



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PROYECTO MACRO:
CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y
MECÁNICAS EN SUELOS DE LOS CANTONES AMBATO, QUERO,
TISALEO, MOCHA Y CEVALLOS.”**

Autora: María Gabriela Gallegos Pandacina

Tutor: Ing. Mg. Favio Paúl Portilla Yandún

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PROYECTO MACRO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DE LOS CANTONES AMBATO, QUERO, TISALEO, MOCHA Y CEVALLOS”**, elaborado por la Srta. María Gabriela Gallegos Pandacina, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 0250191335, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2022



Ing. Mg. Favio Paul Portilla Yandún

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

Yo, **María Gabriela Gallegos Pandacina**, con C.I. 0250191335 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PROYECTO MACRO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DE LOS CANTONES AMBATO, QUERO, TISALEO, MOCHA Y CEVALLOS”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2022



María Gabriela Gallegos Pandacina

C.I: 0250191335

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.

Ambato, Septiembre 2022



María Gabriela Gallegos Pandacina

C.I: 0250191335

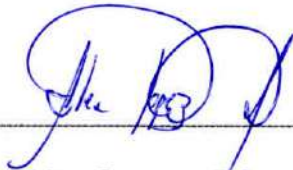
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante María Gabriela Gallegos Pandacina, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PROYECTO MACRO: CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN SUELOS DE LOS CANTONES AMBATO, QUERO, TISALEO, MOCHA Y CEVALLOS.”**.

Ambato, Septiembre 2022

Para constancia firman:



Ing. Mg. Alex Gustavo López Arboleda
Miembro Calificador



Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedicar este trabajo, una muestra de mi cariño infinito para corresponder mínimamente a todo el amor y apoyo incondicional que durante mi vida he recibido.

Para aquella persona que decidió dedicarme su vida, llenarme de amor, confiar y creer en mí desde que comenzó mi existencia, mi madre Olga y para quienes estoy segura llegarán más lejos de lo que yo podré, mis hermanos Dévaky y Naúm.

Gabriela Gallegos

AGRADECIMIENTO

A Dios, cuya voluntad, amor, bondad y protección me ha permitido avanzar durante esta etapa y finalizarla. Gracias a ti por todo esto y mucho más.

A la mujer que más admiro, mi madre Olga, que ha dedicado su vida a la formación humana y profesional de sus hijos.

A mis hermanos, Dévaky y Naúm, por estar a mi lado tanto en lo bueno, como en lo malo, por ayudarme en caídas y celebrar conmigo las victorias, por alegrar mi vida, por existir.

A mis familiares Luz, Andrea, Yolanda, Segundo, Ángel, Orlando y Leonardo, quienes han decidido apoyarme y ayudarme a avanzar por el camino hacia esta meta.

Elevo al cielo mi gratitud para ti, Bella Pandacina (+), por estar presente en mi vida, brindarme apoyo y ayuda, por enseñarme que la lucha se hace hasta el final.

A mi padre Vicente, existen cosas que únicamente la experiencia nos permitirá aprender, gracias por las enseñanzas.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, por haberme dado la oportunidad de formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos con amigos y compañeros.

Al Ing. Mg. Favio Portilla, tutor quien desde el primer momento me brindó su tiempo, conocimientos y guía para la realización de este trabajo de investigación hasta culminarlo.

A mis amigos de vida y carrera Cynthia, Christian, Kevin, Bryan y César, se agradece coincidir, conocer y convivir con personas excepcionales.

Somos la resultante de experiencias y vivencias, contextos en los que nos desarrollamos durante nuestra vida conviviendo con personas que decidieron obsequiarnos su presencia de forma temporal o permanente. Dirijo mis sentimientos de gratitud imperecedera a todos los que con cariño formaron parte de este camino.

Gabriela Gallegos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACION.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xviii
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3. Fundamentación teórica.....	3
1.1.3.1. Suelo.....	3
1.1.3.2. Origen de los suelos.....	4
1.1.3.3. Tipos de suelo.....	5
1.1.3.4. Propiedades índice.....	6

1.1.3.4.1.	Propiedades de las partículas.....	6
1.1.3.4.1.1.	Tamaño.....	6
1.1.3.4.1.2.	Forma.....	7
1.1.3.4.1.3.	Estructuras típicas de suelo	8
1.1.3.4.2.	Propiedades de la masa de suelo	9
1.1.3.4.2.1.	Contenido de Humedad (W%)	9
1.1.3.4.2.2.	Relación de Vacíos (e)	10
1.1.3.4.2.3.	Porosidad (n%)	11
1.1.3.4.2.4.	Grado de saturación de agua (Gw%).....	12
1.1.3.4.2.5.	Grado de saturación de aire (Ga%)	12
1.1.3.4.2.6.	Límites de Atterberg.....	13
1.1.3.4.2.7.	Gravedad específica de sólidos (Gs)	16
1.1.3.4.2.8.	Densidad de Campo.....	17
1.1.3.4.2.9.	Granulometría.....	17
1.1.3.5.	Clasificación de suelos AASHTO	23
1.1.3.6.	Clasificación de suelos SUCS	27
1.1.3.7.	Propiedades mecánicas del suelo	29
1.1.3.7.1.	Compactación.....	29
1.1.3.7.2.	Ensayo Proctor	31
1.1.3.7.3.	CBR, Relación de soporte de California	34
1.1.3.7.4.	DCP, Cono dinámico de penetración	36
1.1.3.8.	Estadística	37
1.1.3.8.1.	Regresión.....	38
1.1.3.8.1.1.	Diagrama de dispersión	38
1.1.3.8.2.	Correlación	41
1.1.3.8.2.1.	Coefficiente de correlación o de Pearson	42
1.1.3.9.	Pavimentos.....	43

1.1.3.9.1. Pavimento rígido	43
1.1.3.9.2. Pavimento semirrígido	43
1.1.3.9.3. Pavimento flexible.....	44
1.1.3.9.3.1. Elementos del pavimento flexible	44
1.1.3.9.3.2. Diseño de pavimento flexible según la norma AASHTO 1993 45	
1.1.3.10. Geo - zonificación	54
1.1.3.10.1. Sistema de información geográfica (SIG).....	54
1.1.3.10.2. Geo - referenciación	54
1.1.4. Hipótesis.....	54
1.2. Objetivos	55
1.2.1. General	55
1.2.2. Objetivos Específicos.....	55
 CAPÍTULO II	 56
 METODOLOGÍA	 56
2.1. Niveles de investigación	56
2.2. Tipos de investigación.....	57
2.3. Población y Muestra.....	57
2.3.1. Población.....	57
2.3.2. Muestra.....	60
2.4. Equipos y materiales	66
2.5. Métodos.....	68
2.5.1. Plan de recolección de datos	68
2.5.2. Ensayos	70
2.5.3. Plan de procesamiento y análisis de información	74

2.5.3.1. Metodología para la obtención de correlaciones	75
CAPÍTULO III.....	80
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	80
3.1.1. Propiedades índice	85
3.1.2. Propiedades mecánicas.....	98
3.1.3. Correlaciones.....	110
3.1.3.1. Correlaciones entre propiedades índice	112
3.1.3.2. Correlaciones entre DCP y propiedades índice	126
3.1.3.3. Correlaciones entre CBR y propiedades índice	141
3.1.4. Diseño de pavimento flexible método AASHTO 93 (Cantón Cevallos)	
159	
3.2. Verificación de Hipótesis.....	185
CAPÍTULO IV.....	186
CONCLUSIONES	186
RECOMENDACIONES	189
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	191
ANEXOS	195
A. Ensayos realizados	195
B. TPDA	243
C. Pesos y dimensiones para el Ecuador	244
D. Archivo fotográfico.....	246

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo.....	7
Tabla 2. Rangos típicos de densidad seca del suelo.....	17
Tabla 3. Escala de tamices estándar U. S.....	18
Tabla 4. Serie típica de tamices.....	19
Tabla 5. Clasificación de suelos AASHTO	24
Tabla 6. Calidad del suelo en función del Índice de Grupo.....	26
Tabla 7. Símbolos de grupo (SUCS).....	27
Tabla 8. Clasificación de suelos SUCS.....	28
Tabla 9. Comparación de Aparato, Muestra y Procedimiento - Métrico.....	32
Tabla 10. Carga patrón.....	34
Tabla 11. Clasificación en función del CBR.....	35
Tabla 12. Media, varianza, desviación típica y covarianza.....	38
Tabla 13. Curvas de aproximación.....	40
Tabla 14. Rangos de coeficiente de correlación muestral (r).....	42
Tabla 15. Periodo de diseño	46
Tabla 16. Porcentaje de tránsito equivalente.....	47
Tabla 17. Confiabilidad recomendada	47
Tabla 18. Desviación estándar normal (Z_r) para (R)	47
Tabla 19. Desviación estándar global recomendada (S_o)	48
Tabla 20. Módulo de resiliencia a partir de CBR.....	49

Tabla 21. Espesores de carpeta asfáltica y base	50
Tabla 22. Capacidad y tiempo de drenaje	52
Tabla 23. Capacidad y tiempo de drenaje para coeficientes de drenaje.....	53
Tabla 24. Cantones de estudio de proyecto macro.....	57
Tabla 25. Número de muestras de base de datos de la investigación	61
Tabla 26. Muestras	61
Tabla 27. Ubicación de calicatas cantón Cevallos	65
Tabla 28. Equipos y materiales para ensayos de laboratorio	66
Tabla 29. Equipos y materiales para trabajo de oficina	68
Tabla 30. Plan de recolección de datos	68
Tabla 31. Correlación lineal múltiple.....	75
Tabla 32. Matriz inversa (Correlación lineal múltiple).....	76
Tabla 33. Correlación logarítmica múltiple	76
Tabla 34. Matriz inversa (Correlación logarítmica múltiple)	77
Tabla 35. Correlación potencial múltiple.....	77
Tabla 36. Matriz inversa (Correlación potencial múltiple).....	78
Tabla 37. Correlación exponencial múltiple	78
Tabla 38. Matriz inversa (Correlación exponencial múltiple)	79
Tabla 39. Nomenclatura de propiedades índice y mecánicas de los suelos	80
Tabla 40. Cuadro resumen de propiedades índice de los suelos	85
Tabla 41. Cuadro resumen de propiedades mecánicas de los suelos	98

Tabla 42. Cuadro resumen de correlaciones (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	110
Tabla 43. Cuadro resumen de correlaciones (Cantón Cevallos)	111
Tabla 44. CBR de diseño	159
Tabla 45. TPDA hora pico cantón Cevallos, vía “Pedro Fermín Cevallos”	159
Tabla 46. Determinación de Porcentaje de la trigésima hora.....	160
Tabla 47. Tasas de crecimiento Vehicular	161
Tabla 48. Determinación de TPDA para el primer año	161
Tabla 49. Determinación de TPDA para el primer año	161
Tabla 50. Periodos de diseño	162
Tabla 51. Porcentaje de tránsito equivalente.....	163
Tabla 52. Factor de daño (FD)	163
Tabla 53. Determinación W18 de Diseño	164
Tabla 54. Espesores por capa (D1 y D2).....	165
Tabla 55. Grado de confiabilidad (R)	165
Tabla 56. Desviación estándar normal (Zr) para (R)	166
Tabla 57. Determinación de coeficiente estructural de carpeta asfáltica (a ₁)	168
Tabla 58. Determinación de coeficiente estructural de base (a ₂).....	169
Tabla 59. Determinación de coeficiente estructural de subbase (a ₃)	170
Tabla 60. Capacidad y tiempo de drenaje	171
Tabla 61. Capacidad y tiempo de drenaje para coeficientes de drenaje.....	171

