgar	1,92 – 2,08	1,00 – 2,00
Media	4-8	Moldeable bajo presiones fuertes	1,76 – 1,92	0,50 – 1,00
Blanda	2-4	Moldeable bajo presiones débiles	1,60 – 1,76	0,25 – 0,50
Muy blanda	< 2	Se deshace entre los dedos	1,44 – 1,60	0 – 0,25

Nota. Adaptado de Manual de taludes, por Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1987.

1.4.1 Disposiciones específicas

Según Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN (2005) El diámetro de perforación debe estar comprendido entre 60 y 150 mm.

Para este ensayo, la excavación o la limpieza de la perforación no debe hacerse por el procedimiento de inyección de agua a través del muestreado, ni se usarán barrenas o brocas de descarga de fondo, pero sí de descarga lateral (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2005).

1.4.2 Instrumental

- Equipo de perforación.
- Muestreador o tubo partido.
- Punta de hincado de acero duro y cabezal con 2 o 4 orificios de ventilación.
- Dispositivo de aplicación de carga.
- Equipo accesorio (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2005).

1.4.3 Preparación previa al ensayo

- Efectuada la perforación y alcanzada la profundidad a la que se va a realizar el ensayo, se limpia el pozo, cuidando que el material a muestrear no resulte alterado por dicha operación.

- Cuando se detecten suelos sin cohesión, poco cohesivos o muy blandos, debe asegurarse la estabilidad de las paredes de la perforación entibando la misma, utilizando tubos, lodo de perforación o mediante cualquier otro método que se considere conveniente.
- En el caso de arenas o limos saturados, las herramientas de perforación deben retirarse lentamente, para impedir el derrumbamiento de las paredes del pozo y, a la vez, se debe mantener el agua de inyección a/o sobre el nivel freático, con la finalidad de evitar la ebullición del fondo.
- No se debe entibar una perforación más abajo del nivel en que se va a tomar la muestra (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2005).

1.4.4 Procedimiento del ensayo

- Luego de apoyar el muestreador en el fondo del pozo perforado, se procede a hincarlo mediante golpes del martinete lanzado en caída libre desde una altura de 75 ± 5 cm sobre la cabeza de golpe.
- Para el izaje del martinete debe usarse cabo de manila o similar y, en caso de ser accionado mecánicamente, el cabo no debe enrollarse más de dos vueltas en el malacate.
- Debe cuidarse de que la barra rígida de acero que sirve de guía en la caída del martinete esté completamente vertical, con lo cual se asegura que la energía de los golpes no resulte disminuida por efecto de la fricción del martinete sobre dicha barra.
- El muestreador debe penetrar en primer lugar 15 cm, lo cual se considera como un proceso necesario de preparación y ajuste para el ensayo, por lo que, el número de golpes necesarios para este primer tramo de hincado tiene únicamente un valor relativo de orientación.
- Se inicia entonces el ensayo contando el número de golpes (N) necesarios para hacer penetrar el muestreador 30 cm, lo cual determina la resistencia a la penetración de dicho suelo.
- Si al hincar este tramo se sobrepasan los 50 golpes, sin que hubiera penetrado la totalidad de la medida indicada en el numeral 8.4, se debe anotar el número de golpes efectuados y la fracción o longitud de penetración del muestreador.

- Luego del hincado y antes de extraer el muestreador a la superficie debe girarse por lo menos dos revoluciones, a fin de cortar la muestra por el fondo, luego de lo cual, se extrae el muestreador a la superficie, se lo abre y se determina la longitud de la muestra recuperada, se retira la muestra de suelo, desechando la parte superior que se considera no representativa.
- La muestra se describirá según lo establecido en la Norma INEN 693, luego de lo cual se la debe acondicionar y cerrar herméticamente en un envase apropiado para su envío al laboratorio.
- Cuando se utilice el tipo de muestreador mencionado (muestreador partido con tubo delgado), una vez obtenida la muestra, se desarma el muestreador y se retira el tubo interior, se lo enrasa, sella y se lo envía al laboratorio.
- Para la identificación de las muestras, los recipientes que las contengan deben etiquetarse adecuadamente.
- Las etiquetas deben protegerse con un forro plástico y su inscripción debe hacerse con tinta indeleble, y constará de los siguientes datos:
 - a. designación del trabajo;
 - b. número de perforación;
 - c. número de la muestra;
 - d. profundidad o cota de extracción;
 - e. número de golpes (N) y todo dato adicional que sea útil para su fácil reconocimiento e identificación (Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2005).

1.4.5 Correcciones al N de campo

La ejecución del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) al muestrear arenas con cierto nivel de sobre consolidación indica que el número de golpes obtenido en cualquier depósito a una presión determinada de sobrecarga efectiva, puede llegar a variar en gran medida dependiendo del método de descarga del martillo, el tipo de peso y de la longitud de las varillas. Es necesario corregir el número de golpes observado (N) en un valor equivalente al que se habría efectuado al aplicar una energía específica en el varillaje. Un valor recomendado, que debe ser reconocido a nivel internacional, es de 60% de la energía proporcionada por el peso de martillo estándar en caída libre (Aguilar Collazo, 2012).

Un valor recomendado, que debe ser reconocido a nivel internacional, es de 60% de la energía proporcionada por el peso de martillo estándar en caída libre. El recuento de golpes corregido se designa como (N60), y el valor normalizado (N1)60 puede ser considerado como una característica básica de la arena en la unidad de presión efectiva (1 kg/cm² o 100 kPa) (Aguilar Collazo, 2012).

El ensayo podría parar por rechazo si:

- No se han alcanzado 50 golpes en alguno de los incrementos de 30 cm.
- Cuando se han acumulado 100 golpes.
- Cuando no se observa avance del muestreador después de aplicar 10 golpes (Marcillo Castro, 2017).

1.4.5.1 Factores de corrección para suelos granulares

Los resultados del ensayo deben corregirse a partir de consideraciones que tienen en cuenta la energía, por lo tanto, el valor que se obtiene de N campo debe incluir los siguientes factores (Formula de Bowles):

$$N_{corr} = Cn \times N_{campo} \times n1 \times n1 \times n3 \times n4 \quad (11)$$

Donde:

N_{corr} = valor de n campo corregido.

Cn = factor de corrección dado por la sobrecarga efectiva del suelo.

N1 = factor de corrección por energía del martillo.

N2 = factor de corrección por longitud de la varilla.

N3 = factor de corrección por resistencia interna de la toma muestras.

N4 = factor de corrección por diámetro de la perforación (Marcillo Castro, 2017).

1.4.5.2 Factores de corrección por energía

Este representa el rendimiento de impacto del martillo sobre el cabezal del golpeo.

$$N1 = \frac{Er}{E_{60}} \quad (12)$$

Donde:

E_{60} = Es el valor de la energía de referencia base que usualmente es 60%.

E_r = es el valor de la energía de referencia de la barra (Marcillo Castro, 2017).

Tabla 6.

N1, Factor que corrige la energía entregada y la energía teórica de 475J.

Aspecto	E_r
Martillo de seguridad	0.60
Según Bowles	0.70
Martillo tipo donut	0.45

Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001, International Thomson Editores.

Tabla 7.

Corrección por longitud de las barras N2.

Longitud de varilla	Factor de corrección N2
> 10 m	1.0
6 a 10 m	0.95
4 a 6 m	0.85
< 4 m	0.75

Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001, International Thomson Editores.

Tabla 8.

Corrección por la toma de muestra N3.

Condición	Factor de corrección N3
Con revestimiento, arena densa, arcilla	0.80
Con revestimiento, arena suelta	0.90
Sin revestimiento	1.00

Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001, International Thomson Editores.

Tabla 9.

Corrección por el diámetro de penetración N4.

Diámetro de la perforación	Factor de corrección N4
60 – 120 mm	1.0
150 mm	1.05
200 mm	1.15

Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001, International Thomson Editores.

1.4.6 Factores de Corrección para suelos cohesivos

$$N_{corr} = N_{campo} \times n1 \times n1 \times n3 \times n4 \quad (13)$$

Donde:

N_{corr} = valor de n campo corregido.

N1 = factor de corrección por energía del martillo.

N2 = factor de corrección por longitud de la varilla.

N3 = factor de corrección por resistencia interna de la toma muestras.

N4 = factor de corrección por diámetro de la perforación (Marcillo Castro, 2017).

1.4.7 Numero de sondeos para evaluación preliminar

Es necesario realizar sondeos en base a la superficie para definir un número mínimo. Al tratarse de áreas grandes por razones económicas se opta por limitar el número mínimo de reconocimientos, sin embargo, se requiere un encuadre pedagógico apropiado para situarlos correctamente y sacar el máximo provecho de la información obtenida (Rodríguez Ortiz, 1995).

Tabla 10.

Número mínimo de sondeos por superficie.

COMPLEJIDAD	SUPERFICIE (Ha)						
	1	10	50	100	200	500	1000
BAJA	3	6	8	9	10	11	12
MEDIA	5	10	14	15	16	18	20
ALTA	6	14	20	22	24	27	30

Nota. Adaptado de Reconocimiento del terreno y propiedades de los suelos,

Nota. Adaptado de por Ensayo de Penetración Estándar - Inen 689, Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, 2005, Norma Técnica Ecuatoriana.

1.5 Capacidad de carga de suelos

La capacidad de carga admisible es dicha carga que al ser aplicada no afecte la estructura soportada provocando fallos o daños, con la aplicación de un factor de seguridad. La capacidad de carga no solo está en función de las características del suelo, sino que depende del tipo de cimentación y del factor de seguridad adoptado.

Joseph Bowles (1997) plantea las fórmulas:

Para $B \leq 1,20$ m

$$q_{admisible} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = 0,1916 \times N_{corr} \times Fd \left(\frac{Se}{25,4} \right) \quad (14)$$

Para $B \geq 1,20$ m

$$q_{admisible} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = 0,1198 \times N_{corr} \left(\frac{3,28B + 1}{3,28B} \right)^2 \times Fd \left(\frac{Se}{25,4} \right) \quad (15)$$

Donde:

B: Ancho de zapata en (m).

Fd: Factor de corrección por empotramiento = 1,33.

Se: Asentamiento en (mm).

Factor de seguridad

Es la carga límite dividida entre un factor de seguridad. A este esfuerzo se le llama capacidad portante. Terzaghi recomienda que FS no sea menor que 3.

1.6 Licuación del suelo

La licuación (o licuefacción) de suelos incluye todos los procesos que conducen a una pérdida de resistencia o al desarrollo de deformaciones excesivas como resultado de una perturbación transitoria o repetida en suelos saturados no cohesivos. Las estructuras cimentadas sobre un terreno que sufre licuación pueden experimentar grandes asientos, lo que puede llevar a las capas del suelo licuadas a comportarse como un fluido denso cuando la resistencia al corte del mismo se anula completamente. De la misma forma,

los taludes y laderas también pueden verse afectados por este proceso, ocasionando su rotura y desestabilización; también pueden verse afectadas las zonas planas donde haya un mínimo de efecto de borde libre, como el introducido por erosión debida a un curso de agua, fenómeno que se conoce como lateral spread (Pastor et al., 2018).

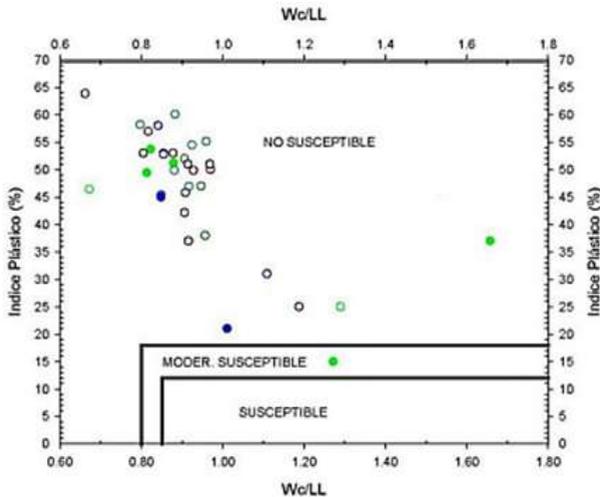
Para valorar el potencial de licuación pueden utilizarse métodos como los de Bray y Sancio, ya que según su investigación los limos no plásticos y las arenas arcillosas con baja plasticidad (IP0.85) pueden licuarse bajo un significativo número de ciclos de cargas.

Se plantea la siguiente relación:

$$\frac{W\%}{LL}; IP \quad (16)$$

Figura 15.

Criterio de susceptibilidad Bray & Sancio.



Nota. Adaptado de Identificación de las características físico-mecánicas del suelo, ciudadela Parrales y Guale-Jipijapa, para cimentación de edificaciones de categoría baja, por Marcillo Castro, 2017, Universidad Estatal del Sur de Manabí.

1.7 Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción interna en el suelo representa el parámetro más importante en la evaluación de la resistencia al corte, lo cual permite evaluar sus capacidades portantes última y admisible. Es sabido que el ángulo de fricción interna del suelo de grano grueso depende mayormente de dos factores fundamentales, los cuales son su gradación y la densidad relativa y en el suelo de grano fino depende de la cantidad de gruesos en los finos (Covo Torres, 2012).

Según Wolf (1989).

$$\phi = 27,1 + 0,30 \times N_{corr} - 0.00054 \times (N_{corr})^2 \quad (17)$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción interna.

N_{corr} = Numero de golpes corregidos.

1.8 Estabilización de suelos

No siempre se encuentra el suelo adecuado que garantice la estabilidad y durabilidad de una explanada. Si se une a ello la creciente importancia medioambiental y la presión social por minimizar la apertura de nuevos préstamos y vertederos necesarios para el movimiento de tierras de una infraestructura, es evidente el esfuerzo necesario en utilizar materiales calificados como tolerables, marginales e incluso inadecuados. La estabilización permite reemplazar un suelo de baja calidad por otro estabilizado y mejorado. Se trata de una de las técnicas más antiguas y utilizadas en bases y subbases para uso vial. No obstante, el espesor de la capa del suelo a tratar es relativamente pequeño, por lo que algunos autores no la consideran como una técnica de mejora de terrenos (Yepes Piqueras, 2020).

La estabilización de un suelo mejora o controla su estabilidad volumétrica, aumenta su resistencia y el módulo esfuerzo-deformación, mejora su permeabilidad y durabilidad y reduce su susceptibilidad al agua. Se requieren ensayos de laboratorio y pruebas de campo para evaluar el rendimiento de la técnica. Se aprovechan los suelos de baja calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero, aumenta su resistencia a la erosión, a la helada y otros agentes climáticos, permite la circulación por terrenos impracticables y obtiene una plataforma estable de apoyo del firme de infraestructuras lineales que colabore estructuralmente con el mismo (Yepes Piqueras, 2020).

Esta modificación suele consistir en la adición de materiales que mejoran la capacidad portante y reducen la permeabilidad del terreno. Uno de los métodos más utilizados es la inyección de una mezcla fluida que posteriormente fragua y endurece. Los principales tipos son:

- **Impregnación:** Sustitución del agua y/o gas intersticial en un medio poroso, por una lechada inyectada a una presión suficientemente baja, que asegure que no se producen desplazamientos significativos de terreno.
- **Relleno de fisuras:** Inyección de lechada en las fisuras, diaclasas, fracturas o discontinuidades en general de formaciones rocosas.
- **Relleno de huecos:** Consiste en la colocación de una lechada, con un alto contenido de partículas, para el relleno de grandes huecos.
- **Inyección por compactación:** Consiste en un método de inyección con desplazamiento del terreno, en el cual se introduce un mortero de alta fricción interna en una masa de suelo.
- **Fracturación hidráulica:** Consiste en la inyección del terreno mediante su fracturación por lechada, con una presión por encima de su resistencia a tracción y de su presión de confinamiento. También se denomina hidrofracturación, hidrofisuración, “hidrojacking” o “claquage” (Estabilización o mejora).

1.9 Obras civiles

El ingeniero civil, debe resolver las necesidades habitacionales de los centros urbanos. Siendo este trabajo de orden social es necesario, además de dominar el campo de la ciencia que le permite atacar el aspecto técnico de la profesión, sensibilizarse con los factores sociales, políticos y económicos que influyen en una comunidad. De esta manera, el Ingeniero puede proyectar obras que realmente proporcionen bienestar a las personas que las van a utilizar (Martínez, 1999).

1.9.1 Tipos de obras civiles

1.9.1.1 Obras horizontales

Paladino (2013) Indica que, son todas aquellas obras que se construyen partiendo desde un punto fijo, sobre la superficie terrestre y que se van construyendo a lo largo de la misma superficie hacia otro punto fijo. Se podría leer en el eje X a lo largo de un plano cartesiano.

a) **Construcción de carreteras con carpeta de rodamiento**

- Adoquinado.
- Asfaltado.
- Empedrado.

b) **Construcción de Sistema pluviales**

- Enchape de causes.
- Cunetas y canales.
- Drenaje Secundario.
- Alcantarillas.
- Puentes (Peatonales y Vehiculares).

c) **Construcción de pistas peatonales**

- Andenes.
- Bulevares.

d) **Construcción de caminos rurales**

- Rehabilitación de Caminos Rurales.

e) **Construcción de Sistema Sanitarios**

- Alcantarillado Sanitario.
- Planta de tratamientos de aguas residuales.

f) **Agua Potable**

- Acueductos Rurales.
- Acueductos Urbanos (Paladino, 2013).

1.9.1.2 Obras verticales

Las Obras Verticales son todas aquellas obras que se ejecutan o se realizan desde un punto del nivel de la superficie hacia arriba, rompiendo la ley de gravedad. Estas obras se clasifican según sector: Social, y Económico productivo y por sus dimensiones y acabados.

- Viviendas.
- Escuelas.

- Centro de Salud.
- Hogares de Ancianos.
- Centros Recreativos.
- Bibliotecas.
- Canchas Deportivas.
- Estadios.
- Parques.
- Casas Comunales.
- Rastros.
- Mercados.
- Paradas de Buses.
- Otros (Paladino, 2013).

Una de las principales obras civiles que se ejecutan son:

- Edificios para viviendas, oficinas o industrias.
- Edificaciones religiosas, educativas y deportivas.
- Edificaciones hospitalarias.
- Carreteras, autopistas, puentes, túneles.
- Puertos, diques, obras hidráulicas.
- Redes de distribución de agua.
- Sistemas de recolección y disposición de aguas servidas.
- Redes de distribución eléctrica (Martínez, 1999).

Los criterios de diseño de las obras son muy amplios, puesto así que pueden ser construidas totalmente en sitio, como también se pueden prefabricar ciertos elementos que las constituyen para su posterior ensamble en sitio. Existen muchos elementos prefabricados que facilitan y disminuyen costos en los procesos constructivos (Martínez, 1999).

Para el sector 3 del sitio Sancán es necesario el estudio del suelo puesto que la comunidad en general necesita del mismo para una correcta construcción de obras civiles sean estas casas, sitios públicos u otros que vayan en función del desarrollo tanto personal como de la zona. Permiten definir la

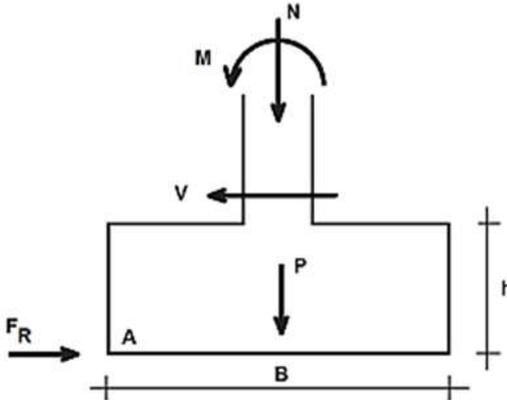
capacidad de uso de los suelos misma que es información fundamental para la planificación de futuros proyectos (Martínez, 1999).

1.10 Cimentaciones

La cimentación de una estructura es aquello que la sustenta sobre el terreno. Generalmente se encuentra enterrada y transmite al terreno su propio peso y las cargas recibidas, de modo que la estructura que soporta sea estable, la presión transmitida sea menor a la admisible y los asientos se encuentren limitados (figura 6). La cimentación consta de dos partes, el elemento estructural encargado de transmitir las cargas al terreno, o cimiento, y la zona del terreno afectada por dichas cargas, o terreno de cimentación. La cimentación debe resistir las cargas y sujeta la estructura frente a acciones horizontales como el viento y el sismo, conservando su integridad. La tensión que actúa sobre el terreno se debe a los esfuerzos producidos por la estructura sobre el cimiento, a los que hay que añadir el peso propio del cimiento más las tierras u otras acciones que actúen sobre él. La interacción entre el suelo y la estructura depende de la naturaleza del propio terreno, de la forma y tamaño de la cimentación y de la flexibilidad de la estructura (Yepes Piqueras, 2020).

Figura 16.

Cargas sobre una cimentación superficial.



Nota. Adaptado de Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención, por Yepes Piqueras, 2020, Editorial Universitat Politècnica de València.

Los procedimientos constructivos influyen notablemente en el comportamiento de una cimentación. Hay que tener en cuenta que la construcción

de la cimentación altera el terreno circundante, lo cual puede modificar algunas de las hipótesis de cálculo. A modo de ejemplo, los pilotes perforados descomprimen el terreno influyendo en la resistencia por fuste, por lo que es conveniente hormigonar de inmediato. La alteración del terreno debida a la excavación puede originar asientos no previstos. La hincas de pilotes en limos y arenas sueltas saturadas aumenta la presión intersticial, lo que disminuye temporalmente la capacidad del pilote e incluso causar la licuefacción del terreno (Yepes Piqueras, 2020).

1.10.1 Tipos de cimentación

Se puede decir que existen dos tipos de cimentaciones: Cimentaciones superficiales – directas y cimentaciones profundas.

1.10.1.1 Cimentaciones superficiales

La cimentación superficial es la que reparte las cargas de la estructura en un plano de apoyo horizontal. Son construidas a poca profundidad bajo la superficie del terreno (Menos de 4 metros), también llamada cimentación directa y son:

- Zapatas aisladas.
- Zapatas combinadas.
- Zapatas corridas.
- Pozos de cimentación.
- Emparrillados de cimentación.
- Losas de cimentación (Seguí, 2024).

Tabla 11.

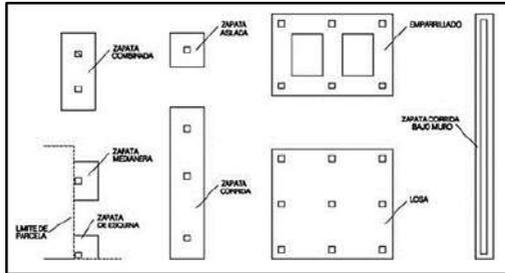
Tipos de cimientos directos.

Tipo de cimiento directo	Elementos estructurales más usuales a los que sirven de cimentación
Zapata aislada	Pilar aislado, interior, medianero de esquina.
Zapata combinada	2 o más pilares contiguos.
Zapata corrida	Alineaciones de 3 o más pilares o muros.
Pozo de cimentación	Pilar aislado.
Emparrillado	Conjunto de pilares y muros distribuidos, en general, en retícula.
Losa	Conjunto de pilares y muros.

Nota. Adaptado de Tipos de cimentación en edificios, características y 9 Guías imprescindibles de lesiones, por Seguí, 2024, ovacen (<https://ovacen.com/cimentacion/>).

Figura 17.

Elementos estructurales más usuales.



Nota. Adaptado de Tipos de cimentación en edificios, características y 9 Guías imprescindibles de lesiones, por Seguí, 2024, ovacen (<https://ovacen.com/cimentacion/>).

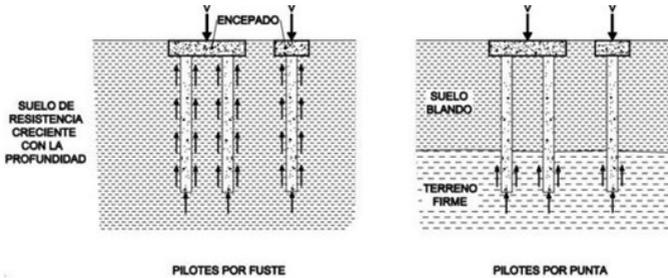
1.10.1.2 Cimentaciones profundas

El objetivo es transmitir las cargas a estratos profundos que tengan una mayor capacidad portante y de resistencia. Son consideradas aquellas que tiene una longitud mayor de seis metros, o la relación entre la altura y la anchura supere el valor de 5 y son:

- Pilotes aislados.
- Hormigonados in situ.
- Hormigonados in situ.
- Zonas pilotadas.
- Micropilotes.

Figura 18.

Esquema de cimentaciones profundas (pilotajes).



Nota. Adaptado de Tipos de cimentación en edificios, características y 9 Guías imprescindibles de lesiones, por Seguí, 2024, ovacen (<https://ovacen.com/cimentacion/>).

2. Evaluación de los suelos del sitio Sancán

El análisis de la calidad de suelo en el sector 3 del sitio Sancán, se realizó a través del método de SPT, para el cual se recurrió a una investigación aplicada, tomando en cuenta la teoría, para generar un conocimiento práctico, es decir resolver situaciones que se presentan desde una realidad existente enfocándose lo más claro posible con un análisis y estudio de problemas para llegar a encontrar una solución práctica y coherente de acuerdo al tema.

2.1. Aspectos del sitio Sancán

La comunidad Sancán, es un asentamiento rural del cantón Jipijapa perteneciente a la provincia de Manabí, esta comunidad está ubicada a 7 Km de Jipijapa, un sitio tradicional por la presencia de comercios informales alrededor de su vía principal, que es la mayor fuente de ingreso de los habitantes del sector. Al sitio Sancán se lo subdividido en cinco sectores y Para este trabajo se tomó como población el sector 3, y para la evaluación se realizaron 3 sondeos con el equipo SPT.

Figura 19.

Implantación del sitio Sancán.



El sitio Sancán está dividido en 5 sectores, correspondiendo a este trabajo 25 manzanas del sector 3, con un área de 20.55 ha., aproximadamente. Se realizaron 3 perforaciones hasta 6 metros de profundidad y a cada metro de perforación obteniendo 18 muestras en total de acuerdo al número de sondeos por superficie.

Figura 21.

Perforación de suelo para extracción de muestra.



2.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1 Técnica

Las técnicas que utilizarán en esta investigación.

a) Documental

La técnica documental permitió consultar información comprobada sobre los procedimientos de cómo realizar el levantamiento de la información en el campo y como desarrollar los ensayos en el laboratorio de suelos, como son ensayo de Penetración Estándar, Granulometría por lavado, Límite Líquido, Limite Plástico, Humedad Natural, Gravedad específica, así como también, la forma de presentar los informes finales.

b) La observación

Se utilizó durante la ejecución del ensayo de Penetración Estándar en el sitio Sancán y durante los análisis en laboratorio, se observó el color, la consistencia, textura, densidad y composición.

c) **La medición**

Se utilizó durante el levantamiento de información en campo, así como también en la ejecución del ensayo in situ, midiendo así, la profundidad de las perforaciones y el porcentaje de recuperación de la muestra, en los sondeos 1, 2 y 3.

Figura 22.

Recolección de muestra obtenida en cuchara.



2.3.2 Instrumento

- Equipo para Ensayo de Penetración Estándar (SPT)
- Pizarra
- Fundas plásticas
- Libreta de campo
- Programas computacionales
- Juego de tamices
- Horno eléctrico
- Balanza

- Equipo de casa grande
- Taras
- Picnómetro

2.3.3 Materiales

18 muestras de suelo obtenidas en 3 perforaciones de 6 metros de profundidad, con recolección en cada metro, en el sector 3 del sitio Sancán.

2.3.4 Levantamiento de la información

En el sector 3 del sitio Sancán, se ejecutó el ensayo de penetración estándar como se rige en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 689, realizando 3 sondeos con 6 metros de profundidad cada uno, teniendo en total 18 muestras alteradas.

Figura 23.

Toma de datos de muestra.



Figura 24.

Peso de muestra.



Figura 25.

Recolección de datos.



Tabla 12.

Resumen de sondeo 1.

Proyecto de titulación:		"Estudio de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa"				
Ubicación:		Sitio Sancán - Sector 3				
Fecha:		20/03/2022				
Sondeo No.:		1	Coordenadas UTM: 9860702 255.023 m.s.n.m.		546450	
Muestra	Profundidad	Numero de golpes			N SPT (N2+N3)	Observaciones
		N1	N2	N3		
S1 - M1	0,55 - 1,00	1	4	5	9	Suelo arcilloso de color café claro.
S1 - M2	1,55 - 2,00	7	10	13	23	Suelo arcilloso de color café claro.
S1 - M3	2,55 - 3,00	6	8	10	18	Suelo arcilloso de color café claro.
S1 - M4	3,55 - 4,00	5	8	11	19	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de Yeso.
S1 - M5	4,55 - 5,00	6	9	11	20	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de Yeso.
S1 - M6	5,55 - 6,00	11	15	18	33	Suelo arcilloso de color café con piedrilla.

Tabla 13.

Resumen de Sondeo 2.

Proyecto de titulación:		"Estudio de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa"				
Ubicación:		Sitio Sancán - Sector 3				
Fecha:		20/03/2022				
Sondeo No.:		2	Coordenadas UTM: 9860599 263.218 m.s.n.m.		546648	
Mues- tra	Profundidad	Numero de golpes			N SPT (N2+N3)	Observaciones
		N1		N3		

S1 - M1	0,55 - 1,00	2	4	4	8	Suelo arcilloso de color café claro
S1 - M2	1,55 - 2,00	4	7	10	17	Suelo arcilloso de color café claro
S1 - M3	2,55 - 3,00	8	11	14	25	Suelo arcilloso de color café claro
S1 - M4	3,55 - 4,00	6	9	13	22	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de yeso
S1 - M5	4,55 - 5,00	8	11	14	25	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de yeso
S1 - M6	5,55 - 6,00	11	14	20	34	Suelo arcilloso de color café con piedrilla

Tabla 14.