Tabla 62. Módulo de resiliencia a partir de CBR.....	172
Tabla 63. Datos de diseño pavimento flexible	173
Tabla 64. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible.....	175
Tabla 65. Módulo de resiliencia a partir de CBR.....	176
Tabla 66. Datos de diseño pavimento flexible	177
Tabla 67. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible.....	179
Tabla 68. Módulo de resiliencia a partir de CBR.....	180
Tabla 69. Datos de diseño pavimento flexible	181
Tabla 70. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible.....	183
Tabla 71. Cuadro resumen diseño de pavimento flexible	184
Tabla 72. Densidad de campo muestra 1	195
Tabla 73. DCP muestra 1	196
Tabla 74. Análisis granulométrico muestra 1	197
Tabla 75. Límites de Atterberg muestra 1.....	198
Tabla 76. Gravedad específica muestra 1	199
Tabla 77. Proctor muestra 1	200
Tabla 78. CBR muestra 1	201
Tabla 79. Densidad de campo muestra 2	203
Tabla 80. DCP muestra 2	204

Tabla 81. Análisis granulométrico muestra 2	205
Tabla 82. Límites de Atterberg muestra 2.....	206
Tabla 83. Gravedad específica muestra 2	207
Tabla 84. Proctor muestra 2	208
Tabla 85. CBR muestra 2	209
Tabla 86. Densidad de campo muestra 3	211
Tabla 87. DCP muestra 3	212
Tabla 88. Análisis granulométrico muestra 3	213
Tabla 89. Límites de Atterberg muestra 3.....	214
Tabla 90. Gravedad específica muestra 3	215
Tabla 91. Proctor muestra 3	216
Tabla 92. CBR muestra 3	217
Tabla 93. Densidad de campo muestra 4	219
Tabla 94. DCP muestra 4	220
Tabla 95. Análisis granulométrico muestra 4	221
Tabla 96. Límites de Atterberg muestra 4.....	222
Tabla 97. Gravedad específica muestra 4	223
Tabla 98. Proctor muestra 4	224
Tabla 99. CBR muestra 4	225
Tabla 100. Densidad de campo muestra 5	227
Tabla 101. DCP muestra 5	228

Tabla 102. Análisis granulométrico muestra 5	229
Tabla 103. Límites de Atterberg muestra 5.....	230
Tabla 104. Gravedad específica muestra 5	231
Tabla 105. Proctor muestra 5	232
Tabla 106. CBR muestra 5	233
Tabla 107. Densidad de campo muestra 6	235
Tabla 108. DCP muestra 6	236
Tabla 109. Análisis granulométrico muestra 6	237
Tabla 110. Límites de Atterberg muestra 6.....	238
Tabla 111. Gravedad específica muestra 6	239
Tabla 112. Proctor muestra 6	240
Tabla 113. CBR muestra 6	241
Tabla 114. Conteo de tráfico	243
Tabla 115. Tabla nacional de pesos y dimensiones para el Ecuador	244
Tabla 116. Tabla nacional de pesos y dimensiones para el Ecuador	245

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Agentes generadores de suelos	4
Figura 2. Tipos de suelo y sus formas.....	8
Figura 3. configuración estructural de los suelos.....	9
Figura 4. Estados de consistencia.....	13
Figura 5. Curva de escurrimiento.....	14
Figura 6. Curva granulométrica de un suelo	20
Figura 7. Curva granulométrica en función de su pendiente	21
Figura 8. Parámetros D_{10} , D_{30} y D_{60}	22
Figura 9. Carga de plasticidad AASHTO	25
Figura 10. Ábacos de determinación de Índice de Grupo.....	26
Figura 11. Carta de plasticidad SUCS, sistema unificado de clasificación de suelos.	29
Figura 12. Curva de compactación Proctor.....	31
Figura 13. Diferencias entre los ensayos Proctor estándar y modificado.	33
Figura 14. Gráfico Presión-Penetración, CBR.....	35
Figura 15. Esquema del Equipo DCP (ASTM D-6951-03).	36
Figura 16. Esquema del Equipo DCP (ASTM D-6951-03).....	37
Figura 17. Relación lineal entre variables.....	39
Figura 18. Relación no lineal entre variables.....	39
Figura 19. Curva de ajuste	41

Figura 20. Esquema de pavimento flexible.....	44
Figura 21. Procedimiento de diseño método AASHTO 1993	46
Figura 22. Nomograma para determinación de a_1	51
Figura 23. Ábaco para determinación de a_2	51
Figura 24. Ábaco para determinación de a_3	52
Figura 25. Paquete estructural de pavimento flexible	53
Figura 26. Área de estudio (Cantones: Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	59
Figura 27. Área de procesamiento de datos y toma de muestras.	59
Figura 28. Cantón de recolección de muestras (Cevallos).....	60
Figura 29. Coordenadas de calicatas	65
Figura 30. Excavación de calicata.....	70
Figura 31. Ensayo densidad de campo	70
Figura 32. Ensayo DCP	71
Figura 33. Ensayo de gravedad específica	71
Figura 34. Granulometría por tamizaje	72
Figura 35. Límite líquido	72
Figura 36. Límite plástico	73
Figura 37. Ensayo Proctor.....	73
Figura 38. CBR de laboratorio	74
Figura 39. Tipos de suelos según SUCS Y AASHTO (Cantón Cevallos).....	81

Figura 40. Tipos de suelos según SUCS Y AASHTO (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	82
Figura 41. Rango granulométrico de los suelos (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).	83
Figura 42. Rango granulométrico de los suelos (Cantón Cevallos).....	83
Figura 43. Representación de los suelos (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos) en la carta de plasticidad de Casagrande	84
Figura 44. Representación de los suelos (Cantón Cevallos) en la carta de plasticidad de Casagrande	84
Figura 45. Número de muestras e Índice Plástico (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	93
Figura 46. Número de muestras y Humedad Natural (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	93
Figura 47. Número de muestras y Gravedad Específica (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	94
Figura 48. Número de muestras y Porcentajes de Grava (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	94
Figura 49. Número de muestras y Porcentajes de Arena (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	95
Figura 50. Número de muestras y Porcentajes de Fracción Fina (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	95
Figura 51. Número de muestras y Clasificación SUCS (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	96
Figura 52. Número de muestras y Clasificación AASHTO (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	97

Figura 53. Número de muestras y Densidad Seca In Situ (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	106
Figura 54. Número de muestras y Densidad Seca Máxima (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	106
Figura 55. Número de muestras y Humedad Óptima (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	107
Figura 56. Número de muestras y CBR Mayor (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	108
Figura 57. Número de muestras e Índice de Penetración (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).....	109
Figura 58. Correlación LL vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	112
Figura 59. Correlación LL vs LP (Cantón Cevallos)	112
Figura 60. Correlación Gw vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	114
Figura 61. Correlación Gw vs Wnat (Cantón Cevallos)	114
Figura 62. Correlación γ_{dmax} vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	116
Figura 63. Correlación γ_{dmax} vs Wopt (Cantón Cevallos).....	116
Figura 64. Correlación Wopt vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	118
Figura 65. Correlación Wopt vs LL (Cantón Cevallos).....	118
Figura 66. Correlación γ_d vs e (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	120
Figura 67. Correlación γ_d vs e (Cantón Cevallos).....	120

Figura 68. Correlación γ_{dmax} vs LP-LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	122
Figura 69. Correlación γ_{dmax} vs LP-LL (Cantón Cevallos)	122
Figura 70. Correlación W_{opt} vs LP- W_{nat} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	124
Figura 71. Correlación W_{opt} vs LP- W_{nat} (Cantón Cevallos)	124
Figura 72. Correlación DN vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	126
Figura 73. Correlación DN vs LP (Cantón Cevallos)	126
Figura 74. Correlación DN vs N°200 (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	128
Figura 75. Correlación DN vs N°200 (Cantón Cevallos)	128
Figura 76. Correlación DN vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	130
Figura 77. Correlación DN vs LL (Cantón Cevallos)	130
Figura 78. Correlación DN vs γ_d (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	132
Figura 79. Correlación DN vs γ_d (Cantón Cevallos)	132
Figura 80. Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	134
Figura 81. Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantón Cevallos)	134
Figura 82. Correlación DN vs W_{opt} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	136
Figura 83. Correlación DN vs W_{opt} (Cantón Cevallos)	136

Figura 84. Correlación LP vs LL-DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	138
Figura 85. Correlación LP vs LL-DN (Cantón Cevallos)	138
Figura 86. Correlación γd vs DN – LL (Cantón Cevallos)	140
Figura 87. Correlación CBR vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	141
Figura 88. Correlación CBR vs LP (Cantón Cevallos)	141
Figura 89. Correlación CBR vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	143
Figura 90. Correlación CBR vs Wnat (Cantón Cevallos)	143
Figura 91. Correlación CBR vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	145
Figura 92. Correlación CBR vs Wopt (Cantón Cevallos)	145
Figura 93. Correlación CBR vs DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	147
Figura 94. Correlación CBR vs DN (Cantón Cevallos)	147
Figura 95. Correlación LP vs LL - CBR (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	149
Figura 96. Correlación LP vs LL - CBR (Cantón Cevallos)	149
Figura 97. Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	151
Figura 98. Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantón Cevallos)	151
Figura 99. Correlación CBR vs γd_{max} – Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	153

Figura 100. Correlación CBR vs $\gamma_{dmax} - W_{opt}$ (Cantón Cevallos).....	153
Figura 101. Correlación CBR vs $W_{nat} - \gamma_d$ (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)	155
Figura 102. Correlación CBR vs $W_{nat} - \gamma_d$ (Cantón Cevallos).....	155
Figura 103. Correlación CBR vs $\gamma_{dmax} - \gamma_d$ (Cantón Cevallos).....	157
Figura 104. Correlación CBR vs $W_{opt} - \gamma_d$ (Cantón Cevallos).....	158
Figura 105. Nomograma para determinación de a_1	167
Figura 106. Ábaco para determinación de a_2	169
Figura 107. Ábaco para determinación de a_3	170
Figura 108. Excavación de calicata.....	246
Figura 109. Realización de ensayo densidad de campo.....	246
Figura 110. Tamizaje de muestra	247
Figura 111. Muestra introducida en picnómetro para ensayo gravedad específica .	248
Figura 112. Muestras secas (Contenido de humedad, gravedad específica, límite líquido y límite plástico)	248
Figura 113. Retiro de collarín, ensayo Proctor	249
Figura 114. Colocación de muestra en molde para ensayo CBR.....	249
Figura 115. Colocación de muestras en curado, ensayo CBR	250
Figura 116. Colocación de diales para lecturas de esponjamiento, ensayo CBR	250
Figura 117. Realización de ensayo CBR.....	251
Figura 118. Conteo de tráfico.....	251

RESUMEN

En esta investigación se recopilaron los datos correspondientes a los ensayos in situ y de laboratorio, obtenidos en estudios previos, de 156 muestras; se realizaron las pruebas de campo y laboratorio para determinar las propiedades de 6 muestras del cantón Cevallos, creando una base de datos de 162 muestras en total.

Se determinaron correlaciones de 2 y 3 variables (método de mínimos cuadrados) entre propiedades índice y mecánicas, para el cantón Cevallos (6 muestras) y para las 162 muestras de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos. En el primer caso 23 de 25 correlaciones alcanzaron valores de correlación iguales o superiores al 50 por ciento, de las 22 correspondencias determinadas para la totalidad de muestras 11 lograron resultados de correspondencia iguales o superiores al 50 por ciento.

El diseño de pavimento flexible para el cantón Cevallos se realizó con el fin de comparar el CBR de laboratorio con los CBR obtenidos de las correlaciones con mayores valores de coeficiente de correlación entre 2 y 3 variables: CBR vs índice de penetración y CBR vs humedad óptima – densidad seca máxima. Los resultados indican que las correlaciones permiten obtener valores de CBR bastante cercanos al CBR de laboratorio y el prediseño del paquete estructural de pavimento arroja espesores de capas similares.