Resumen de Sondeo 3.

Proyecto de titulación:		"Estudio de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa"				
Ubicación:		Sitio Sancán - Sector 3				
Fecha:		20/03/2022				
Sondeo No.:		3	Coordenadas UTM: 9860599 263.218 m.s.n.m.		546648	
Muestra	Profundidad	Numero de golpes			N SPT (N2+N3)	Observaciones
		N1	N2	N3		
S1 - M1	0,55 - 1,00	4	6	11	17	Suelo arcilloso de color café claro
S1 - M2	1,55 - 2,00	10	11	14	25	Suelo arcilloso de color café claro
Muestra	Profundidad	Numero de golpes			N SPT (N2+N3)	Observaciones
S1 - M3	2,55 - 3,00	14	14	16		
S1 - M4	3,55 - 4,00	12	18	22	40	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de Yeso
S1 - M5	4,55 - 5,00	11	16	25	41	Suelo arcilloso de color café claro con presencia de Yeso
S1 - M6	5,55 - 6,00	12	16	24	40	Suelo arcilloso de color café con presencia de hierro

Figura 26.

Lavado de suelo mediante tamizado.



Figura 27.

Peso de muestra.



Figura 28.

Ensayo de gravedad específica.



2.4 Resultados

2.4.1 Análisis de datos

Luego de realizar el ensayo de Penetración Estándar en campo cumpliendo con lo estipulado en la Norma NTE-INEN 689 se realizaron los respectivos ensayos en el laboratorio, analizando las 18 muestras obtenidas, determinando así el índice de plasticidad.

Tabla 15.

Ensayos realizados en laboratorio.

Ensayo	Norma
Ensayo de Penetración Estándar	NTE-INEN 689 (Ensayo de Penetración Estándar)
Granulometría por lavado	NTE-INEN 696 (Determinación del contenido de agua - Método del secado al horno)
Límite Líquido	NTE-INEN 691 (Determinación de límite líquido – Método Casa Grande)
Límite Plástico	NTE-INEN 692 (Determinación de límite plástico)
Humedad Natural	NTE-INEN 690 (Determinar la humedad natural del suelo)
Gravedad específica	NTE-INEN 923 (Determinación de la densidad por el método del picnómetro)

2.4.2 Humedad Natural

Sondeo 1 - Muestra 1

Porcentaje de Humedad

$$\%W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

$$\%W = \frac{2,68}{13,90} \times 100 = 19,28$$

$$\%W = \frac{3,04}{12,58} \times 100 = 24,17$$

$$\%W = \frac{1,86}{13,02} \times 100 = 14,29$$

$$\%W = \frac{19,28 \times 24,17 \times 14,29}{3,00} = 19,24$$

Tabla 16.

Humedad Natural - Sondeo 1.

HUMEDAD NATURAL – SONDEO 1								
Nº mues- tra	Nº tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)		Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	16	21,58	18,9	5	2,68	13,9		19,24
	17	20,50	17,46	4,88	3,04	12,58		
	18	19,78	17,92	4,90	1,86	13,02		
Muestra 2	4	19,68	16,76	4,74	2,92	12,02		24,89
	5	20,84	17,72	5,12	3,12	12,60		
	6	16,92	14,44	4,76	2,48	9,68		
Muestra 3	7	17,66	15,42	4,80	2,24	10,62		24,73
	8	17,20	14,60	4,88	2,60	9,72		
	9	19,02	16,10	5,02	2,92	11,08		
Muestra 4	10	26,84	23,08	7,96	3,76	15,12		24,94
	11	20,46	17,34	5,02	3,12	12,32		
	12	18,80	16,12	5,24	2,68	10,88		
Muestra 5	13	19,64	16,90	5,08	2,74	11,82		23,98
	14	19,12	16,26	4,70	2,86	11,56		
	15	21,66	18,38	4,72	3,28	13,66		
Muestra 6	16	21,58	18,90	5,00	2,68	13,90		19,24
	17	20,50	17,46	4,88	3,04	12,58		
	18	19,78	17,92	4,90	1,86	13,02		

Tabla 17.

Humedad Natural - Sondeo 2.

HUMEDAD NATURAL - SONDEO 2								
Nº mues- tra	Nº tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)		Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	19	21,82	19,14	4,92	2,68	14,22		19,07
	20	24,84	21,64	5,24	3,20	16,4		
	21	24,7	21,58	5,04	3,12	16,54		

Muestra 2	22	19,3	16,26	4,98	3,04	11,28	27,11
	23	24,61	20,38	4,88	4,23	15,5	
	24	22,1	18,52	5,3	3,58	13,22	
Muestra 3	25	22,22	18,58	5,04	3,64	13,54	26,56
	26	22,5	18,78	4,92	3,72	13,86	
	27	22,46	18,92	5,28	3,54	13,64	
Muestra 4	28	22,52	19,06	4,76	3,46	14,3	25,83
	29	19,58	16,54	5,02	3,04	11,52	
	30	20,84	17,44	4,8	3,40	12,64	
Muestra 5	31	23,58	19,72	4,9	3,86	14,82	25,80
	32	31,26	26,46	7,52	4,80	18,94	
	33	30,46	25,72	7,5	4,74	18,22	
Muestra 6	34	27,92	24,34	5,22	3,58	19,12	17,58
	35	20,34	18,24	5,02	2,10	13,22	
	36	24,96	21,92	5,16	3,04	16,76	

Tabla 18.

Humedad Natural - Sondeo 3.

HUMEDAD NATURAL - SONDEO 3								
N° muestra	N° tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	37	30,86	27,38	8,08	3,48	19,30	18,03	17,79
	38	23,86	21,04	4,64	2,82	16,40	17,20	
	39	21,20	18,68	4,80	2,52	13,88	18,16	
Muestra 2	40	23,98	21,88	7,82	2,10	14,06	14,94	14,41
	41	29,22	26,34	7,22	2,88	19,12	15,06	
	42	30,86	28,14	7,56	2,72	20,58	13,22	
Muestra 3	43	15,98	15,48	5,12	0,50	10,36	4,83	6,88
	44	19,48	18,72	8,12	0,76	10,60	7,17	
	45	17,16	16,36	7,10	0,80	9,26	8,64	
Muestra 4	46	28,28	25,70	7,94	2,58	17,76	14,53	20,13
	47	25,36	22,20	8,96	3,16	13,24	23,87	
	48	32,06	27,94	9,20	4,12	18,74	21,99	

Muestra 5	49	36,64	30,84	9,06	5,80	21,78	26,63	26,19
	50	36,90	31,04	9,00	5,86	22,04	26,59	
	51	35,04	29,80	9,12	5,24	20,68	25,34	
Muestra 6	52	32,60	28,10	9,16	4,50	18,94	23,76	24,63
	53	32,98	28,34	9,38	4,64	18,96	24,47	
	54	36,86	31,12	8,74	5,74	22,38	25,65	

2.4.3 Límite Líquido

Sondeo 1 – Muestra 1

Porcentaje de Humedad

$$\%W = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en horno}} \times 100$$

$$\%W = \frac{4,28}{5,22} \times 100 = 81,99$$

$$\%W = \frac{4,84}{6,48} \times 100 = 74,69$$

$$\%W = \frac{4,86}{6,88} \times 100 = 70,64$$

PROMEDIO

$$\%W = \frac{81,99 + 74,69 + 70,64}{3,00} = 75,77$$

Figura 29.

Límite líquido.

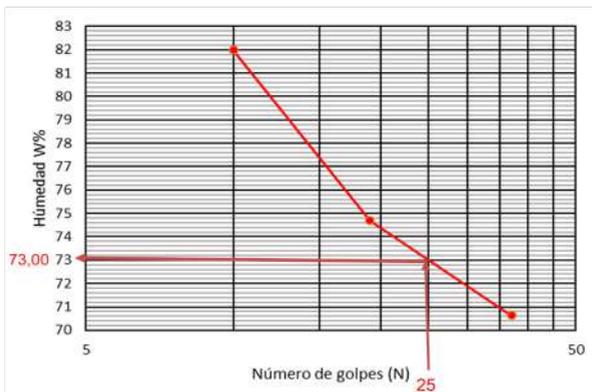


Tabla 19.

Límite Líquido - Sondeo 1.

LÍMITE LÍQUIDO - SONDEO 1									
Nº mues- tra	Nº tarro	Nº golpe	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)		Peso sue- lo seco (gr)	% w	% prom.
Muestra 1	9	10	14,52	10,24	5,02	4,28	5,22	81,99	xxxxxx
	10	19	19,32	14,48	8,00	4,84	6,48	74,69	
	11	37	16,78	11,92	5,04	4,86	6,88	70,64	
Muestra 2	1	15	13,24	9,40	4,58	3,84	4,82	79,67	xxxxxx
	2	24	12,16	9,06	4,88	3,10	4,18	74,16	
	3	39	13,40	10,00	4,96	3,40	5,04	67,46	
Muestra 3	37	10	17,88	13,44	8,10	4,44	5,34	83,15	xxxxxx
	38	24	14,49	10,28	4,64	4,21	5,64	74,65	
	39	37	12,70	9,38	4,80	3,32	4,58	72,49	
Muestra 4	43	8	15,80	11,64	5,12	4,16	6,52	63,80	xxxxxx
	44	20	19,58	15,48	8,10	4,10	7,38	55,56	
	45	40	15,38	12,56	7,12	2,82	5,44	51,84	
Muestra 5	51	9	19,24	15,12	9,12	4,12	6,00	68,67	xxxxxx
	52	17	18,34	14,68	9,16	3,66	5,52	66,30	
	53	30	17,80	14,52	9,40	3,28	5,12	64,06	
Muestra 6	21	9	13,18	9,80	5,08	3,38	4,72	71,61	xxxxxx
	22	16	14,50	10,66	5,00	3,84	5,66	67,84	
	23	28	13,22	9,92	4,94	3,30	4,98	66,27	

Tabla 20.

Límite Líquido - Sondeo 2.

LÍMITE LÍQUIDO - SONDEO 2									
Nº mues- tra	Nº tarro	Nº golpe	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	H	10	31,68	27,42	21,32	4,26	6,10	69,84	xxxxxx
	8	19	15,00	11,12	4,92	3,88	6,20	62,58	
	F	37	30,10	26,70	21,02	3,40	5,68	59,86	
Muestra 2	C	10	34,54	30,64	25,84	3,90	4,80	81,25	xxxxxx
	K2	18	37,72	33,72	28,00	4,00	5,72	69,93	
	K	28	39,26	34,78	28,00	4,48	6,78	66,08	
Muestra 3	51	9	21,36	16,62	9,10	4,74	7,52	63,03	xxxxxx
	52	19	18,12	14,78	9,14	3,34	5,64	59,22	
	53	36	17,70	14,76	9,38	2,94	5,38	54,65	
Muestra 4	46	9	16,50	12,38	7,90	4,12	4,48	91,96	xxxxxx
	47	19	18,72	14,26	8,94	4,46	5,32	83,83	
	48	39	20,48	15,66	9,20	4,82	6,46	74,61	
Muestra 5	14	9	11,94	8,30	4,82	3,64	3,48	104,60	xxxxxx
	12	20	12,40	9,04	5,26	3,36	3,78	88,89	
	7	29	14,14	9,82	4,70	4,32	5,12	84,38	
Muestra 6	Z	9	33,62	28,18	22,70	5,44	5,48	99,27	xxxxxx
	9 M7	19	29,64	25,86	21,52	3,78	4,34	87,10	
	N	38	29,22	25,98	21,68	3,24	4,30	75,35	

Tabla 21.

Límite Líquido - Sondeo 3.

LÍMITE LÍQUIDO - SONDEO 3									
N° muestra	N° tarro	N° golpe	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	10	11	16,56	12,44	7,98	4,12	4,46	92,38	xxxxxx
	9	21	12,96	9,28	5,00	3,68	4,28	85,98	
	8	34	14,04	9,94	4,88	4,10	5,06	81,03	
Muestra 2	1	10	13,96	10,22	4,56	3,74	5,66	66,08	xxxxxx
	2	20	13,92	10,52	4,88	3,40	5,64	60,28	
	3	32	13,62	10,46	4,96	3,16	5,50	57,45	
Muestra 3	21	9	14,64	10,80	5,02	3,84	5,78	66,44	xxxxxx
	H	19	31,72	27,86	21,30	3,86	6,56	58,84	
	27	34	15,82	12,04	5,28	3,78	6,76	55,92	
Muestra 4	26	11	16,68	11,08	4,94	5,60	6,14	91,21	xxxxxx
	62	24	12,82	9,24	4,96	3,58	4,28	83,64	
	63	39	14,62	10,40	5,04	4,22	5,36	78,73	
Muestra 5	25	13	12,88	9,32	5,04	3,56	4,28	83,18	xxxxxx
	30	23	17,22	11,78	4,80	5,44	6,98	77,94	
	59	34	16,66	11,80	5,10	4,86	6,70	72,54	
Muestra 6	28	9	15,66	10,68	4,76	4,98	5,92	84,12	xxxxxx
	29	20	16,08	11,30	5,00	4,78	6,30	75,87	
	31	34	14,24	10,36	4,86	3,88	5,50	70,55	

2.4.4 Límite Plástico

Sondeo 1 – Muestra 1

$$\text{Límite plástico}(\%W) = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado en horno}} \times 100$$

$$\text{Límite plástico}(\%W) = \frac{0,28}{1,10} \times 100 = 25,45$$

$$\text{Límite plástico}(\%W) = \frac{0,16}{0,64} \times 100 = 25,00$$

$$\text{Límite plástico}(\%W) = \frac{0,20}{0,78} \times 100 = 25,64$$

Promedio

$$\text{Límite plástico}(\%W) = \frac{25,45 + 25,00 + 25,64}{3}$$

$$\text{Límite plástico}(\%W) = 25,37\%$$

Tabla 22.

Límite Plástico - Sondeo 1.

LÍMITE PLÁSTICO - SONDEO 1								
N° mues- tra	N° tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	12	6,66	6,38	5,28	0,28	1,10	25,45	25,37
	13	5,88	5,72	5,08	0,16	0,64	25,00	
	14	5,70	5,50	4,72	0,20	0,78	25,64	
Muestra 2	4	5,86	5,62	4,76	0,24	0,86	27,91	27,39
	5	6,34	6,10	5,14	0,24	0,96	25,00	
	6	5,84	5,60	4,78	0,24	0,82	29,27	
Muestra 3	40	8,88	8,66	7,82	0,22	0,84	26,19	25,98
	41	8,34	8,14	7,22	0,20	0,92	21,74	
	42	8,60	8,36	7,56	0,24	0,80	30,00	
Muestra 4	46	8,74	8,58	7,92	0,16	0,66	24,24	24,83
	47	10,12	9,90	8,96	0,22	0,94	23,40	
	48	10,24	10,02	9,20	0,22	0,82	26,83	
Muestra 5	54	10,42	10,02	8,74	0,40	1,28	31,25	29,08
	55	10,60	10,28	9,30	0,32	0,98	32,65	
	56	5,94	5,80	5,20	0,14	0,60	23,33	
Muestra 6	4	22,38	22,16	21,40	0,22	0,76	28,95	28,40
	g	21,66	21,46	20,78	0,20	0,68	29,41	
	d	21,96	21,74	20,92	0,22	0,82	26,83	

Tabla 23.

Límite Plástico - Sondeo 2.

LÍMITE PLÁSTICO - SONDEO 2								
N° mues- tra	N° tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso suelo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	91	11,42	11,16	9,82	0,26	1,34	19,40	25,43
	A	22,18	21,86	20,66	0,32	1,20	26,67	
	H8R	13,70	13,44	12,58	0,26	0,86	30,23	

Muestra 2	56	6,76	6,46	5,20	0,30	1,26	23,81	25,73
	55	10,50	10,26	9,28	0,24	0,98	24,49	
	54	9,90	9,64	8,74	0,26	0,90	28,89	
Muestra 3	4	6,30	5,92	4,76	0,38	1,16	32,76	31,46
	6	6,20	5,84	4,78	0,36	1,06	33,96	
	41	8,42	8,16	7,22	0,26	0,94	27,66	
Muestra 4	5	6,96	6,52	5,12	0,44	1,40	31,43	35,17
	40	8,98	8,66	7,82	0,32	0,84	38,10	
	42	9,60	9,06	7,56	0,54	1,50	36,00	
Muestra 5	11	6,14	5,92	5,04	0,22	0,88	25,00	30,20
	13	6,52	6,18	5,08	0,34	1,10	30,91	
	45	8,44	8,10	7,12	0,34	0,98	34,69	
Muestra 6	R	24,14	23,80	22,74	0,34	1,06	32,08	33,99
	V	23,28	22,88	21,84	0,40	1,04	38,46	
	S	23,78	23,56	22,86	0,22	0,70	31,43	

Tabla 24.

Límite Plástico - Sondeo 3.

LÍMITE PLÁSTICO - SONDEO 3								
Nº muestra	Nº tarro	Peso húmedo + tarro (gr)	Peso seco + tarro (gr)	Peso tarro (gr)	Peso agua (gr)	Peso sue-lo seco (gr)	% w	% promedio
Muestra 1	37	9,86	9,40	8,16	0,46	1,24	37,10	35,17
	38	6,20	5,80	4,66	0,40	1,14	35,09	
	39	6,00	5,72	4,88	0,28	0,84	33,33	
Muestra 2	23	6,62	6,24	4,90	0,38	1,34	28,36	30,22
	43	7,04	6,58	5,14	0,46	1,44	31,94	
	44	9,58	9,24	8,12	0,34	1,12	30,36	
Muestra 3	22	7,38	6,84	4,96	0,54	1,88	28,72	25,57
	61	6,58	6,24	4,78	0,34	1,46	23,29	
	24	7,32	6,92	5,30	0,40	1,62	24,69	
Muestra 4	91	11,48	11,06	9,84	0,42	1,22	34,43	32,44
	H8R	13,64	13,36	12,56	0,28	0,80	35,00	
	A	21,64	21,40	20,54	0,24	0,86	27,91	
Muestra 5	g	22,02	21,74	20,78	0,28	0,96	29,17	36,52
	4	22,90	22,46	21,38	0,44	1,08	40,74	
	D	22,50	22,04	20,88	0,46	1,16	39,66	
Muestra 6	F	22,48	22,10	21,02	0,38	1,08	35,19	33,54
	57	6,54	6,16	5,10	0,38	1,06	35,85	
	58	6,98	6,56	5,14	0,42	1,42	29,58	

2.4.5 Índice de plasticidad

Sondeo 1 – Muestra 1

$$LL = 73,00$$

$$LP = 25,37$$

$$\text{Índice de plasticidad} = LL - LP \text{ Índice de plasticidad} = 73,00 - 25,37 = 47,63$$

Tabla 25.

Índice de Plasticidad - Sondeo 1.

SONDEO 1		
Prof. (m)	Índice de Plasticidad	Plasticidad del suelo
0,55 - 1,00	47,63	Alta
1,55 - 2,00	46,11	Alta
2,55 - 3,00	48,22	Alta
3,55 - 4,00	29,57	Alta
4,55 - 5,00	35,62	Alta
5,55 - 6,00	38,10	Alta

Tabla 26.

Índice de Plasticidad - Sondeo 2.

SONDEO 2		
Prof. (m)	Índice de Plasticidad	Plasticidad del suelo
0,55 - 1,00	35,77	Alta
1,55 - 2,00	41,27	Alta
2,55 - 3,00	25,74	Alta
3,55 - 4,00	44,83	Alta
4,55 - 5,00	55,80	Alta
5,55 - 6,00	48,41	Alta

Tabla 27.

Índice de Plasticidad - Sondeo 3.

SONDEO 3		
Prof. (m)	Índice de Plasticidad	Plasticidad del suelo
0,55 - 1,00	48,83	Alta
1,55 - 2,00	28,78	Alta
2,55 - 3,00	31,93	Alta
3,55 - 4,00	50,56	Alta
4,55 - 5,00	40,48	Alta
5,55 - 6,00	40,06	Alta

2.4.6 Análisis granulométrico

Tabla 28.

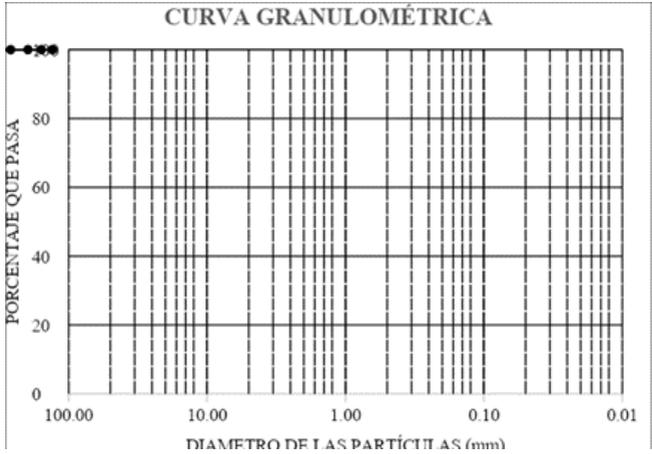
Granulometría - Muestra 1 - Sondeo 1.

Proyecto:		Estudio de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa		Coordenadas:		546450 9860702 255.023 m.s.n.m.	
Sondeo:	1	Muestra:	1				
Ubicación:		Sancán - sector 3		Profundidad:	0,55m - 1,00m		
Peso mues. Húmeda (gr):		101					
Tamiz N°	Diámetro (mm)	Peso retenido parcial (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	% retenido parcial	%pasa		
3"	76,20	0	0	0,00	100,00		
2.1/2"	63,50	0	0	0,00	100,00		
2"	50,80	0	0	0,00	100,00		
1.1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00		
1"	25,40	0	0	0,00	100,00		
3/4"	19,10	0	0	0,00	100,00		
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00		
3/8"	9,52	0	0	0,00	100,00		
N°4	4,76	0	0	0,00	100,00		
10	2,00	0,04	0,04	0,05	99,95		
40	0,42	0,4	0,44	0,49	99,46		
100	0,149	1,06	1,5	1,29	98,17		

200	0,074	2,74	4,24	3,35	94,82
PASA #200		77,63	81,87392341	94,82	0
SUMAN M. SECA		81,87		100,00	

Figura 30.

Granulometría - Sondeo 1 Muestra 1.



La muestra 1 del sondeo 1 no presentó D10, D30, D60 en la curva granulométrica.

2.4.6.1 Clasificación de suelos (Sistema ASTM)

1.- Porcentaje de suelo que pasa el tamiz N° 200 = 94,82%

Porcentaje de gruesos retenido hasta el tamiz N°200= 100-94,82=5,18<50%

Se trata de suelo de **grano fino**.

2.- Límite líquido = 73,00%>50%

El límite indica que se trata de **Limos y Arcillas**

3.- En el gráfico de plasticidad, relacionar posición con respecto al LL e IP

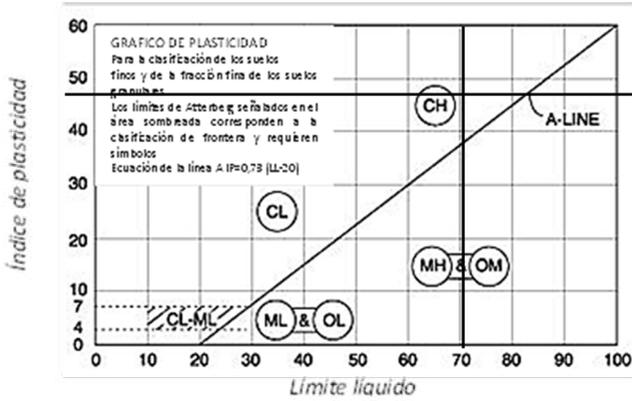
LL= 73,00%

LP= 25,37%

IP=47,63%

Figura 31.

Carta de Plasticidad.



4.- El resultado del tipo de suelo según ASTM es: **CH=Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad.**

5.- Características generales de los suelos.

Tabla 29.

Características generales del suelo - Sondeo 1 Muestra 1.

Clasificación	Símbolo	Módulo de reacción k (MN/m²)	Sensibilidad a la helada	Valor como la explorada	Capacidad de drenaje	C.B.R	d_{max} P.Mod. (kg/dm³)	Compresibilidad de hinchamiento
Limos y arcillas	CH	10-40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4-1,9	Altos

6. - Suelos colapsable según Priklonski

$$KD = \frac{(w - LP)}{IP} \quad KD = \frac{19,24 - 24,37}{47,63} = KD = -0.10$$

Tabla 30.

Tipo de suelo según Priklonski.

KD	Suelo
< 0	Altamente colapsable
< 0,5	Poco colapsable
< 1	No colapsable
> 1	Expansivo

Nota. Adaptado de Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, por Das & León, 2016, Cengage Learning, México, DF.

$$KD < 0$$

Es un suelo **altamente colapsable**

2.4.6.2 Clasificación de suelo y suelo colapsable según Prikлонski.

Tabla 31.

Clasificación del Suelo - Sondeo 1.

SONDEO 1	Grano de suelo	Tipo de suelo	Suelo según coeficiente de hundimiento	Clasificación ASTM	
Muestra 1	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 2	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 3	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 4	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 5	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 6	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad

Tabla 32.

Clasificación del Suelo - Sondeo 2.

SONDEO 2	Grano de suelo	Tipo de suelo	Suelo según coeficiente de hundimiento	Clasificación ASTM	
Muestra 1	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 2	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	CH	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad
Muestra 3	Grano fino	Limos y arcillas	Suelo colapsable	MH & OM	Limos inorgánicos, arenas finas o limos micáceos de diatómicos, limos elásticos / Arcillas orgánicas de plasticidad alta o media

1	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
2	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
3	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
4	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
5	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
6	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos

Tabla 35.

Características Generales - Sondeo 2.

SONDEO 2									
Muestra	Clasificación	Símbolo	Módulo de reacción k (MN/m ³)	Sensibilidad a la helada	Valor como la explanada	Capacidad de drenaje	C.B.R.	dmaxP. Mod. (kg/dm ³)	Compresibilidad e hinchamiento
1	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
2	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
3	Limos y arcillas	MH - OH	10 - 20	Media a muy alta	Malo	Aceptable a mala	≤10	1,3 - 1,7	Altos
			5 - 20	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤5	1,3 - 1,8	Altos
4	Limos y arcillas	MH - OH	10 - 20	Media a muy alta	Malo	Aceptable a mala	≤10	1,3 - 1,7	Altos
			5 - 20	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤5	1,3 - 1,8	Altos
5	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
6	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos

Tabla 36.

Características Generales - Sondeo 3.

SONDEO 3									
Muestra	Clasificación	Símbolo	Módulo de reacción k (MN/m ³)	Sensibilidad a la helada	Valor como la explanada	Capacidad de drenaje	C.B.R.	dmaxP. Mod. (kg/dm ³)	Compresibilidad e hinchamiento
1	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos

2	Limos y arcillas	MH - OH	10 - 20	Media a muy alta	Malo	Aceptable a mala	≤10	1,3 - 1,7	Altos
			5 - 20	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤5	1,3 - 1,8	Altos
3	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
4	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
5	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos
6	Limos y arcillas	CH	10 - 40	Media	Malo a aceptable	Impermeable	≤15	1,4 - 1,9	Altos

2.4.7 Gravedad Específica

Sondeo 1 – Muestra 1 (Prof. 0,55m – 1,55m)

Tabla 37.

Datos para obtención de gravedad específica - Sondeo 1 - Muestra 1.

IDENTIFICACIÓN DE MATRAZ		A
Capacidad del matraz (nominal)	(laboratorio)	500 cm ³
Peso del matraz limpio y seco...Wm	(laboratorio)	153,08 gr
Peso matraz + aguaWmw	(laboratorio)	650 gr
Temperatura del agua ... T		28 °C
		0,9963 gr/cm ³
Peso del suelo seco (Horno)	(laboratorio)	99 gr
Peso matraz+ suelo seco.. Wms	(laboratorio)	250,25 gr
Peso matraz + suelo + agua...Wmsw	(laboratorio)	700,72 gr
Peso suelo seco (matraz)... Ws	(Cálculo)	97,17 gr
Temperatura del agua ... T		20 °C
		0,9982 gr/cm ³
		2,09
	Gs	2,09

2.4.7.1 Resumen de gravedad específica

Tabla 38.

Gravedad Específica - Sondeo 1.

Sondeo 1		
Muestra	Prof. (m)	Gravedad Especifica
1	0,55 - 1,00	2,09
2	1,55 - 2,00	2,07
3	2,55 - 3,00	2,09
4	3,55 - 4,00	2,09
5	4,55 - 5,00	2,09
6	5,55 - 6,00	2,10

Tabla 39.

Gravedad Específica - Sondeo 2.

Sondeo 2		
Muestra	Prof. (m)	Gravedad Especifica
1	0,55 - 1,00	2,14
2	1,55 - 2,00	2,08
3	2,55 - 3,00	2,23
4	3,55 - 4,00	2,12
5	4,55 - 5,00	2,22
6	5,55 - 6,00	2,00

Tabla 40.

Gravedad Específica - Sondeo 3.

Sondeo 3		
Muestra	Prof. (m)	Gravedad Especifica
1	0,55 - 1,00	1,98
2	1,55 - 2,00	2,13
3	2,55 - 3,00	2,17
4	3,55 - 4,00	2,10
5	4,55 - 5,00	2,05
6	5,55 - 6,00	2,15

2.4.8 Número de golpes corregidos

$$N_{corr} = N_{campo} \times n1 \times n1 \times n3 \times n4$$

N1 = factor de corrección por energía del martillo = 1,00

N2 = factor de corrección por longitud de la varilla = 0,75

N3 = factor de corrección por resistencia interna de la toma muestras = 1,00

N4 = factor de corrección por diámetro de la perforación = 1,00 (Marcillo Castro, 2017).