Palabras clave: Correlación, Propiedades Índice, Propiedades Mecánicas, CBR, DCP, Suelos Granulares.

ABSTRACT

In this research, data corresponding to in situ and laboratory tests, obtained in previous studies, were compiled for 156 samples; field and laboratory tests were carried out to determine the properties of 6 samples from the Cevallos canton, creating a database of 162 samples in total.

Correlations of 2 and 3 variables (least squares method) between index and mechanical properties were determined for the Cevallos canton (6 samples) and for the 162 samples from Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha and Cevallos. In the first case, 23 out of 25 correlations reached correlation values equal to or higher than 50 percent; of the 22 correspondences determined for all the samples, 11 achieved correspondence results equal to or higher than 50 percent.

The design of flexible pavement for the Cevallos canton was carried out in order to compare the laboratory CBR with the CBR obtained from the correlations with the highest correlation coefficient values between 2 and 3 variables: CBR vs. penetration index and CBR vs. optimum moisture - maximum dry density. The results indicate that the correlations allow obtaining CBR values quite close to the laboratory CBR and the pre-design of the pavement structural package yields similar layer thicknesses.

Keywords: Correlation, Index Properties, Mechanical Properties, CBR, DCP, Granular Soils.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Antecedentes

Si se toma como punto de partida el hecho de que los sistemas viales descansan sobre el suelo y transmiten las cargas que soportan a este, surge la necesidad de conocer el estado del terreno destinado para la planificación, diseño y ejecución del proyecto.

El estudio de suelos es el conjunto de metodologías necesarias para determinar las características del suelo de fundación. Sin embargo, al ejecutar estos procedimientos investigativos surgen diversos inconvenientes, como el costo y la dificultad que representa la obtención del CBR. Por esta razón diversos investigadores a lo largo del tiempo han logrado establecer su valor basándose en correlaciones entre este parámetro, el DCP, propiedades índice y mecánicas del suelo; abaratando los costos y haciendo más viables los procesos de estimación del CBR [1].

Con el fin de solucionar esta problemática, en años anteriores ya se realizaron estudios que buscaron predecir el CBR a partir de distintas variables, tal es el caso de Kleyn en 1955 y la correlación entre el CBR, módulo de graduación e índice de plasticidad. En 1962, Gawith y Perrin asociaron el CBR con la contracción lineal. Entre el CBR, límites de Atterberg y número de índice de grupo, Wermers en 1963. Otros estudiosos como Haupt en 1980, Lawrance y Toole en 1984, Netterberg y Paige-Green en 1988, así como también Davel en 1989, continuaron la investigación y aplicación de los modelos anteriores [2]. La correlación entre el CBR y DCP fue presentada por Refeai y Suhaibani en 1996, como resultado su investigación arrojó expresiones matemáticas para cada tipo de suelo analizado y con un margen de error muy pequeño [3].

Todos estos estudios fueron las bases para la metodología de determinación de CBR, que hoy en día existe y que se ha realizado en diversos países, por ejemplo en la investigación llevada a cabo en Sudáfrica por Breytenbach, Green y Rooy en 2019,

presenta la relación entre las pruebas índice (Límites de Atterberg, retracción lineal, coeficiente y módulo de graduación, etc.) y los valores de CBR para materiales naturales de construcción [2].

En el año 2010 en Turquía, Yildirim y Gunaydin estimaron el valor de CBR a partir de las propiedades índice (Granulometría, límites de Atterberg, peso unitario seco máximo y contenido de humedad óptimo), de la misma forma lo hizo Bhatt en India en 2014. Los dos estudios comprobaron que existe un alto grado de correlación entre los parámetros [4], [5]. En Sudamérica más precisamente en Colombia el estudio de correlación entre la resistencia a compresión no confinada y el CBR en 2019 por Sandoval y Rivera, enfocada en suelos finos, concluyó que las expresiones conseguidas pueden ser aplicadas para cualquier suelo, independientemente de la consistencia, humedad y plasticidad que este presente [6].

Actualmente existen estudios terminados y por concluir que tratan sobre la estimación del CBR en función de otras propiedades del suelo, en su mayor parte realizados con el fin de disminuir la complejidad de su obtención tanto financiera como metodológica y proponer correlaciones que sirvan de alternativa para el prediseño de un proyecto.

1.1.2. Justificación

Las vías son un pilar para el crecimiento y desarrollo del país, debido a que comunican y conectan distintos puntos. Es de vital importancia no solo para las vías sino para cualquier tipo de estructura evaluar la resistencia del suelo sobre el cual se va a asentar, de esta forma el profesional técnico asegura su durabilidad y correcto desempeño.

De la capacidad de soporte de la subrasante dependerán los espesores de las capas del pavimento superiores a diseñar (base y subbase) y precisamente el CBR permite conocer si el terreno de fundación cumple con las características de calidad apropiadas. Este ensayo puede llevarse a cabo in situ y en laboratorio, pero se debe tener en cuenta que el realizarlo en campo es más fácil y entrega los resultados de forma rápida a un costo menor, lo que no sucede cuando se determina en laboratorio [7].

Considerando lo anteriormente mencionado existen otros procedimientos que facilitan la obtención del CBR, uno de ellos es la determinación de su valor a partir de expresiones de correlación entre DCP, propiedades índice y mecánicas que representan una metodología más práctica que los métodos convencionales [3].

Si bien es cierto ya se han realizado investigaciones previas en las que se ha determinado la correlación entre CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas del suelo, de zonas en específico; sin embargo, es importante analizar en conjunto los resultados obtenidos en todas las subáreas estudiadas, pues de esta manera se tendrá una mejor concepción sobre la tipología de suelos que están presentes en la provincia Tungurahua, así como también la capacidad resistente que estos ofrecen.

Teniendo en cuenta que la correlación refleja la intensidad de asociación entre variables, cabe mencionar que el número de muestras que intervengan en el análisis también es importante, ya que esto ayuda a evaluar cuan fuerte es la correlación y que tan bien está representada la población de estudio, en este caso el suelo en su totalidad. Por lo tanto, analizar la mayor cantidad de muestras posibles arrojará un resultado más confiable.

El objetivo del presente trabajo de investigación es analizar los datos obtenidos en el Proyecto Macro, para determinar el grado de correlación entre los parámetros CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha; además incluir resultados y correlaciones datos propios obtenidos en el cantón Cevallos. Correlaciones que estarán en función de 162 muestras tomadas en 26 parroquias, para garantizar la confiabilidad de resultados que servirán de referencia y apoyo para los profesionales encargados de futuros diseños de pavimentos en la provincia de Tungurahua.

1.1.3. Fundamentación teórica

1.1.3.1. Suelo

Según Crespo el suelo se define como una capa fina constituida por material producto de la alteración química y desintegración física de las rocas, así como también de residuos provocados por los seres vivos asentados sobre ella, dicha capa se ubica en la parte superior de la corteza terrestre [8].

Para el campo de la Ingeniería, el suelo se presenta como un conjunto de capas constituidas de sedimentos, material de naturaleza orgánica y minerales, que subyacen bajo la superficie y reposan sobre la roca, misma que presenta mayores fuerzas internas de cohesión [9].

Rico y Castillo, hacen uso del término suelo refiriéndose a la agrupación de sedimentos minerales originados por desintegración física y mecánica de rocas. Este material se caracteriza por presentar propiedades que son diferentes dependiendo de la naturaleza y organización de sus partículas [10].

1.1.3.2. Origen de los suelos

La formación de los suelos viene dada por procesos de meteorización que sufre la corteza terrestre. La desintegración mecánica que hace alusión a la intemperización física de las rocas causada por agentes físicos como el sol que con el aumento de temperatura causa mayores tensiones internas provocando el desprendimiento de la capa superficial de la roca, el fenómeno se conoce como exfoliación; el viento es el medio de transporte de partículas sólidas que al impactar con otros cuerpos de suelo causan abrasión; el agua mantiene suspendidos los sedimentos que generan rozamiento al ponerse en contacto con otro suelo y finalmente los glaciares como altos agentes erosivos, de transporte y al mismo tiempo de fricción entre materiales [11].

Por otro lado, la descomposición química que modifica de manera molecular y mineral a la roca generando oxidación ($O + H_2O$), hidratación ($H_2O + \text{Minerales}$) y carbonatación ($CO_2 + H_2O$). Cabe mencionar que los procesos físicos dan origen a los suelos con partículas de mayor tamaño y los efectos químicos generan partículas de suelo mucho más pequeñas [8].

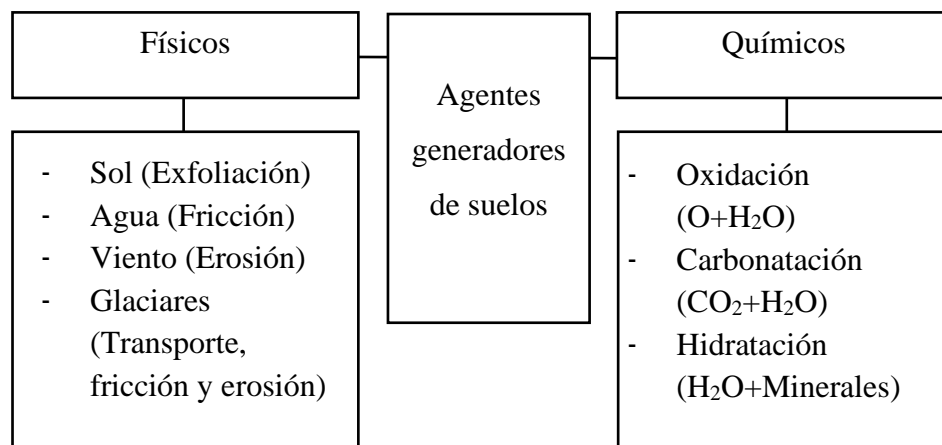


Figura 1. Agentes generadores de suelos

Fuente: Mecánica de suelos Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, E. Juárez Badillo y Mecánica de suelos y cimentaciones, C. Crespo

1.1.3.3. Tipos de suelo

Los suelos se clasifican en residuales y transportados, en el primer caso los residuos del intemperismo se quedan en el mismo lugar en donde se formaron y si cambian de sitio corresponden al segundo grupo, cabe mencionar que las características y propiedades estos últimos variarán dependiendo del lugar en donde se depositen sus partículas, suelo o agua [8], [10].

En ingeniería civil se consideran los tipos descritos a continuación, teniendo en cuenta el diámetro que presenten las partículas.

Grava

Corresponden a fragmentos de roca cuyo diámetro se encuentra entre 7.62 cm (3'') y 2 mm. Dependiendo de la forma en que se han originado las partículas pueden sufrir desgaste de sus aristas tomando una forma redondeada, suelen concentrarse en ríos o en depresiones debido al acarreo de la lluvia. Siempre se encuentran con menor o mayor cantidad de cantos rodados, arenas, limos y arcillas [8].

Arena

Entran en esta categoría los granos finos originados por denudación o desintegración artificial, su diámetro varía entre 2 mm y 0.05 mm. Se originan de forma similar a las gravas y por lo general se encuentran en el mismo lugar. Cuando las partículas de arena están limpias no llegan a contraerse durante su secado, no presentan plasticidad, no son compresibles como las arcillas y cuando una carga actúa sobre ellas se densifican casi al instante [8].

Limo

Sus partículas con finas con plasticidad casi o totalmente nula, pueden ser tipo inorgánico producido por grava triturada o inorgánico como el que se encuentra en ríos, en el segundo caso presentará plasticidad. Sus partículas tienen un diámetro en el rango de 0.05 mm a 0.005 mm [8].