Sondeo 1 – Muestra 1 (0,55m – 1,55m)

$$N_{corr} = 9 \times 1,00 \times 0,75 \times 1,00 \times 1,00 = 6,75$$

Tabla 41.

Número de golpes corregido - Sondeo 1.

Sondeo 1						
Muestra	N _{campo} (N2+N3 SPT)	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N _{Corregido}
1	9	1	0,75	1	1	6,75
2	23	1	0,75	1	1	17,25
3	18	1	0,75	1	1	13,50
4	19	1	0,75	1	1	14,25
5	20	1	0,75	1	1	15,00
6	33	1	0,75	1	1	24,75

Tabla 42.

Número de golpes corregido - Sondeo 2.

Sondeo 2						
Muestra	N _{campo} (N2+N3 SPT)	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N _{Corregido}
1	8	1	0,75	1	1	6,00
2	17	1	0,75	1	1	12,75
3	25	1	0,75	1	1	18,75
4	22	1	0,75	1	1	16,50
5	25	1	0,75	1	1	18,75
6	34	1	0,75	1	1	25,50

Tabla 43.

Número de golpes corregido - Sondeo 3.

Sondeo 3						
Muestra	N _{campo} (N2+N3 SPT)	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N _{Corregido}
1	17	1	0,75	1	1	12,75
2	25	1	0,75	1	1	18,75
3	30	1	0,75	1	1	22,50
4	40	1	0,75	1	1	30,00
5	41	1	0,75	1	1	30,75
6	40	1	0,75	1	1	30,00

2.4.9 Capacidad de carga de suelos

Capacidad de carga de suelos según Bowles:

Tabla 44.

Datos para capacidad de carga - Sondeo 1 - Muestra 1.

Sondeo 1 – Muestra 1	
N _{corregido}	6,75
F _d	1,33
Se	25
q _{adm}	$\frac{Tn}{m^2}$
	16,93

Para **B ≤ 1,22**

$$F_d = 1 + 0,33 \left(\frac{Df}{B} \right) \leq 1,33$$

$$F_d = 1 + 0,33 \left(\frac{1,22}{1,22} \right) \leq 1,33 = 1,33$$

$$q_{adm} \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 19,16 N_{corr} F_d \left(\frac{Se}{25,4} \right) q_{adm} \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 19,16 \times 6,75 \times 1,33 \left(\frac{25}{25,4} \right) q_{adm} \left(\frac{KN}{m^2} \right) = 169,30 \frac{KN}{m^2}$$

Considerando el factor de seguridad de 3, el Q_{adm} final será:

$$Q_{admisible} = 56,43 \frac{KN}{m^2} Q_{admisible} = 5,64 \frac{Ton}{m^2}$$

Tabla 45.

Capacidad de carga de Suelos - Sondeo 1.

Sondeo 1					
Muestra	N corregido	Fd	Se	$Q_{admisible} \frac{KN}{m^2}$	$Q_{admisible} \frac{Tn}{m^2}$
1	6,75	1,33	25	56,43	5,64
2	17,25	1,33	25	144,22	14,42
3	13,5	1,33	25	112,87	11,29
4	14,25	1,33	25	119,14	11,91
5	15,00	1,33	25	125,41	12,54
6	24,75	1,33	25	206,92	20,69

Tabla 46.

Capacidad de carga de suelos - Sondeo 2.

Sondeo 2					
Muestra	N corregido	Fd	Se	$Q_{admisible} \frac{KN}{m^2}$	$Q_{admisible} \frac{Tn}{m^2}$
1	6,00	1,33	25	50,16	5,02
2	12,75	1,33	25	106,60	10,66
3	18,75	1,33	25	156,76	15,68
4	16,50	1,33	25	137,95	13,79
5	18,75	1,33	25	156,76	15,68
6	25,50	1,33	25	213,19	21,32

Tabla 47.

Capacidad de carga de suelos - Sondeo 3.

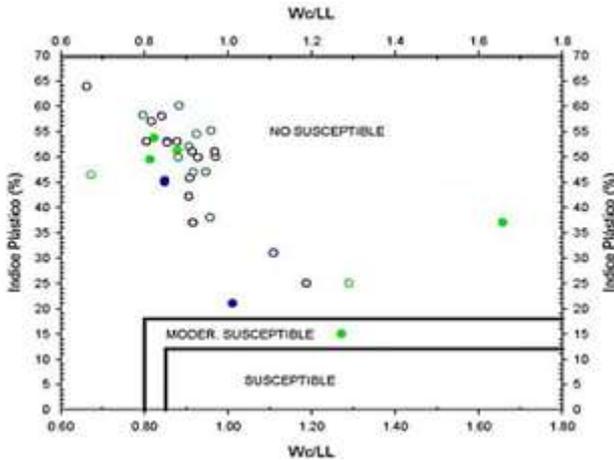
Sondeo 3					
Muestra	N corregido	Fd	Se	$Q_{\text{admisible}} \frac{KN}{m^2}$	$Q_{\text{admisible}} \frac{Tn}{m^2}$
1	12,75	1,33	25	106,60	10,66
2	18,75	1,33	25	156,76	15,68
3	22,50	1,33	25	188,11	18,81
4	30,00	1,33	25	250,81	25,08
5	30,75	1,33	25	257,09	25,71
6	30,00	1,33	25	250,81	25,08

2.4.10 Licuofacción del suelo

Utilizando el método de Bray & Sancio para la evaluación de susceptibilidad del suelo.

Figura 32.

Criterio de Susceptibilidad.



Nota. Adaptado de Identificación de las características físico-mecánicas del suelo, ciudadela Parrales Y Guale-Jipijapa, para cimentación de edificaciones

de categoría baja, por Marcillo Castro, 2017, Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Tabla 48.

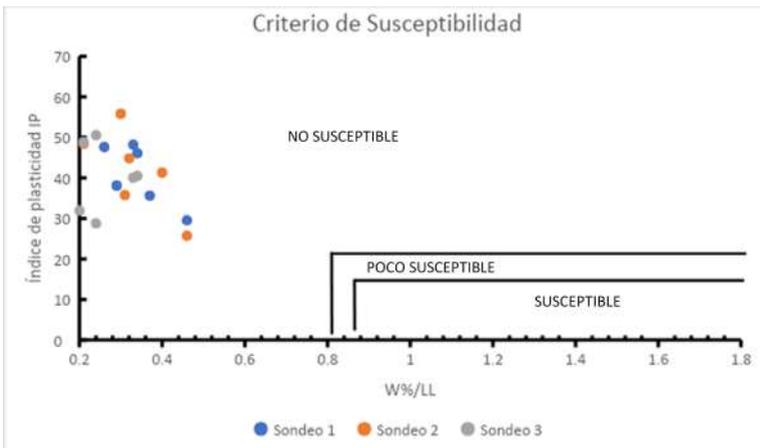
Datos de S1 - M1 (Licuefacción).

Sondeo 1 – Muestra 1	
W%	23,36
LL	73,00
LP	25,37
IP	47,63

$$\frac{W\%}{LL} = \frac{23,36}{73,00} = 0,32$$

Figura 33.

Criterio de susceptibilidad S1-S2-S3.



2.4.10.1 Resumen de licuefacción de suelo

Tabla 49.

Valores de criterio de susceptibilidad.

Sondeo 1		Sondeo 2		Sondeo 3	
%W/LL	IP	%W/LL	IP	%W/LL	IP
0,26	47,63	0,31	35,77	0,21	48,83
0,34	46,11	0,4	41,27	0,24	28,78
0,33	48,22	0,46	25,74	0,12	31,93
0,46	29,57	0,32	44,83	0,24	50,56
0,37	35,62	0,3	55,80	0,34	40,48
0,29	38,10	0,21	48,41	0,33	40,06

Tabla 50.

Resumen de susceptibilidad a licuefacción.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
Son- deo 1	No sus- ceptible	No susceptible				
Son- deo 2	No sus- ceptible	No susceptible				
Son- deo 3	No sus- ceptible	No susceptible				

2.4.11 Ángulo de fricción interna

Según Wolf (1989), para encontrar el Angulo de fricción interna se utiliza la siguiente formula:

$$\phi = 27,1 + 0,30 \times N_{cor} - 0.00054 \times (N_{cor})^2$$

N corregido (Sondeo 1 – Muestra 1) = 6,75

$$\phi = 27,1 + 0,30 \times 6,75 - 0.00054 \times (6,75)^2 \phi = 29,1^\circ$$

Tabla 51.

Tipo de suelo según ángulo de fricción interna.

Tipo de suelo	Ø (Grados)
Arena: Granos redondeados	
Suelta	27 - 30
Media	30 - 35
Densa	35 - 38
Arena: Granos angulares	
Suelta	30 - 35
Media	35 - 40
Densa	40 - 45
Gravas con algo de arena	34 - 48
Arcillas consolidadas	20 - 30
Limos	26 - 35

Nota. Adaptado de Principios de ingeniería de cimentaciones, por Das & de la Cera Alonso, 2001, International Thomson Editores.

Se obtiene un suelo tipo limo y arcillas

2.4.11.1 Resumen de grado de fricción interna

Tabla 52.

Grado de fricción interna - Sondeo 1.

Sondeo 1		
Muestra	N corregido	Ø (Grados)
1	6,75	29,10
2	17,25	32,11
3	13,5	31,05
4	14,25	31,27
5	15,00	31,48
6	24,75	34,19

Tabla 53.

Grado de fricción interna - Sondeo 2.

Sondeo 2		
Muestra	N corregido	Ø (Grados)
1	6,00	28,88
2	12,75	30,84
3	18,75	32,54
4	16,50	31,90
5	18,75	32,54
6	25,50	34,40

Tabla 54.

Grado de fricción interna - Sondeo 3.

Sondeo 3		
Muestra	N corregido	Ø (Grados)
1	12,75	30,84
2	18,75	32,54
3	22,50	33,58
4	30,00	35,61
5	30,75	35,81
6	30,00	35,61

2.4.12 Clasificación de los materiales UNE.

Sondeo 1 – Muestra 1

Limite liquido = 73,00 IP = 47,63 (0,73(LI-20)) = 38,69

LI < 90

OK – SUELO MARGINAL

Tabla 55.

Clasificación de materiales - Sondeo 1 Muestra 1.

	Suelos Seleccionados	Suelos adecuados	Suelos tolerables	Suelos marginales
CBR	≥ 10%	≥ 5%	≥ 3%	< 5%
Contenido de materia orgánica	< 0,2%	< 1%	< 2%	
Contenido de aguas solubles en agua, incluido yeso	< 0,2%	< 0,2%		
Contenido en yeso			< 5%	
Contenido en otras sales solubles distintas del yeso			< 1%	
Tamaño máximo de las partículas	≤ 100 mm	≤ 100 mm		
Pasa tamiz 0,40 (UNE) #40 (ASTM)	≤ 15%			
	Caso contrario			
Pasa tamiz 2 (UNE) #10 (ASTM)	< 80%	< 80%		
Pasa tamiz 0,40 (UNE) #40 (ASTM)	< 75%			
Pasa tamiz 0,08 (UNE) #200 (ASTM)	< 25%	< 35%		
Límite líquido	LL < 30	LI ≤ 30 o Cuando 30 < LI ≤ 40 IP > 4	LI ≤ 40 o Cuando 40 < LI ≤ 65 e IP > 0,73 (LI-20)	LI < 90 o LI ≥ 90 e IP < 0,73 (LL-20)
Índice de plasticidad	< 10%			
Asiento			< 1%	
Hinchamiento			< 3%	< 5%

Suelos Inadecuados

- Los que no se puedan incluir en las categorías anteriores.
- Las turbas y otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos tales como tocones, ramas, etc.

Tabla 56.

Clasificación de materiales - Sondeo 1.

Sondeo 1		
Muestra	Prof. (m)	Clasificación
1	0,55 - 1,00	Suelo marginal
2	1,55 - 2,00	Suelo marginal
3	2,55 - 3,00	Suelo marginal
4	3,55 - 4,00	Suelo marginal
5	4,55 - 5,00	Suelo marginal
6	5,55 - 6,00	Suelo marginal

Tabla 57.

Clasificación de materiales - Sondeo 2.

Sondeo 2		
Muestra	Prof. (m)	Clasificación
1	0,55 - 1,00	Suelo marginal
2	1,55 - 2,00	Suelo marginal
3	2,55 - 3,00	Suelo marginal
4	3,55 - 4,00	Suelo marginal
5	4,55 - 5,00	Suelo marginal
6	5,55 - 6,00	Suelo marginal

Tabla 58.

Clasificación de materiales - Sondeo 3.

Sondeo 3		
Muestra	Prof. (m)	Clasificación
1	0,55 - 1,00	Suelo marginal
2	1,55 - 2,00	Suelo marginal
3	2,55 - 3,00	Suelo marginal
4	3,55 - 4,00	Suelo marginal
5	4,55 - 5,00	Suelo marginal
6	5,55 - 6,00	Suelo marginal

2.4.13 Relaciones Volumétricas

El valor más común de la gravedad específica de los suelos es 2,65 y en los ensayos realizados se obtuvieron valores aproximados a 2,10 por lo que se realiza un ajuste a la densidad saturada propuesta por Hunt, de la siguiente manera $2,10/2,50=0,84$.

Tabla 59.

Propiedades comunes de los suelos arcillosos (Hunt, 1984).

Consistencia	N	Identificación manual	γ_{sat}^{sat} (gr/cm ³)	q_u (kg/cm ³)
Dura	> 30	Se marca difícilmente	> 2,0	> 4,0
Muy rígida	15-30	Se marca con la uña del pulgar	2,08 – 2,24	2,00 – 4,00
Rígida	8-15	Se marca con el pulgar	1,92 – 2,08	1,00 – 2,00
Media	4-8	Moldeable bajo presiones fuertes	1,76 – 1,92	0,50 – 1,00
Blanda	2-4	Moldeable bajo presiones débiles	1,60 – 1,76	0,25 – 0,50
Muy blanda	< 2	Se deshace entre los dedos	1,44 – 1,60	0 – 0,25

Nota. Adaptado de Manual de taludes, por Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1987, EPTISA.

Datos:

$$N_{SPT}=9$$

$$\gamma_{sat} = 1,94 \text{ gr/cm}^3$$

$$Gs = 2,09$$

$$\gamma_{sat(ajustada)} = (2,1/2,50) * 1,94 \text{ gr/m}^3 = 1,63 \text{ gr/cm}^3$$

$$\%w = 23,36\%$$

$$Ws = 2,09 \text{ gr}$$

$$Vs = 1 \text{ cm}^3$$

Densidad del solido

$$\gamma_s = Gs * \gamma_w \gamma_s = 2,09 \times 1,00 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \gamma_s = 2,09 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Peso del solido

$$W_s = \gamma_s * V_s W_s = 2,09 \frac{gr}{cm^3} \times 1,00 cm^3 W_s = 2,09 gr$$

Peso húmedo

$$W_h = W_s \left(1 + \frac{w\%}{100} \right) W_h = 2,09 gr \left(1 + \frac{23,36}{100} \right) W_h = 2,58 gr$$

Peso del agua

$$W_w = W_h - W_s W_w = 2,58 gr - 2,09 gr W_w = 0,49 gr$$

Relación de vacíos

$$e = \frac{G_s - \gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - 1} e = \frac{2,09 - 1,63 \frac{gr}{cm^3}}{1,63 \frac{gr}{cm^3} - 1} e = 0,73$$

Volumen de vacíos

$$V_v = e \times V_s V_v = 0,73 \times 1 cm^3 V_v = 0,73 cm^3$$

Volumen del agua

$$V_w = W_w \times \gamma_w V_w = 0,49 gr \times 1 \frac{gr}{cm^3} V_w = 0,49 cm^3$$

Volumen del aire

$$V_a = V_v - V_w V_a = 0,73 cm^3 - 0,49 cm^3 V_a = 0,24 cm^3$$

Volumen total

$$V_t = V_v + V_s V_t = 0,73 cm^3 + 1 cm^3 V_t = 1,73 cm^3$$

Densidad Seca

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \gamma_d = \frac{2,09 gr}{1,73 cm^3} \gamma_d = 1,21 \frac{gr}{cm^3}$$

Densidad Húmeda

$$\gamma_h = \frac{W_h}{V_T} \gamma_h = \frac{2,58 gr}{1,73 cm^3} \gamma_h = 1,49 \frac{gr}{cm^3}$$

Tabla 60.

Resumen de relaciones volumétricas.

RELACIONES VOLUMÉTRICAS - SONDEO 1																
Muestra	Prof (mt)	Ysat (gr/cm3)	e	Wa (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wh (gr)	Va (cm3)	Vw (cm3)	Vs (cm3)	Vv (cm3)	Vt (cm3)	Ys (gr/cm3)	Yw (gr/cm3)	Yd (gr/cm3)	Yh (gr/cm3)
1	0,55 - 1,00	1,629		0	0,49	2,09	2,58	0,24	0,49	1	0,73	1,73	2,09	1,00	1,21	1,49
2	1,55 - 2,00	1,689		0	0,52	2,07	2,59	0,03	0,52	1	0,55	1,55	2,07	1,00	1,34	1,67
3	2,55 - 3,00	1,688		0	0,52	2,09	2,61	0,06	0,52	1	0,58	1,58	2,09	1,00	1,32	1,65
4	3,55 - 4,00	1,696		0	0,52	2,09	2,61	0,05	0,52	1	0,57	1,57	2,09	1,00	1,33	1,66
5	4,55 - 5,00	1,704		0	0,5	2,09	2,59	0,05	0,5	1	0,55	1,55	2,09	1,00	1,35	1,67
6	5,55 - 6,00	1,776		0	0,4	2,1	2,5	0,02	0,4	1	0,42	1,42	2,10	1,00	1,48	1,76
RELACIONES VOLUMÉTRICAS - SONDEO 2																
1	0,55 - 1,00	1,536		0	0,41	2,14	2,55	0,72	0,41	1	1,13	2,13	2,14	1,00	1	1,2
2	1,55 - 2,00	1,68		0	0,56	2,08	2,64	0,03	0,56	1	0,59	1,59	2,08	1,00	1,31	1,66
3	2,55 - 3,00	1,752		0	0,59	2,23	2,82	0,05	0,59	1	0,64	1,64	2,23	1,00	1,36	1,72
4	3,55 - 4,00	1,72		0	0,55	2,12	2,67	0,01	0,55	1	0,56	1,56	2,12	1,00	1,36	1,71
5	4,55 - 5,00	1,752		0	0,57	2,22	2,79	0,05	0,57	1	0,62	1,62	2,22	1,00	1,37	1,72
6	5,55 - 6,00	1,62		0	0,35	2	2,35	0,26	0,35	1	0,61	1,61	2,00	1,00	1,24	1,46
RELACIONES VOLUMÉTRICAS - SONDEO 3																
Muestra	Prof (mt)	Ysat (gr/cm3)	e	Wa (gr)	Ww (gr)	Ws (gr)	Wh (gr)	Va (cm3)	Vw (cm3)	Vs (cm3)	Vv (cm3)	Vt (cm3)	Ys (gr/cm3)	Yw (gr/cm3)	Yd (gr/cm3)	Yh (gr/cm3)
1	0,55 - 1,00	1,68		0	0,35	1,98	2,33	0,09	0,35	1	0,44	1,44	1,98	1,00	1,38	1,62
2	1,55 - 2,00	1,752		0	0,31	2,13	2,44	0,19	0,31	1	0,5	1,5	2,13	1,00	1,42	1,63
3	2,55 - 3,00	1,792		0	0,15	2,17	2,32	0,33	0,15	1	0,48	1,48	2,17	1,00	1,47	1,57
4	3,55 - 4,00	1,664		0	0,42	2,1	2,52	0,24	0,42	1	0,66	1,66	2,10	1,00	1,27	1,52
5	4,55 - 5,00	1,665		0	0,54	2,05	2,59	0,04	0,54	1	0,58	1,58	2,05	1,00	1,3	1,64
6	5,55 - 6,00	1,664		0	0,53	2,15	2,68	0,2	0,53	1	0,73	1,73	2,15	1,00	1,24	1,55

Figura 34.

Ensayo de casa grande.



Figura 35.

Recolección de datos.



2.5 Descripción de resultados

2.5.2 Resumen de relaciones volumétricas

Tabla 61.

Resumen de Sondeo 1.

Muestra	Prof. (m)	Color	SPT (N2+N3) SPT (N Corr.)	Gráfico	SONDEO 1														
					Límites de atterberg				Gravedad específica	Clasificación de suelos ASTM	Compresibilidad de suelo	Fricción Interna (q) q admisible (T/m2)	Criterio de susceptibilidad	Clasificación de materiales	Densidad Sumergida (γ' _s)	Densidad Seca (γ _d)	Densidad Humeda (γ _h)		
					%w	LL	LP	IP											
1	0,55 - 1,00		9	6,75		23,36	73,00	25,37	47,63	2,09	CH	Muy Colapsable	29,10	5,64	No susceptible	Suelo Marginal	0,63	1,21	1,49
2	1,55 - 2,00		23	17,25		24,89	73,50	27,39	46,11	2,07	CH	Muy Colapsable	32,11	14,42	No susceptible	Suelo Marginal	0,69	1,34	1,67
3	2,55 - 3,00		18	13,5		24,73	74,20	25,98	48,22	2,09	CH	Muy Colapsable	31,05	11,29	No susceptible	Suelo Marginal	0,69	1,32	1,65
4	3,55 - 4,00		19	14,25		24,91	54,40	24,83	29,57	2,09	CH	Muy Colapsable	31,27	11,91	No susceptible	Suelo Marginal	0,7	1,33	1,66
5	4,55 - 5,00		20	15		23,98	64,70	29,08	35,62	2,09	CH	Muy Colapsable	31,48	12,54	No susceptible	Suelo Marginal	0,7	1,35	1,67
6	5,55 - 6,00		33	24,75		19,24	66,50	28,40	38,10	2,10	CH	No es colapsable	34,19	20,69	No susceptible	Suelo Marginal	0,78	1,48	1,76

Tabla 62.

Resumen de Sondeo 2.

Muestra	Prof. (m)	Color	SPT (N2+N3) SPT (N Corr.)	Gráfico	SONDEO 2														
					Límites de atterberg				Gravedad específica	Clasificación de suelos ASTM	Compresibilidad de suelo	Fricción Interna (q) q admisible (T/m2)	Criterio de susceptibilidad	Clasificación de materiales	Densidad Sumergida (γ' _s)	Densidad Seca (γ _d)	Densidad Humeda (γ _h)		
					%w	LL	LP	IP											
1	0,55 - 1,00		8	6		19,07	61,20	25,43	35,77	2,14	CH	Muy Colapsable	28,88	5,02	No susceptible	Suelo Marginal	0,54	1	1,2
2	1,55 - 2,00		17	12,75		27,11	67,00	25,73	41,27	2,08	CH	Poco Colapsable	30,84	10,66	No susceptible	Suelo Marginal	0,68	1,31	1,66
3	2,55 - 3,00		25	18,75		26,56	57,20	31,46	25,74	2,23	MH & OH	Muy Colapsable	32,54	15,68	No susceptible	Suelo Marginal	0,75	1,36	1,72
4	3,55 - 4,00		22	16,5		25,83	80,00	35,17	44,83	2,12	MH & OH	Muy Colapsable	31,90	13,79	No susceptible	Suelo Marginal	0,72	1,36	1,71
5	4,55 - 5,00		25	18,75		25,80	86,00	30,20	55,80	2,22	CH	Muy Colapsable	32,54	15,68	No susceptible	Suelo Marginal	0,75	1,37	1,72
6	5,55 - 6,00		34	25,5		17,58	82,40	33,99	48,41	2,00	CH	Muy Colapsable	34,40	21,32	No susceptible	Suelo Marginal	0,62	1,24	1,46

Tabla 63.

Resumen de Sondeo 3.

Muestra	Prof. (m)	Color	SPT (N ₆₀ -SD)	SPT (N Corr.)	Gráfico	SONDEO 3														
						Límites de atterberg				Gravedad específica	Clasificación de suelos	ASTM	Compresibilidad de suelo	Fricción Interna (φ)	q admisible (T _u m ²)	Criterio de susceptibilidad	Clasificación de materiales	Densidad Saturada (γ _s)	Densidad Seca (γ _d)	Densidad Humeda (γ _h)
						%W	LL	LP	IP											
1	0,55 - 1,00		17	12,75		17,79	84,00	35,17	48,83	1,98	CH	Muy Colapsable	30,84	10,66	No susceptible	Suelo Marginal	0,68	1,38	1,62	
2	1,55 - 2,00		25	18,75		14,41	59,00	30,22	28,78	2,13	MH & OH	Muy Colapsable	32,54	15,68	No susceptible	Suelo Marginal	0,75	1,42	1,63	
3	2,55 - 3,00		30	22,5		6,88	57,50	25,57	31,93	2,17	CH	Muy Colapsable	33,58	18,81	No susceptible	Suelo Marginal	0,79	1,47	1,57	
4	3,55 - 4,00		40	30		20,13	83,00	32,44	50,56	2,10	CH	Muy Colapsable	35,61	25,08	No susceptible	Suelo Marginal	0,66	1,27	1,52	
5	4,55 - 5,00		41	30,75		26,19	77,00	36,52	40,48	2,05	CH	Muy Colapsable	35,81	25,71	No susceptible	Suelo Marginal	0,67	1,3	1,64	
6	5,55 - 6,00		40	30		24,63	73,60	33,54	40,06	2,15	CH	Muy Colapsable	35,61	25,08	No susceptible	Suelo Marginal	0,66	1,24	1,55	

2.5.3 Perfiles Estratigráficos

Figura 36.

Perfil Estratigráfico – Tipo de Suelo ASTM.

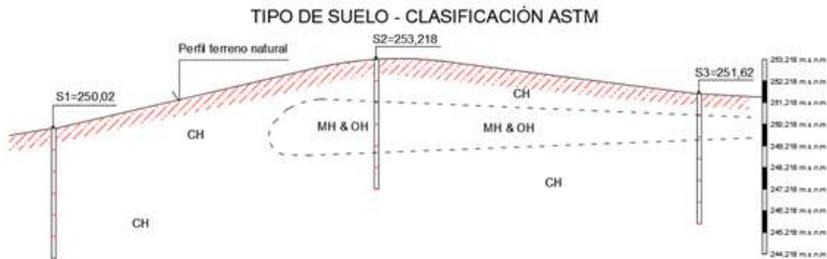


Figura 37.

Perfil Estratigráfico - Clasificación de suelos UNE.



Figura 38.

Perfil Estratigráfico – Capacidad de carga del suelo.



Los valores de densidad saturadas obtenidos de la tabla “Propiedades comunes de los suelos arcillosos” de Hunt, considera valores de Gravedad Especifica que se encuentran alrededor de 2,60 y 3,10 que son los que normalmente se encuentran en los suelos. En el sector 3 del sitio Sancán, la gravedad específica promedio encontrada es de 2,10, siendo así la relación $2,10/2,60=0,84$, por esta razón, a los valores de la tabla de Hunt, se los afectara por el 80%.

Los métodos existentes para evaluar suelos utilizados como cimentación de obras civiles son muy útiles, fáciles de aplicar y garantizan resultados confiables, en el desarrollo del trabajo de campo se pudo observar la presencia de suelos con ciertos matices cristalinos y de color blanquecino, lo que muestra suelos de bajo valor de gravedad específica. Realizados los ensayos de suelos en el laboratorio se pudo determinar que los suelos en el sector 3 del sitio Sancán son aptos para ser utilizados en la cimentación de obras civiles solo si se estabilizan con cal o cemento, la información obtenida con el SPT permitió redactar información útil y necesaria que facilitará tomar decisiones respecto al uso de suelos que se dará al sector 3 del sitio Sancán.

Es importante capacitar a la comunidad para que previa a la construcción de una obra civil busquen asesoramiento profesional que les garantice una interacción suelo estructura que sea adecuada, se debe recolectar la muestra obtenida del barreno mientras se realiza el ensayo SPT para contar con una muestra adicional en caso de que el porcentaje de recolección de la cuchara sea menor al 50%. Hay que tomar en consideración la Gravedad Especifica de los suelos para futuros cálculos, ya que el sector 3 del sitio Sancán cuenta con valores menores a los estandarizados, se debe utilizar de manera estricta sistemas y normas adecuadas para el análisis y clasificación del suelo, que permitan obtener resultados óptimos y apropiados.

Bibliografía

- Aguilar Collazo, R. D. (2012). *Pruebas de Campo en la Investigación Geotécnica* (pp. 1–12). GRIN.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2008). Sistema AASHTO M-145. In *Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes*.
- American Society for Testing and Materials. (2010). *Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (ASTM D2487)*.
- Arízaga Mora, J. D. (2014). *Análisis geotécnico de las causas por las cuales ocurrió el colapso de la losa de piso de la cancha del pabellón de comunidad terapéutica del Centro de Rehabilitación Social (CRS) Cuenca y solución técnica de la problemática* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/3632/1/10312.pdf>
- ASTM International. (2003). *Determinación de la gravedad específica del suelo mediante un picnómetro con agua*. ASTM, 1-4.
- ASTM International. (2010). *Prueba de penetración estándar - ASTM D 1586*.
- ASTM International. (2021). *Clasificación ASTM*. http://www.wikivia.org/wikivia/index.php?title=Clasificación_ASTM
- ASTM International. (2023). *Standard Test Methods for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)*. <https://www.astm.org/d6938-17ae01.html>
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2005). *Mecánica de suelos Tomo I*. Editorial Limusa.
- BOTÍA DIAZ, W. . (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo* [Universidad Militar Nueva Granada]. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL_DE_PROCEDIMIENTOS_DE_ENSAYOS_DE_SUELOS.pdf;jsessionid=-040D0E27B4C98DA3FC1555FAB245F66E?sequence=1
- Cárdenas, N. (2019). *¿Cuál es la importancia de realizar un “estudio de suelo” para construir?* <https://noticias.utpl.edu.ec/cual-es-la-importancia-de-realizar-un-estudio-de-suelo-para-construir>
- Covo Torres, Á. I. (2012). Teoría del ángulo de fricción interna bidimensional en arenas. *Revista Ciencias e Ingeniería Al Día*, 7(1).