Arcilla

Su diámetro es inferior a 0.005 mm, son plásticas una vez que sus partículas se combinan con agua. Se componen de silicato de alúmina hidratado y existen otras que

contienen silicatos de hierro o de magnesio hidratados. Tienen la característica de cohesión y de comprimirse a baja velocidad cuando se les aplica cargas [8].

Suelos gruesos

Las propiedades mecánicas de estos suelos están en función del acomodamiento y consolidación de sus granos, por esta razón se deja de lado la necesidad de conocer la totalidad de su composición mineralógica, sin embargo, es importante mencionar que este tipo de materiales estas constituidos en mayor parte por silicatos (feldespatos de calcio, sodio o potasio); óxidos como el cuarzo, corindón y magnética que son bastante comunes; y como carbonatos principalmente el yeso y la anhidrita [11].

Suelos finos o arcillas

A diferencia de los anteriores la respuesta mecánica de estos suelos si depende de la composición mineralógica y también de la estructuración interna de partículas que presenten, por lo tanto, es importante conocer que en general su constitución se basa en silicatos de aluminio hidratados; en ciertas ocasiones están presentes silicatos de hierro, magnesio u otros metales hidratados. La distribución atómica de estos minerales es laminar [11].

1.1.3.4. Propiedades índice

Es fundamental comprender estas variables para predecir el comportamiento del suelo dentro del campo ingenieril y así garantizar el diseño apropiado de cimentaciones y cualquier obra civil. Las propiedades índice son el grupo de parámetros que permiten diferenciar a un suelo de otros dependiendo de la naturaleza y características que este presente durante la realización de distintas pruebas, las propiedades índice se clasifican tanto para las partículas como para la masa de suelo [12].

1.1.3.4.1. Propiedades de las partículas

1.1.3.4.1.1. Tamaño

Los tamaños de las partículas de suelo son muy variados y dependiendo de su diámetro pueden clasificarse como grava, arena, limo y arcilla. En la tabla mostrada a continuación se aprecia la categorización por tamaño de grado según diferentes organizaciones [13].

Tabla 1. Límites de separación de tamaño de suelo

LÍMITES DE SEPARACIÓN DE TAMAÑO DE SUELO				
NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DE GRANO (MM)			
	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	> 2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	> 2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) < 0.075	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Existen varios ensayos que permiten determinar el tamaño de las partículas que conforman una masa de suelo, en primer lugar, esta la identificación visual o de campo, en suelos gruesos se realiza el tamizado, para suelos finos se realiza el ensayo del hidrómetro y para separar arcillas de limos se hace uso del análisis por sifoneado [13].

1.1.3.4.1.2. Forma

Depende del tipo de suelo en el caso de los finos las partículas tendrán forma laminar, por otro lado, los gruesos tienen partículas esféricas. A continuación, se presenta un esquema más detallado [11].

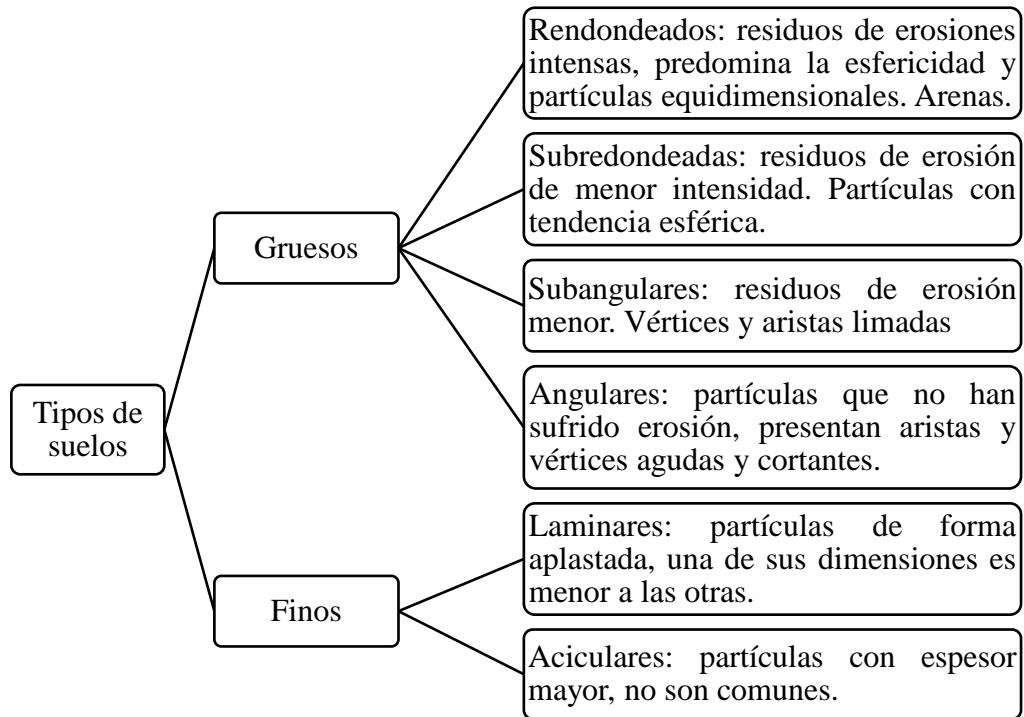


Figura 2. Tipos de suelo y sus formas

Fuente: Mecánica de suelos Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, E. Juárez Badillo

En general los suelos gruesos brindan un mejor comportamiento mecánico ya que presentan partículas de diferentes tamaños, estos suelos pueden aumentar su consolidación y mejorar su resistencia cuando se les somete a procesos de compactación, por otro lado los suelos cohesivos no son favorables para el campo de la construcción debido a que por poseer altos contenidos de humedad son propensos a sufrir grandes deformaciones producto de contracciones volumétricas, esta es la causa principal de los asentamientos [11].

1.1.3.4.1.3. Estructuras típicas de suelo

En el siguiente mapa conceptual se definen las estructuras para tres tipos de suelos generales.

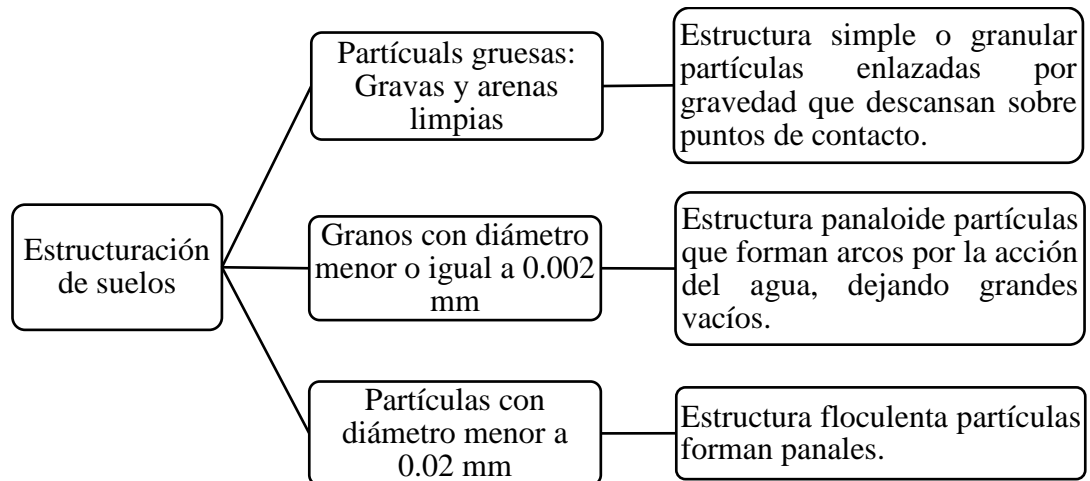


Figura 3. configuración estructural de los suelos

Fuente: Mecánica de suelos Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos, E. Juárez Badillo

Es importante mencionar que en el caso de los suelos granulares que presentan estructura simple o también llamada granular, uno de los parámetros principales es la compacidad relativa, que se entiende como el nivel de acomodamiento de partículas dejando espacios entre ellas, su determinación depende de la relación de vacíos en los estados: natural, suelo y compactado [11].

$$Cr\% = \frac{e_{\max} - e_{\text{nat}}}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Siendo:

- e_{nat} , relación de vacíos sin alterar.
- e_{\max} , relación de vacíos en estado más suelo.
- e_{\min} , relación de vacíos en estado más compacto.

1.1.3.4.2. Propiedades de la masa de suelo

1.1.3.4.2.1. Contenido de Humedad (W%)

La humedad que está presente en la masa de suelo influye directamente en la respuesta mecánica que este brinde cuando sobre él se apliquen cargas. Esta es una de las causas que originan colapsos y fallas en las estructuras, por esta razón es importante el estudio de esta propiedad. Este ensayo de laboratorio sencillo permite determinar la cantidad de agua presente en una fracción de suelo, se determina con la relación entre el peso

de la fase líquida y el peso de la fase sólida, se expresa como porcentaje del peso inicial de la muestra de suelo incluyendo la humedad [14].

El valor de W% para suelos de tipo granular se encuentra de 5 a 8% y con respecto a suelos cohesivos el valor de esta propiedad está en el rango de 60 a 70% [15].

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Siendo:

- W_w , peso del agua (gr).
- W_s , peso del suelo (gr).

En la investigación realizada por González et al. (2019) en suelos de la Amazonía ecuatoriana, específicamente en la provincia de Pastaza, se han determinado contenidos de humedad entre 175% y 238%, por lo tanto el límite superior de este parámetro no es el 100% [16].

1.1.3.4.2.2. Relación de Vacíos (e)

Se obtiene a partir de la relación entre el volumen de vacíos de la masa de suelo y el volumen de la fase sólida, su valor está dentro del rango 0 e infinito, en donde los valores bajos se traducen como suelo compacto, por otro lado mientras mayor sea el resultado de la relación indicará la presencia de un suelo demasiado suelto que por lo tanto será muy compresible [11].

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

Siendo:

- V_v , volumen de vacíos.
- V_s , volumen de sólidos.

Los granos de una masa de suelo se acomodan dejando espacios entre ellos, el nivel de presencia que alcancen estos vacíos cuando las partículas se ordenen es lo que se conoce como compacidad [17].

Los suelos que presenten un nivel de acomodo de partículas alto son compactos y presentarán una deformación por carga aplicada menor, por otro lado cuando el suelo

es no compacto, este sufrirá deformaciones mayores debido a que la cantidad de vacíos que presenta también es mayor [17].

Según la bibliografía investigada los valores de relación de vacíos en la mayoría de casos no son menores a 0.25 y tampoco superiores a 15, el primer caso corresponde a arenas compactadas con finos y el segundo pertenece a ciertas arcillas de alta compresibilidad [11].

1.1.3.4.2.3. Porosidad (n%)

Hace referencia a la probabilidad de hallar espacios vacíos en la totalidad de volumen de la muestra de suelo [15].

Se obtiene con la relación entre el volumen de vacíos de la masa de suelo y el volumen masa, es un porcentaje y su valor esta entre 0 y 100%, en donde los valores bajos se traducen como suelo consolidado, por otro lado mientras mayor sea el resultado de la relación significa que el suelo tiene mucho vacíos y por lo tanto presentará un nivel alto de deformabilidad [11].

$$n\% = \frac{V_v}{V_m} * 100$$

Siendo:

- V_v , volumen de vacíos.
- V_m , volumen de la masa.
- $n\%$, porosidad (%).

En general los valores que tiene los suelos friccionantes cuando se estudia esta propiedad, están alrededor del 5% y en el caso de que el suelo de análisis sea cohesivo corresponde al 40% [17].