- Das, B. M., & de la Cera Alonso, J. (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. International Thomson Editores.
- Das, B. M., & León, J. C. (2016). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Septima ed). Cengage Learning.
- Duque Escobar, G., & Escobar Potes, C. E. (2016). *Geomecánica* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57121>
- Eddyhrbs. (2010). *Fases del suelo*. <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/01/fases-del-suelo.html>
- Energy Glossary. (2024). *ígneo*. <https://glossary.slb.com/es/terms/i/igneous>
- Geotecnia fácil. (2024). *Ensayo Cono de Arena para determinación densidad In Situ*. <https://geotecniafacil.com/cono-de-arena-ensayo/>
- González, J. (2020). *La teoría del color Munsell para pintar el color de la piel*. <https://www.ttamayo.com/2020/01/munsell-el-color-de-la-piel/>
- Ingaramo, O. E., Paz Ferreiro, J., Mirás-Avalos, J. M., & Vidal Vázquez, E. (2007). Caracterización de las propiedades generales del suelo en una parcela experimental con distintos sistemas de laboreo. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña*, 32, 127–137.
- INIA Tacuarembó. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. INIA Tacuarembó. <http://inia.uy/Documentos/Públicos/INIA Tacuarembó/2015/El Suelo 20 de mayo.pdf>
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (1987). *Manual de taludes*. EPTISA.
- Marcillo Castro, K. L. (2017). *Identificación de las características físico-mecánicas del suelo, ciudadela Parrales Y Guale-Jipijapa, para cimentación de edificaciones de categoría baja* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/824>
- Martínez, A. R. (1999). *Dibujo de proyectos de obras civiles*. CDCH UCV.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación*.
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puente*.

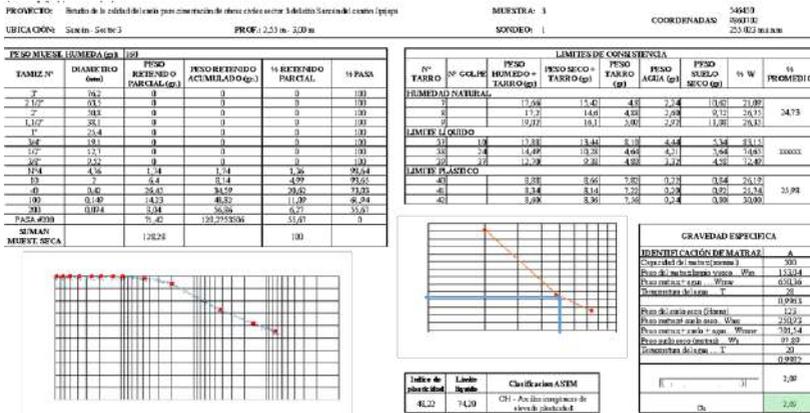
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos*. Ágora.
- Nieto, S. (2012). *Color del Suelo*. <https://prezi.com/-ihbctkpyqaaq/color-del-suelo/>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2014). *Geotecnia y cimentaciones. NEC-SE-CM*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CM.pdf>
- Orozco-Centeno, W. P., Branch Bedoya, J. W., & Jiménez-Builes, J. A. (2014). Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, *36*, 5–9.
- Page-Dumroese, D., Jurgensen, M., Elliot, W., Rice, T., Nesser, J., Collins, T., & Meurisse, R. (2000). Soil quality standards and guidelines for forest sustainability in northwestern North America. *Forest Ecology and Management*, *138*(1–3), 445–462. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00430-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00430-8)
- Paladino, N. (2013). *Tipos de obras civiles*. https://www.academia.edu/11858507/TIPOS_DE_OBRAS_CIVILES
- Pastor, J. L., Tomás, R., Cano, M., & Riquelme, A. J. (2018). Estudio comparativo del potencial de licuación de suelos usando las normas españolas y el Eurocódigo. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, *70*(3), 761–778. <https://doi.org/10.18268/BSGM2018v70n3a9>
- Rodríguez Ortiz, J. M. (1995). Reconocimiento del terreno y propiedades de los suelos. In J. M. Rodríguez Ortiz, S. Gesta, & C. O. Mazo (Eds.), *Curso aplicado de cimentaciones*. GRAFICINCO, S.A.
- Seguí, P. (2024). *Tipos de cimentación en edificios, características y 9 Guías imprescindibles de lesiones*. https://ovacen.com/cimentacion/#google_vignette
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (2005). Ensayo de Penetración Estándar - Inen 689. *Norma Técnica Ecuatoriana*, 1–11.
- Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN. (1982). *Mecánica de suelos. Determinación de Limite Plástico*. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 692.
- Suárez de Castro, F. (1956). *Conservación de suelos*. IICA Biblioteca.
- Tesen Muñoz, F. L. (2018). *Informe de límites y clasificación de suelos*. Universidad Señor de Sipán.

Yepes Piqueras, V. (2020). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Editorial Universitat Politècnica de València.

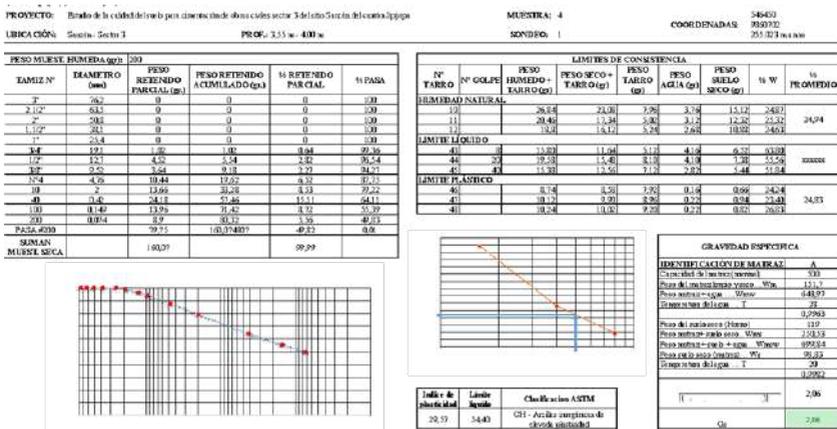
Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio **Sancán del cantón Jipijapa**

Anexos

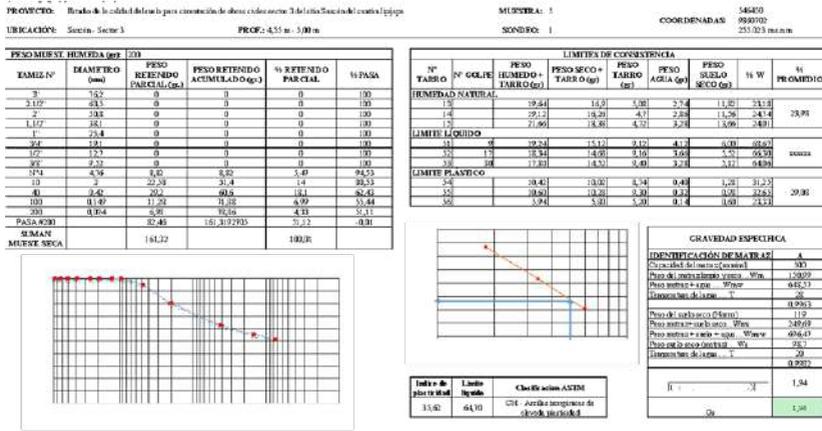




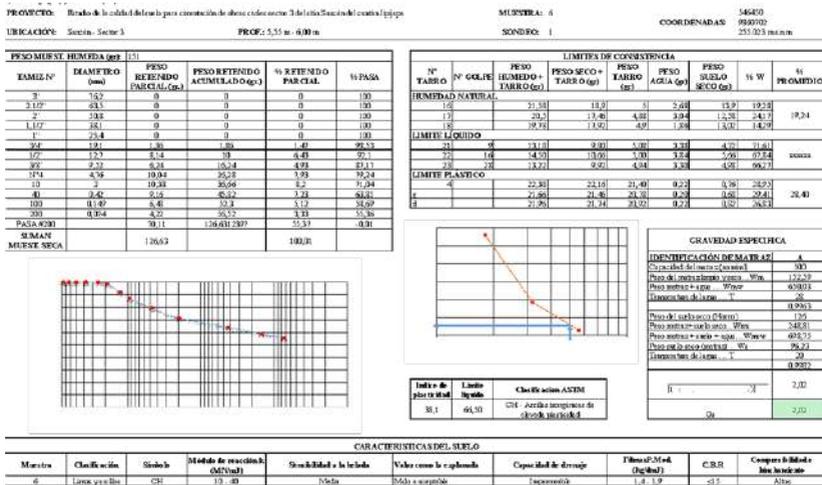
Anexo 3. Caracterización de muestras - S1M3.



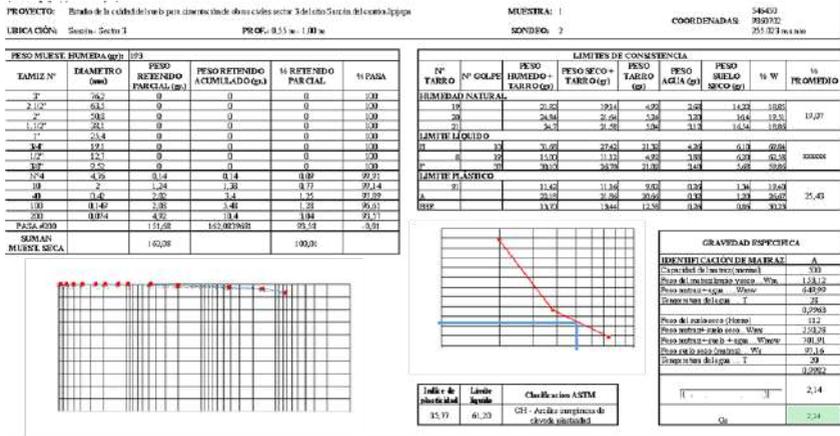
Anexo 4. Caracterización de muestras - S1M4.



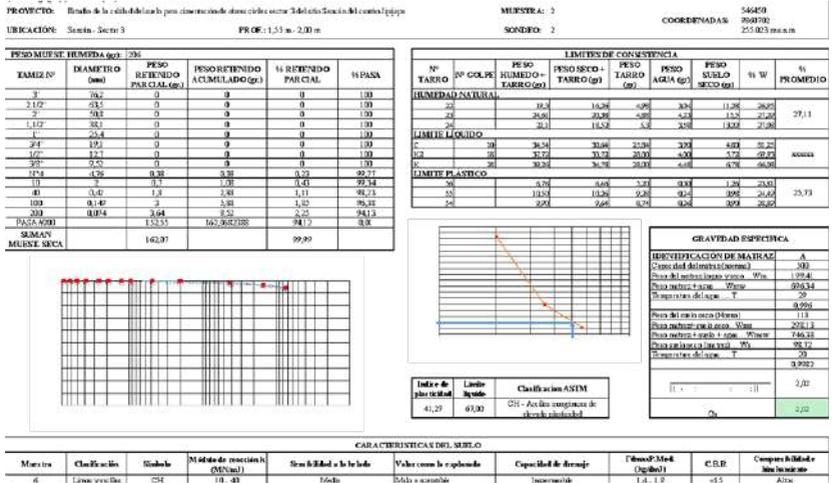
Anexo 5. Caracterización de muestras - S1M5.



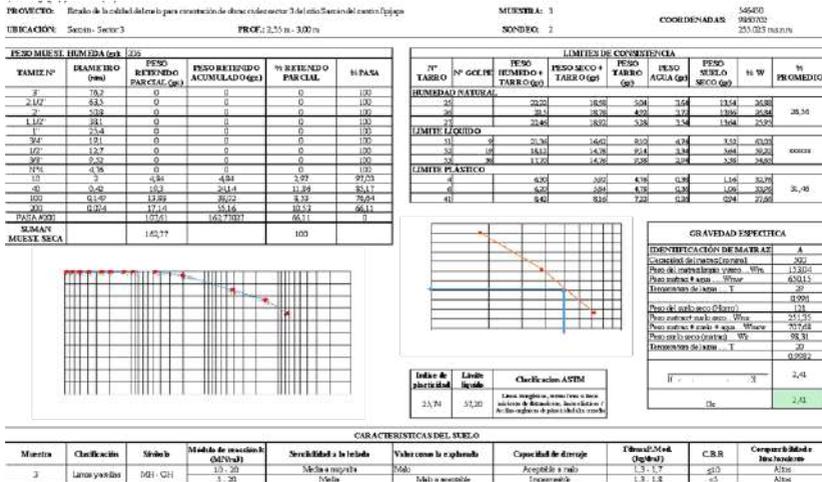
Anexo 6. Caracterización de muestras - S1M6.

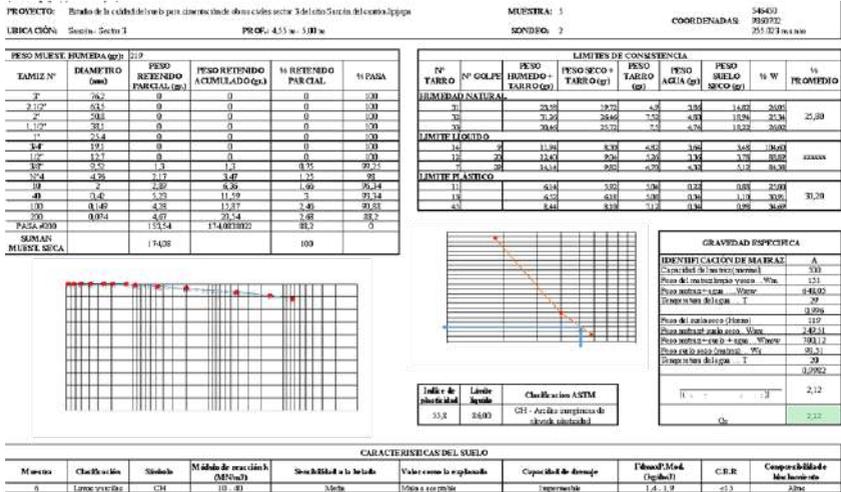


Anexo 7. Caracterización de muestras - S2M1.

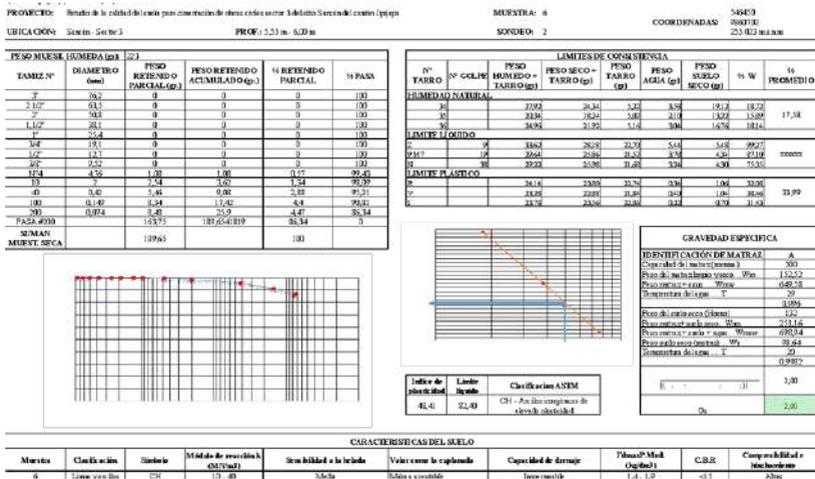


Anexo 8. Caracterización de muestras - S2M2.

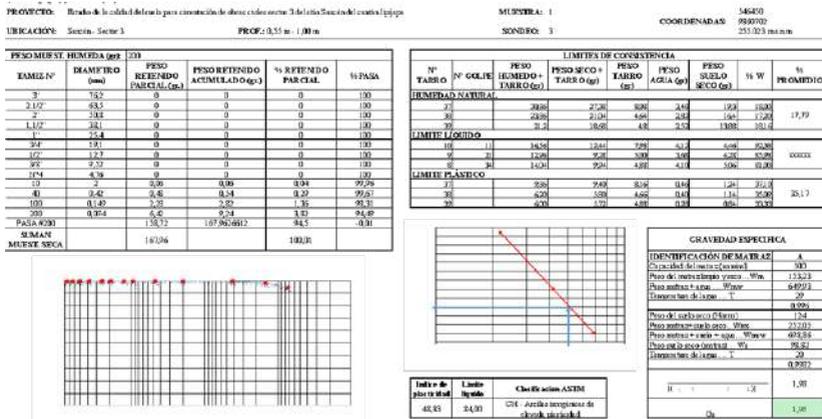




Anexo 11. Caracterización de muestras - S2M5.

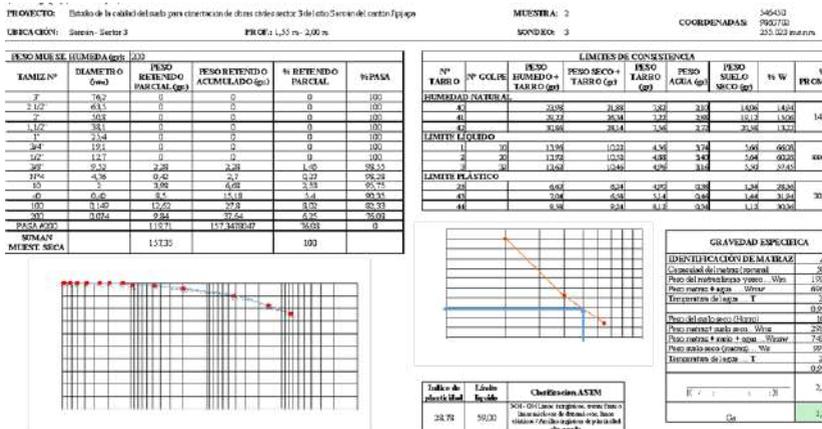


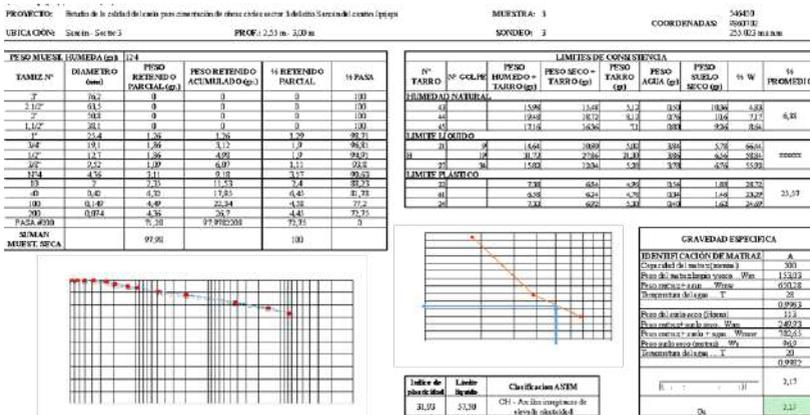
Anexo 12. Caracterización de muestras - S2M6.



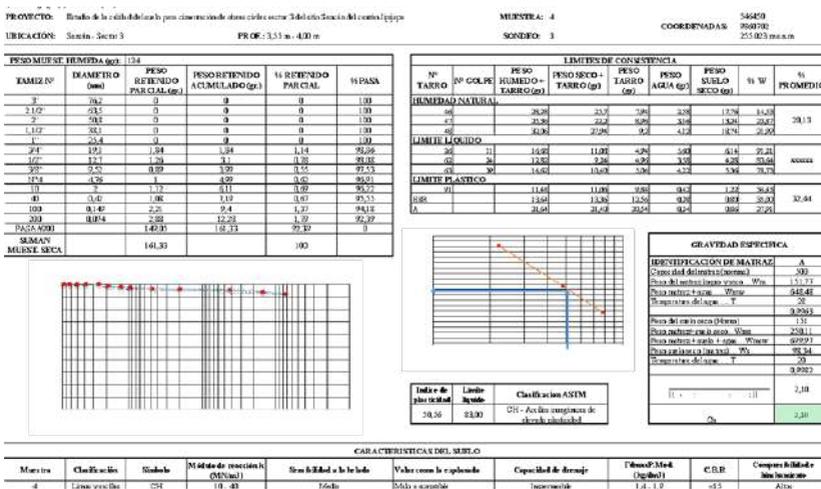
CARACTERÍSTICAS DEL SUELO									
Muestra	Clasificación	Simbolo	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Valor ceroso de expansión (MPa)	Capacidad de drenaje (impermeable)	Fibros (Med. Orgánica) (L. 1, 1, 9)	C.B.R. <1	Congruencia de bloques de base
1	Limos y arcillas	CH	13 - 40	Mucha a ninguna	Mucha a ninguna	Impermeable	1, 1, 1, 9	<1	Activo

Anexo 13. Caracterización de muestras - S3M1.





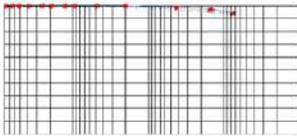
Anexo 15. Caracterización de muestras - S3M3.



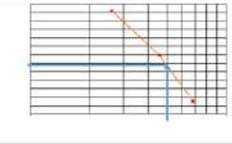
Anexo 16. Caracterización de muestras - S3M4.

PROYECTO: Estado de la calidad del suelo para concentraciones de otras ciévil sector 3 del este Sacaca del centro Jipijapa
UBICACIÓN: (Sección - Sector 3) PROF: a 4,55 m - 6,00 m MUESTRA: 5 COORDENADAS: 546410 950772 255,523 m a m m
SONDEO: 3

TAMIZ Nº	DIÁMETRO (mm)	PESO REFERIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO O ACUMULADO (gr)	% REFERIDO PARCIAL	% PASA
7	752	0	0	0	100
2,127	631,5	0	0	0	100
2	500	0	0	0	100
1,192	381,5	0	0	0	100
1	250	0	0	0	100
3/4	191,5	0	0	0	100
1/2	147,5	0	0	0	100
3/8	95,5	0	0	0	100
1/4	47,5	0	0	0	100
0	0	0,06	0,06	0,06	99,94
0	0,06	2,7	2,76	1,08	98,92
100	0,147	1,82	4,64	1,18	97,19
10	0,425	4,66	2,62	3,18	96,82
PASA #200	0,075	115,77	145,34	94,15	0
SUMA MUESTRA SECA		145,34		100	



Nº TUBO	Nº GOLPE	LÍMITES DE CONSISTENCIA				% W	% PROMEDIO
		PESO HUMEDO + TUBO (gr)	PESO SECO + TUBO (gr)	PESO TUBO (gr)	PESO SUELO SECO (gr)		
HUMEDAD NATURAL							
49		30,8	30,8	9,06	5,84	21,78	26,63
51		32,2	31,06	8	5,96	20,84	24,19
51		35,06	28,1	8,12	5,34	20,88	25,34
LÁMIE LÍQUIDO							
25	25	12,81	9,33	5,96	3,54	4,28	33,10
30	20	12,81	11,38	4,88	5,44	6,08	77,24
50	24	16,69	11,88	5,19	4,54	6,78	79,24
LÁMIE PLÁSTICO							
4		24,67	21,71	24,76	9,28	1,08	29,17
6		24,67	22,29	24,86	9,41	1,08	40,14
12		23,18	22,61	20,88	8,68	1,14	39,66



Índice de plasticidad: 41,41 Límite líquido: 71,00 Clasificación ASEM: CH - Arcillas magentas de estructura cristalina

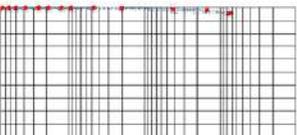
GRAVIDAD ESPECÍFICA	
IDENTIFICACIÓN DE MATERIAS	A
Capacidad de retención	300
Peso del material seco	115,77
Peso del material húmedo	645,30
Temperatura de agua	20
Peso del material seco (gramos)	0,0260
Peso del material húmedo	1,46
Peso del material seco	2,62
Peso del material húmedo	6,65
Peso del material seco	99
Temperatura de agua	20
Temperatura de agua	0,0260
W	1,99
U	1,90

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO									
Muestra	Clasificación	Subtipo	Módulo de resiliencia (MPa)	Sensibilidad a la salinidad	Valor como lo expone	Capacidad de drenaje	Peso del 250 (kg/m³)	C.E.R.	Congruencia de los horizontes
4	Limon y arcilla	CH	13,41	Sí	Sólo susceptible	Impermeable	1,7 - 1,9	<15	Azules

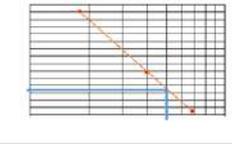
Anexo 17. Caracterización de muestras - S3M5.

PROYECTO: Estado de la calidad del suelo para concentraciones de otras ciévil sector 3 del este Sacaca del centro Jipijapa
UBICACIÓN: (Sección - Sector 3) PROF: a 5,55 m - 6,00 m MUESTRA: 6 COORDENADAS: 546410 950772 255,523 m a m m
SONDEO: 3

TAMIZ Nº	DIÁMETRO (mm)	PESO REFERIDO PARCIAL (gr)	PESO RETENIDO O ACUMULADO (gr)	% REFERIDO PARCIAL	% PASA
7	752	0	0	0	100
2,127	631,5	0	0	0	100
2	500	0	0	0	100
1,192	381,5	0	0	0	100
1	250	0	0	0	100
3/4	191,5	0	0	0	100
1/2	147,5	0	0	0	100
3/8	95,5	0	0	0	100
1/4	47,5	0	0	0	100
0	0	1,54	1,54	0,06	99,13
100	0,147	1,60	2,27	0,09	99,16
10	0,425	4,02	7,34	3,4	97,33
PASA #200	0,075	147,1	144,13	95,13	0
SUMA MUESTRA SECA		174,33		100	



Nº TUBO	Nº GOLPE	LÍMITES DE CONSISTENCIA				% W	% PROMEDIO
		PESO HUMEDO + TUBO (gr)	PESO SECO + TUBO (gr)	PESO TUBO (gr)	PESO SUELO SECO (gr)		
HUMEDAD NATURAL							
50		30,8	28,1	8,16	4,58	18,84	28,30
51		32,2	31,36	9,36	4,64	18,96	26,47
54		36,86	31,71	8,26	5,74	21,38	23,65
LÁMIE LÍQUIDO							
20	20	11,66	10,68	4,78	4,99	5,93	66,12
30	20	16,88	11,98	5,00	4,78	6,00	73,07
30	24	14,28	10,58	4,98	3,98	5,50	70,51
LÁMIE PLÁSTICO							
4		24,68	22,08	24,06	8,68	1,08	33,10
51		8,21	6,19	5,18	3,28	1,08	33,88
58		6,98	6,68	5,18	8,12	1,2	29,20



Índice de plasticidad: 41,91 Límite líquido: 71,00 Clasificación ASEM: CH - Arcillas magentas de estructura cristalina

GRAVIDAD ESPECÍFICA	
IDENTIFICACIÓN DE MATERIAS	A
Capacidad de retención	300
Peso del material seco	115,77
Peso del material húmedo	645,61
Temperatura de agua	20
Peso del material seco (gramos)	0,0260
Peso del material húmedo	1,50
Peso del material seco	2,62
Peso del material húmedo	7,63
Peso del material seco	99
Temperatura de agua	20
Temperatura de agua	0,0260
W	2,13
U	2,15

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO									
Muestra	Clasificación	Subtipo	Módulo de resiliencia (MPa)	Sensibilidad a la salinidad	Valor como lo expone	Capacidad de drenaje	Peso del 250 (kg/m³)	C.E.R.	Congruencia de los horizontes
4	Limon y arcilla	CH	13,41	Sí	Sólo susceptible	Impermeable	1,7 - 1,9	<15	Azules

Anexo 18. Caracterización de muestras - S3M6.

Anexo 27. Oficio dirigido a la universidad por parte del cabildo de la comunidad de Sancán



COMUNA SANCÁN
Fundada el 14 de Marzo de 1975, mediante Acuerdo Ministerial N°0054
Comuna Sancán – Jipijapa – Manabí
CABILDO 2020

Oficio N° 059-MLCH-PDTE-CCS
Comuna Sancán, martes 20 de enero del 2021

Dr.
Omelio Borroto.
RECTOR UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI.

En su despacho. -

De nuestras consideraciones:

Reciba a nombre del Cabildo de la Comuna Sancán el más cordial y fraterno saludo con los mejores deseos de éxitos en la función que usted desempeña, siendo propicia la oportunidad para comunicar lo siguiente:

Mediante Oficio N° 033-MLCH-PDTE-CCS con fecha 3 de julio del 2020 donde solicitamos la intervención de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, a través de la carrera de Ingeniería Civil, para realizar proyectos de investigación que tengan relación con la planificación de la infraestructura física de la Comuna Sancán, con el fin de impulsar su desarrollo productivo, la comuna Sancán se compromete a financiar los viajes técnicos para realizar el proyecto por un valor aproximado de 5286.40 dólares

Nos suscribimos de usted muy atentamente.


Ing. Mauricio Lourido Choéz
C.I: 131257377-5
PRESIDENTE


Ing. Mariana Valdivieso Mendoza
C.I: 30075758-8
SECRETARIA

Correo:
mauricioleo8@hotmail.com
Teléfonos:
0983637889 – 0997325121
0979348123

Evaluación del suelo para cimentación de obras civiles, sector 3 del sitio Sancán del cantón Jipijapa



Publicado en Ecuador
Enero 2024

Edición realizada desde el mes de enero del 2024 hasta
octubre del año 2023, en los talleres Editoriales de MAWIL
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 30, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman.
Portada: Collage de figuras representadas y citadas en el libro.