La bibliografía también indica que los valores de $n\%$ varían entre 20% y 95% [11]

1.1.3.4.2.4. Grado de saturación de agua (Gw%)

Teniendo en cuenta que por naturaleza el agua ocupa los vacíos existentes en una masa suelo, el grado de saturación de agua, analiza la probabilidad de hallar agua en estos espacios [17].

Se determina con la relación entre el volumen de la fase líquida de la masa de suelo y el volumen de vacíos, es un porcentaje y su valor esta entre 0 y 100%, en donde 0% se traduce como suelo seco y 100% es un suelo completamente saturado [11].

Cabe mencionar que en el medio natural $Gw\% \neq 0\%$ [17].

$$Gw\% = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

Siendo:

- V_w , volumen de agua.
- V_v , volumen de vacíos.
- $Gw\%$, grado de saturación de agua.

1.1.3.4.2.5. Grado de saturación de aire (Ga%)

El agua ocupa los espacios entre partículas cuando el suelo está saturado y si está seco el aire llena los vacíos, por esta razón esta propiedad hace referencia a la probabilidad de hallar aire ocupando los vacíos de la muestra de suelo [17].

La probabilidad se obtiene con la relación entre el volumen de la fase gaseosa de la masa de suelo y el volumen de vacíos, se expresa como porcentaje. El estudio de esta propiedad no es relevante para el campo ingenieril [11].

$$Ga\% = \frac{V_a}{V_v} * 100$$

Siendo:

- V_a , volumen de aire.
- V_v , volumen de vacíos.
- $Ga\%$, grado de saturación de aire.

1.1.3.4.2.6. Límites de Atterberg

Estados de consistencia

El científico Albert Mauritz Atterberg en el año 1900, elaboró un método que permitiría explicar la consistencia de suelos finos bajo el efecto de distintos contenidos de humedad. De esta manera en presencia de un bajo contenido de humedad el suelo tendrá un comportamiento semejante a un sólido que se puede romper con facilidad, por el contrario cuando el contenido de humedad es alto el suelo y el agua fluirán como si fueran un líquido [13].

En base a los estados de consistencia se puede establecer el comportamiento que tendrá un suelo cohesivo dependiendo de la cantidad de agua que contenga.

Se establecen cuatro estados:

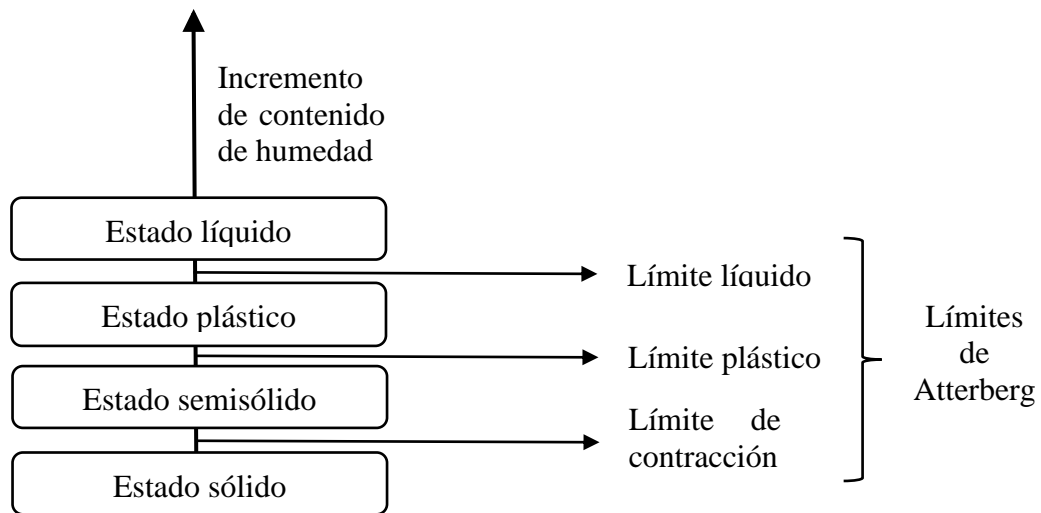


Figura 4. Estados de consistencia.

Fuente: Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento, L. Bañón, J. Beviá

Límite líquido (LL)

Frontera entre el los estados plástico y líquido se determina en laboratorio con el empleo de la Copa de Casagrande, según la normativa ASTM D-4318 el ensayo consiste en colocar una porción en pasta de la masa de suelo en la copa, se divide en dos partes utilizando un acanalador y se deja caer de una altura normalizada. El objetivo es determinar el contenido de humedad que permita lograr el cierre del corte

en una distancia de 12.7 mm con golpes en los intervalos de 15 a 25, de 25 a 30 y de 30 a 35 golpes [13].

Los resultados se expresan en una gráfica denominada curva de escurrimiento, en donde el eje horizontal corresponde al número de golpes de la copa y el eje vertical representa el contenido de humedad en porcentaje. Se debe trazar una vertical sobre los 25 golpes y el punto en donde se interseque con la curva de escurrimiento será el valor del límite líquido [13].

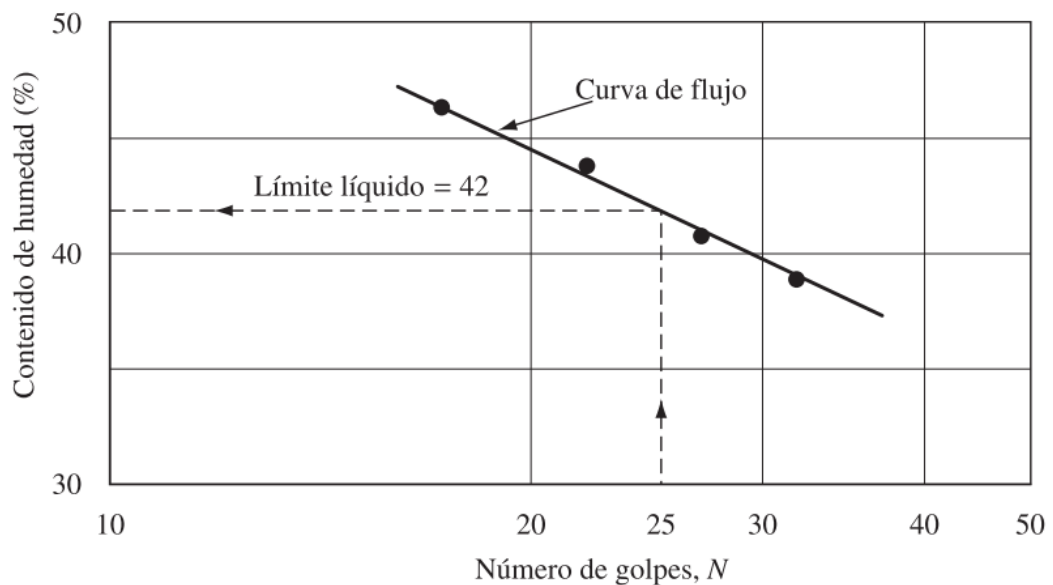


Figura 5. Curva de escurrimiento

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

El punto de intersección hallado refleja el contenido de humedad con el que el suelo alcanzará resistencia ante el esfuerzo cortante, se puede decir entonces que una curva de escurrimiento con pendiente pronunciada corresponde a un suelo con resistencia al corte alta y por otro lado cuando se presenta una mínima pendiente, la resistencia al corte será baja [18].

La bibliografía muestra valores típicos de límite líquido para arenas van de 15 a 20%, en el caso de limos de 30 a 40% y las arcillas en el rango de 40 a 150% [19].

Límite plástico (LP)

Frontera entre los estados semisólido y plástico. Para obtenerlo el procedimiento corresponde al de un contenido de humedad promedio. Se enrollan cilindros de

muestra con diámetro de 3,2 mm con la menor cantidad de agua necesaria para evitar su desmoronamiento [13].

El límite plástico corresponde al contenido de humedad que permite moldear los cilindros mencionados [17].

El valor que suele tomar este parámetro para arcillas está en el rango de 25 a 50%, si el suelo de análisis es un limo LP estará entre 20 y 25% y si es un arena de 15 a 20% [19].

Índice plástico (IP)

Para entender este parámetro se debe mencionar que el estado plástico se produce dentro de un rango de humedades corto, estos contenidos de humedad se colocan entre el límite líquido y el límite plástico. Este rango corresponde al índice plástico [17].

Se determina con la siguiente expresión:

$$IP = LL - LP$$

Siendo:

- LL, límite líquido.
- LP, límite plástico.
- IP, índice plástico.

La bibliografía indica que los valores típicos de IP para arenas, limos y arcillas corresponden a los rangos 0 - 3%, 10 - 15% y 10 - 100%, respectivamente [19].

Índice de liquidez (LI %)

Corresponde a la consistencia relativa que presenta un suelo cohesivo en estado natural, se obtiene con la fórmula descrita a continuación, pueden obtenerse valores con signo negativo y también superiores al 100% [13], [17].

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

Siendo:

- W, contenido de humedad.

- LL, límite líquido.
- LP, límite plástico.
- LI, índice de liquidez.

Límite de contracción (Lc%)

Frontera entre los estados semisólido y sólido. Para su determinación el Dr. Karl Terzaghi propuso una metodología sencilla que se basa en obtener el peso y volumen de la muestra seca en su totalidad, a partir de esto se puede decir que el Lc% es el contenido de humedad de la masa seca considerando que sus vacíos se encuentren saturados [13].

Con la pérdida continua y gradual de humedad que se produce en el suelo, este sufre cambios volumétricos hasta llegar al punto en donde la pérdida de humedad ya no genera alteraciones adicionales en su volumen. El límite de contracción se refiere precisamente al contenido de humedad en el que se detiene el cambio volumétrico [17].

En el caso de que el suelo de estudio corresponda a una arena el valor de Lc estará en el rango 12 - 18%, para el caso de limos 14 - 25 % y de ser arcilla 8 - 35% [19].

1.1.3.4.2.7. Gravedad específica de sólidos (Gs)

Su empleo es fundamental para la determinación de las relaciones volumétricas y gravimétricas de la masa de suelo. Este parámetro es la relación entre el peso unitario y la densidad del agua. En ingeniería civil es de interés la gravedad específica correspondiente a la fase sólida de la muestra de suelo. La fórmula para su obtención es presentada a continuación [11].

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Siendo:

- γ_s , peso específico de los sólidos.
- γ_w , peso específico del agua.
- G_s , gravedad específica de sólidos.

1.1.3.4.2.8. Densidad de Campo

Conocer este parámetro es importante ya que junto con el contenido de humedad permite predecir en que porcentaje debe ser compactado el suelo, para que este garantice su mayor resistencia [20].

Para su determinación se puede emplear diferentes tipos de metodologías como el cono de arena o el balón de densidad, también existe la opción del método nuclear. Los dos primeros procedimientos experimentales mencionados obtienen el peso del suelo húmedo de la muestra de suelo y este valor se divide para el volumen del hueco de la excavación [19].

$$\gamma_{\text{Hum}} = \frac{\text{Peso del suelo húmedo}}{\text{Volumen del hueco}}$$

El ensayo con cono de arena consiste en cavar un agujero con forma cilíndrica, el suelo extraído es pesado en estado natural y seco, el hueco se llena con arena de Ottawa. La normativa para su realización correspondiente es AASHTO T 100-70 [17].

Se puede clasificar el tipo de suelo en función del valor de densidad obtenido:

Tabla 2. Rangos típicos de densidad seca del suelo

TIPO DE SUELO	$\gamma_{\text{Seca}} (\text{gr}/\text{cm}^3)$
Arena (limpia y uniforme)	1.330 – 1.890
Arena (limosa)	1.390 – 2.030
Arena (micácea)	1.220 – 1.920
Limo inorgánico	1.280 – 1.890
Arena (limosa y grava)	1.420 – 2.340
Arena (fina a gruesa)	1.360 – 2.210

Fuente: Mecánica de los suelos, MS Lambe

1.1.3.4.2.9. Granulometría

El análisis de granulometría de un suelo permite predecir como afectará la variedad de tamaños de sus partículas en la densidad que este alcance por compactación [8]. Por medio de este estudio se llega a obtener los diferentes tamaños de partículas presentes en la muestra de suelo. Este ensayo se realiza con un tamiz cuya abertura de malla se

encuentra normalizada. En términos generales en ensayo consiste en secar la muestra de suelo y luego pasarla por una pila de tamices de diferentes aberturas, finalmente se pesa y representa en porcentaje el material que retiene cada tamiz [13].

Tabla 3. Escala de tamices estándar U. S.

MALLA NÚMERO	ABERTURA (mm ó μm)
3''	75.0
2''	50.0
1/2''	37.5
1''	25.0
3/4''	19.0
-	16.0
-	12.5
-	9.5
-	8.0
-	6.3
4	4.75
5	4.00
6	3.35
7	2.80
8	2.362
10	2.00
12	1.70
14	1.40
16	1.18
18	1.00
20	850 μm
25	710
30	600
35	500
40	425
45	355

50	300
60	250
70	212
80	180
100	150
120	125
140	106
170	90
200	75
230	63
270	53
325	45
400	38

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, J. Bowles

Para diferenciar los suelos gruesos de los finos se emplea el tamiz #200 o 0.075 mm; para el segundo grupo se emplea el procedimiento de análisis de hidrómetro cuyo fundamento es la sedimentación de granos [14]. En el manual de laboratorio de Bowles se menciona la serie de tamices típica recomendada para suelos arenosos con granos finos, ordenados de arriba hacia abajo:

Tabla 4. Serie típica de tamices

MALLA NÚMERO	ABERTURA (mm)
4	4.75
10	2.00
20	0.850
40	0.425
60	0.250
140	0.106
200	0.075
Bandeja	

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, J. Bowles

Los datos obtenidos del proceso de tamizaje se representan en un gráfico semilogarítmico en donde el eje horizontal logarítmico corresponde al tamaño de partículas en mm, cm, pulgadas o número de tamiz y el eje vertical representa al porcentaje de material que pasa [13].

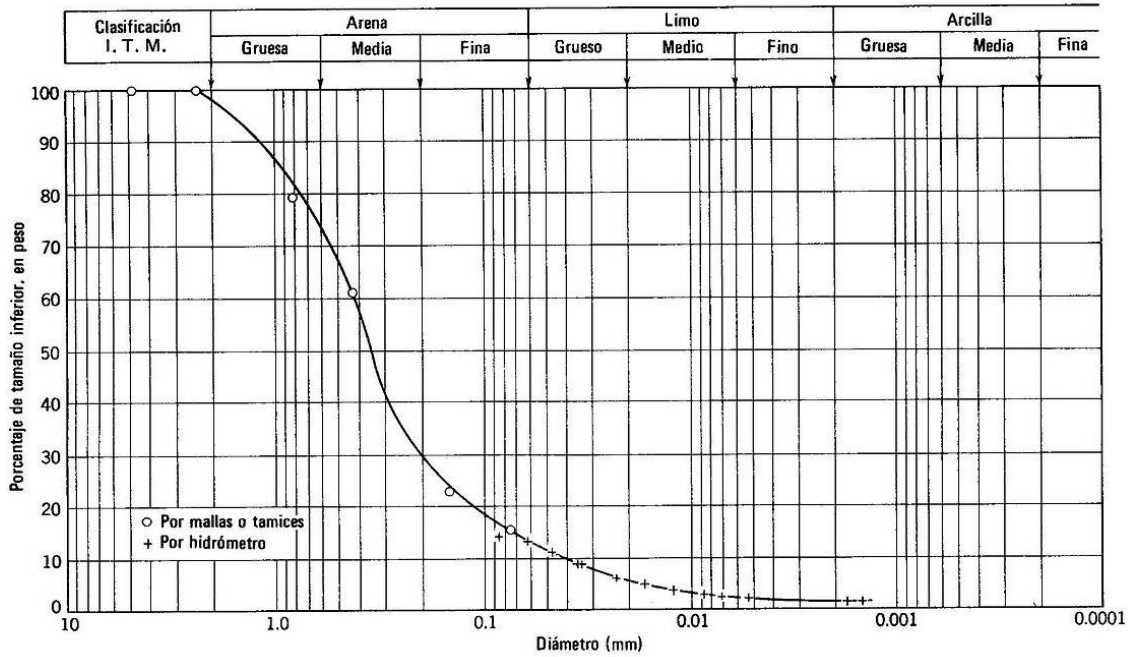


Figura 6. Curva granulométrica de un suelo

Fuente: Mecánica de los suelos, MS Lambe

En el caso de que la curva granulométrica presente una pendiente pronunciada o sea muy vertical significa que el suelo está mal graduado, por otro lado, si la inclinación de la curva es moderada y se extiende de lado a lado en toda la gráfica quiere decir que el suelo de estudio tiene buena distribución granulométrica entre gravas, arenas, limos y arcillas [8], [14].

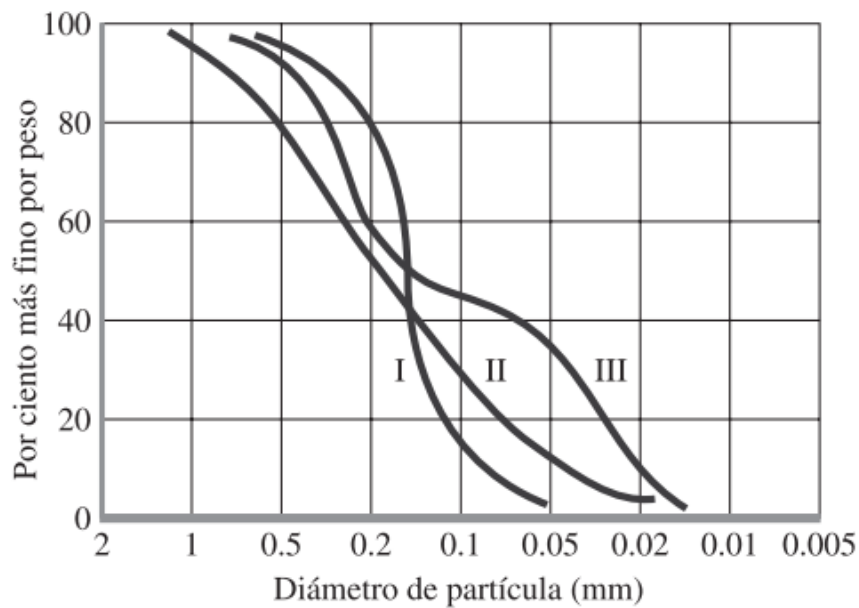


Figura 7. Curva granulométrica en función de su pendiente

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Partiendo de que la forma que tome la curva semilogarítmica también proporciona una idea de la distribución granulométrica del suelo estudiado, en la figura 7 la curva I indica un suelo mal o pobremente graduado y se entiende que las partículas que lo conforman son en su mayoría del mismo tamaño. La curva II corresponde a un suelo en el que se pueden encontrar granos de diferentes tamaños, por lo tanto, estará bien graduado, finalmente la curva III se conoce con el nombre de brecha clasificada [13].

Los parámetros granulométricos que nos permiten obtener la información concreta del suelo analizado son:

Diámetro efectivo (D10)

Grupo de partículas con tamaño que representa el 10% del material que pasa, en milímetros [11].

Diámetro equiparable (D30)

Grupo de partículas con que representa el 30% del material que pasa, medido en milímetros [11].

Diámetro dimensional (D60)

Grupo de partículas con que representa el 60% del material que pasa, medido en milímetros [11].

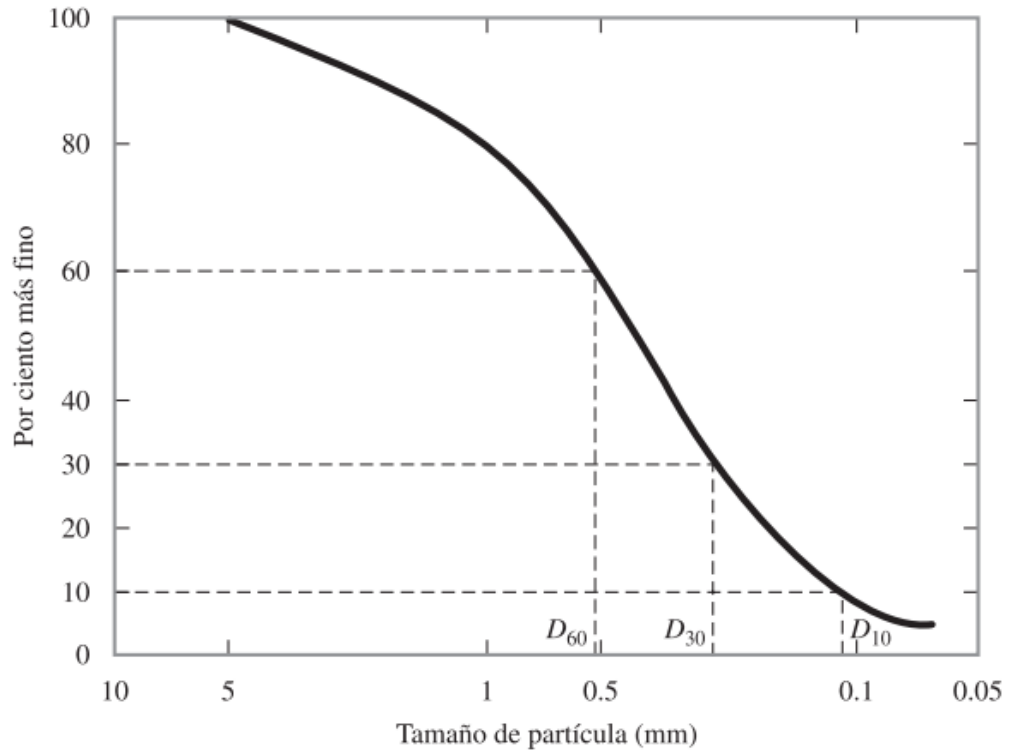


Figura 8. Parámetros D10, D30 y D60

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Coefficiente de uniformidad (Cu)

Relación entre el diámetro dimensional y el diámetro efectivo.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Siendo:

- D60, diámetro dimensional.
- D10, diámetro efectivo.
- Cu, coeficiente de uniformidad.

Para que se considere que un suelo tiene buena granulometría es necesario que el coeficiente de uniformidad sea superior a 4 en caso de gravas y superior a 6 en arenas [8], [13].

Coeficiente de curvatura (Cc)

Se determina con la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{60} * D_{10})}$$

Siendo:

- D30, diámetro equiparable.
- D60, diámetro dimensional.
- D10, diámetro efectivo.
- Cc, coeficiente de curvatura.

Cuando el coeficiente de curvatura se encuentra en el rango de 1 a 3 el material analizado tiene buena granulometría, por otro si se encuentra fuera de los límites corresponde a un suelo con mala granulometría [8], [13].

1.1.3.5. Clasificación de suelos AASHTO

Se desarrolló en el año de 1929 con el nombre de Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras, actualmente se encuentra estandarizado bajo la normativa ASTM D-3282 y el método AASHTO M145. Este modelo de clasificación toma en cuenta siete tipologías principales de suelo, nombradas desde la A-1 a la A-7; los materiales que corresponden a los 3 primeros grupos son granulares y los de los grupos restantes son limo-arcillosos [13].

Para clasificar un suelo bajo este sistema se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Tamaño de la partícula, la grava es el suelo que pasa el tamiz con abertura de 75 mm y que retiene el de 2 mm (#10), la arena es el porcentaje que pasa a través del tamiz de 0.075 mm (#200), finalmente los limos y arcillas corresponden al material que pasa el tamiz de 2 mm (#10) y es retenido por el de 0.075 mm (#200) [13].

- Según la plasticidad, el material que presente un IP igual o inferior a 10 corresponde a un limo por otro lado si índice de plasticidad es mayor a 10 [13].
- En el caso de que se presenten partículas que superen los 75 mm, estos deben excluirse del material analizando una vez tomado su porcentaje [13].

Tabla 5. Clasificación de suelos AASHTO

DIVISIÓN GENERAL		MATERIALES GRANULARES (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						MATERIALES LIMO-ARCILLOSOS (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
SUBGRUPO		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasa por cada tamiz)													
SERIE ASTM	#10	≤50											
	#40	≤30	≤50	≥51									
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
LÍMITE LÍQUIDO				NP	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41 (IP<LL-30)	≥41 (IP>LL-30)
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		≤6			≤10	≤10	≤11	≤11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO		0		0	0		≤4		≤8	≤12	≤16		≤20
TIPOLOGÍA		Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD		EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, J. Bowles

Para diferenciar los suelos dentro de los grupos A2, A4, A5, A6 y A7 se analiza el LL e IP en el gráfico mostrado a continuación [13].

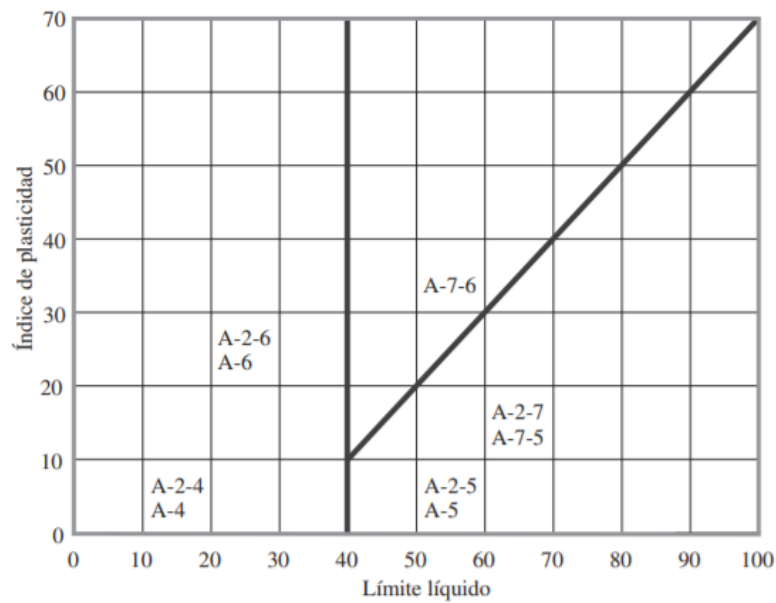


Figura 9. Carga de plasticidad AASHTO

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Para garantizar que la clasificación de suelos en función de la plasticidad se toma en cuenta el parámetro denominado índice de grupo (IG), para obtenerlo se hace uso del límite líquido, índice de plasticidad y el porcentaje que pasa el tamiz #200 [13].

De manera general el procedimiento para determinar el índice de grupo es la siguiente:

$$IG = LL - LP$$

Siendo:

- LL, límite líquido.
- LP, límite plástico.
- IP, índice plástico.

Existe una expresión matemática que permite determinar directamente el IG, sin embargo, no es muy exacta, por esta razón se hace uso de ábacos [14].

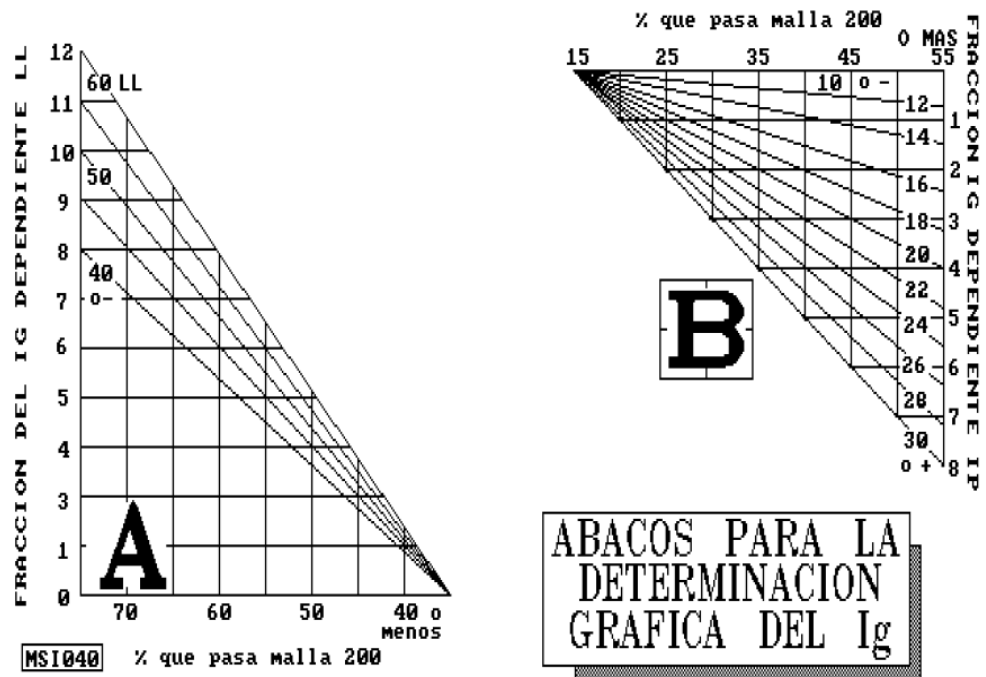


Figura 10. Ábacos de determinación de Índice de Grupo

Fuente: Manual de laboratorios, J. Bowles

Finalmente, la sumatoria de los valores obtenidos con el empleo de los ábacos, corresponderá al índice de grupo del suelo de estudio.

$$IG = \sum (\text{Ábaco A} + \text{Ábaco B})$$

La clasificación del suelo en función de este parámetro es la siguiente.

Tabla 6. Calidad del suelo en función del Índice de Grupo

ÍNDICE DE GRUPO	CALIDAD DEL SUELO
0	Excelente
0 - 4	Excelente a Muy Bueno
4 - 8	Muy Bueno a Bueno
8 - 12	Bueno a Regular
12 - 16	Regular a Malo
16 - 20	Malo a Inaceptable

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, J. Bowles

1.1.3.6. Clasificación de suelos SUCS

A. Casagrande, empleado del Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos en 1948, diseñó este método que años después fue modificado por el Bureau of Reclamación, naciendo el denominado Sistema unificado de clasificación de suelo. Este sistema es regido por la normativa ASTM D-2487 y hoy en día es bastante utilizado por los técnicos [13], [19].

Para esta clasificación se toma en cuenta el prefijo que representa el tipo de suelo y el sufijo que corresponde a la característica que presente [19].

Tabla 7. Símbolos de grupo (SUCS)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	H
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	L

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

A partir del grupo y subgrupos presentados en la tabla anterior, existen diferentes combinaciones que definen la tipología del suelo en análisis [19].

Para clasificar el suelo bajo este sistema, se toman en cuenta dos grupos principales.

- Material con partículas gruesas (arena y grava) en condiciones naturales con una fracción que pasa el tamiz #200 menos del 50% [13].
- Material con partículas finas cuya fracción que pasa el tamiz #200 es igual o superior al 50% [13].

Tabla 8. Clasificación de suelos SUCS

SÍMBOLO	CARACTERÍSTICAS GENERALES		
GW	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
GP			Pobrementegraduadas
GM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
GC			Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias (Finos<5%)	Bien graduadas
SP			Pobrementegraduadas
SM		Con finos (Finos>12%)	Componente limoso
SC			Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH	ORGÁNICOS	Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	TURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das

Para clasificar los suelos finos en función de su plasticidad, se emplea Carta de plasticidad SUCS, en la que presenta la relación Límite líquido Vs índice plástico. En base a investigación experimental con suelos finos, Casagrande elaboró una gráfica en la que se aprecian dos líneas limitantes. La línea A destinada a separar arcilla (C) de limo (M) y suelo orgánico (O), por otro lado la recta B que divide según la plasticidad alta (H) o baja (L) [19].

Línea A

$$IP = 0.73 * (\text{Límite líquido} - 20)$$

Línea B

$$LL = 50$$

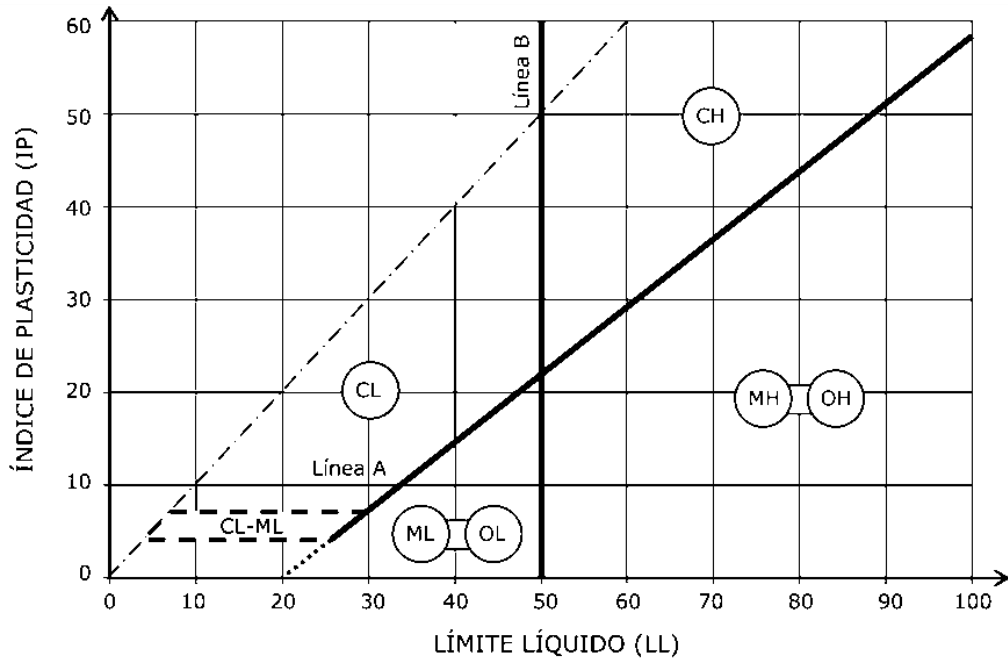


Figura 11. Carta de plasticidad SUCS, sistema unificado de clasificación de suelos.

Fuente: Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento, L. Bañón, J. Beviá

1.1.3.7. Propiedades mecánicas del suelo

Es importante comprender la respuesta mecánica que tendrá el suelo cuando se le apliquen cargas y de ser el caso mejorar sus características y propiedades para garantizar la supervivencia de las estructuras que están asentadas sobre él. Esto se realiza a través de diferentes tipos de ensayos, algunos de ellos son:

1.1.3.7.1. Compactación

La compactación tiene como objetivo alcanzar la densidad máxima del suelo en función de determinar el contenido de humedad óptimo, al hacer esto se mejora su resistencia, capacidad de carga, indeformabilidad e impermeabilidad; de esta manera se garantiza el correcto comportamiento mecánico del suelo de fundación [13].

Los procesos de compactación se consideran procedimientos mecánicos artificiales que se realizan con la finalidad de obligar a las partículas de la masa de suelo a

disminuir los espacios entre ellas, por lo tanto, estarán más en contacto unas con otras, reduciendo los vacíos y mejorando sus propiedades físicas y mecánicas [20].

Métodos de compactación

Existen diversos métodos de compactación que dependerán tanto del tipo de esfuerzo aplicado al suelo como su tiempo duración, algunos de ellos son: el procedimiento mediante amasado empleado para suelos finos o cohesivos, se ocupa el rodillo pata de cabra; la compactación por presión está destinada para materiales friccionantes y los equipos utilizados son rodillos lisos y neumáticos; en el caso de compactación por impacto se emplean apisonadoras o pisones; si el equipo utilizado emite vibraciones o pulsaciones entonces la compactación es por vibración. Actualmente el desarrollo tecnológico ha permitido realizar procesos de compactación combinando dos o más métodos [13].

Factores que influyen en la compactación de suelos

- El tipo de suelo: las propiedades índice como la granulometría determinan la naturaleza de un suelo y permite intuir cuan complicado será alcanzar la máxima densidad [11], [20].
- El método de compactación: se selecciona según el tipo de suelo que se requiere densificar, por lo tanto, los procedimientos destinados para suelos gruesos no serán eficaces en suelos finos y viceversa [11], [20].
- Energía de compactación: se obtiene por procedimientos de laboratorio y se asocia con la cantidad de trabajo que deberá realizar la maquinaria en campo, para conseguir el nivel de compactación requerido [13].
- Contenido de humedad: si la humedad inicial es inferior al contenido de humedad requerido entonces las densidades serán bajas y los contenidos de aire elevados, por otro lado, si esta por sobre el contenido óptimo aumenta la cantidad de agua y disminuye la densidad; los dos casos implican dificultad para compactar [11], [20] .
- La re-compactación: cuando se realiza pruebas de laboratorio que involucran la compactación consecutiva de la misma muestra de suelo, esta llega a sufrir cambios volumétricos pudiéndose originar fracturas en sus partículas y posterior agrietamiento [11], [20].

1.1.3.7.2. Ensayo Proctor

Este ensayo se realiza aplicando la metodología estándar (AASHTO T-99) o modificada (AASHTO T-180) con el objetivo de encontrar la relación entre contenido de humedad óptimo y la densidad máxima, parámetros de los que depende el proceso de compactación [13].

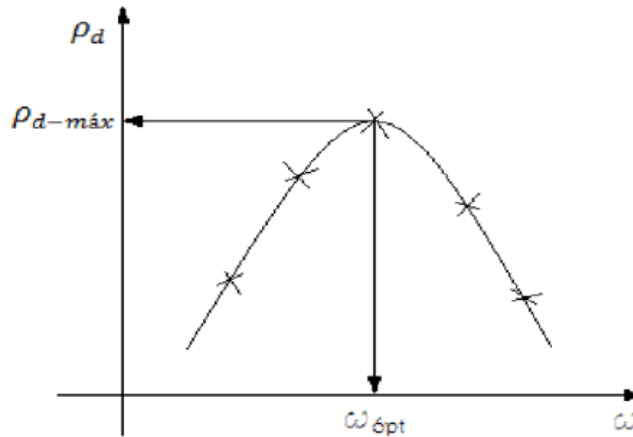


Figura 12. Curva de compactación Proctor

Fuente: Compactación de suelos, Armas Novoa, 2016

Cuando el suelo a ensayar es menor a $\frac{3}{4}$ '' el método que se ocupa es el Proctor estándar, por otro lado, si se supera este límite entonces corresponde el Proctor modificado. En sus dos variantes, la prueba se basa en colocar suelo dentro de un molde cilíndrico y compactarlo por capas haciendo uso de un martillo que comunica al suelo energía de compactación; la diferencia radica en número de capas, peso de martillo, altura de caída y energía de compactación aplicada [17], [21].

Tabla 9. Comparación de Aparato, Muestra y Procedimiento - Métrico

	T 99	T 180
Volumen de molde, ft ³ .	Métodos A, C: 0.0333 ± 0.0005	Métodos A, C: 0.0333 ± 0.0005
	Métodos B, D: 0.07500 ± 0.0009	Métodos B, D: 0.07500 ± 0.0009
Diámetro de molde, pulg.	Métodos A, C: 4.000 ± 0.016	Métodos A, C: 4.000 ± 0.016
	Métodos B, D: 6.000 ± 0.026	Métodos B, D: 6.000 ± 0.026
Altura de molde, pulg.	4.584 ± 0.018	4.584 ± 0.018
Altura del collar desmontable, pulg.	2.000 ± 0.025	2.000 ± 0.025
Diámetro del pistón, pulg.	2.000 ± 0.025	2.000 ± 0.025
Peso de pistón, lb.	5.5 ± 0.02	10 ± 0.02
Altura de caída de pistón, pulg.	12	18
Capas	3	5
Golpes por capa	Métodos A, C: 25	Métodos A, C: 25
	Métodos B, D: 56	Métodos B, D: 56
Tamaño del material, pulg.	Métodos A, B: No. 4 menos	Métodos A, B: No. 4 menos
	Métodos C, D: ¾ menos	Métodos C, D: ¾ menos
Tamaño de la muestra de prueba, lb.	Método A: 7 Método C: 12 ₍₁₎	Método B: 16 Método D: 25 ₍₁₎
Energía de compactación, lb-ft/ft ³ .	12375	56250

⁽¹⁾ Esto puede no ser una muestra suficientemente grande dependiendo de su tamaño máximo nominal para la muestra de contenido de humedad.

Fuente: Washington State Department of Transportation: Materials manual, R.

Williams

La diferencia entre los dos métodos para llevar a ejecutar el ensayo Proctor también se puede apreciar en las gráficas que reflejan los resultados obtenidos, en el caso del procedimiento estándar se requiere un contenido de humedad mayor para conseguir la humedad óptima y la densidad máxima, sucede lo contrario en la metodología modificada [12].

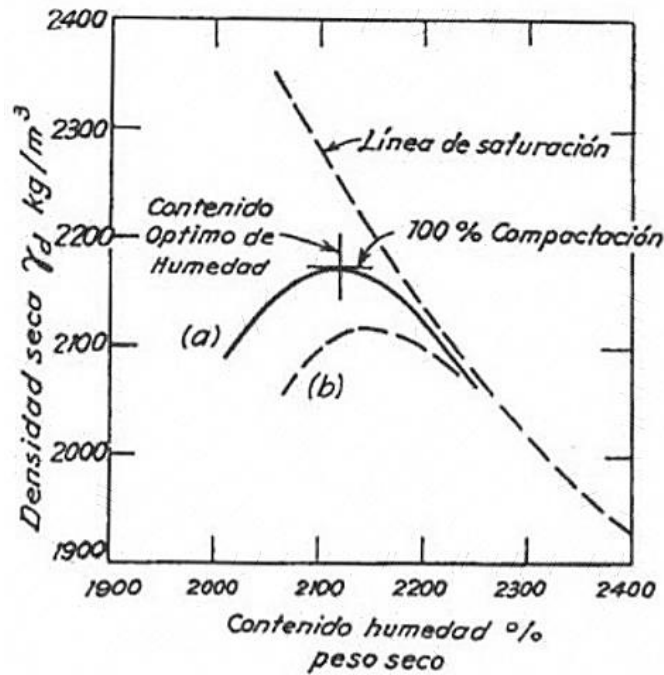


Figura 13. Diferencias entre los ensayos Proctor estándar y modificado.

Fuente: Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica, K. Terzaghi.

En la figura 13 se aprecia la variación de densidad seca con respecto al contenido de humedad, la curva *a* corresponde a un proceso de compactación con mayor energía de compactación (Proctor modificado) y la curva *b* indica el mismo proceso de compactación pero con menor energía de compactación (Proctor estándar) [12].

Dado que en los procesos de densificación de suelos la energía de compactación cumple un papel importante, esta se determina también en este ensayo, con la siguiente fórmula.

$$E = \frac{N * n * w * h}{V}$$

Siendo:

- N, número de golpes por capa.

- n, número de capas.
- W, peso del pistón.
- h, altura de caída.
- V, volumen de suelo compactado.
- E, energía de compactación.

1.1.3.7.3. CBR, Relación de soporte de California

Es el parámetro que cumple el papel de evaluar la capacidad portante del terreno, esta se traduce como la máxima presión puede soportar el suelo sin que este experimente un asentamiento diferencial excesivo [19].

Bowles en su manual de carreteras, menciona que el CBR mide la resistencia a corte del suelo a través de la relación entre la carga unitaria que se necesita para que el pistón penetre cierta profundidad en la muestra de suelo compactada, en relación a la carga tomada como patrón. La ecuación que lo define se muestra a continuación [14].

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria de patrón}} * 100$$

La carga unitaria que sirve de patrón es indicada por la ASTM:

Tabla 10. Carga patrón

PENETRACIÓN		CARGA UNITARIA PATRÓN	
mm	pulgadas	MPa	Psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

Fuente: Manual de laboratorios de Suelos, J. Bowles

Para analizar los resultados, se construye un gráfico relacionando la presión y la penetración. Se toma lectura de la presión aplicada para las profundidades de 2.5 y 5.0

mm, se comparan con la muestra patrón y el mayor valor de los dos es el parámetro CBR que se busca [19].

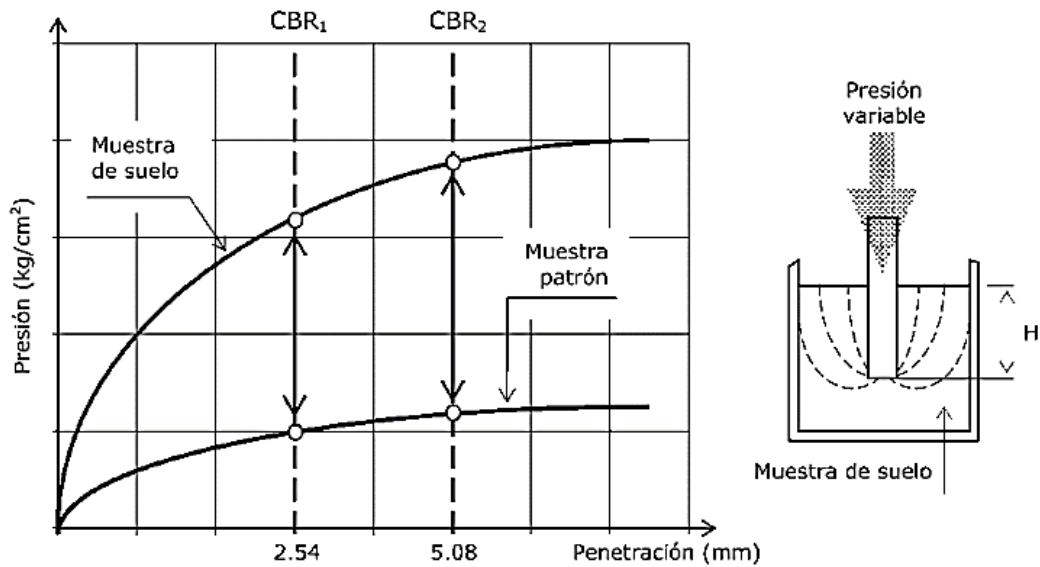


Figura 14. Gráfico Presión-Penetración, CBR

Fuente: Manual de laboratorios de Suelos, J. Bowles

Dependiendo del CBR obtenido, podemos categorizar el suelo de la siguiente manera.

Tabla 11. Clasificación en función del CBR

VALOR CBR	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
0 – 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3 – 7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7 – 20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20 – 50	Bueno	Base, sub base	CM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A-3

Fuente: Manual de laboratorios de Suelos, J. Bowles

1.1.3.7.4. DCP, Cono dinámico de penetración

Este ensayo permite determinar la velocidad con la que penetra un martillo estandarizado en el suelo sin perturbar y compactado. Esta velocidad tiene relación con el índice CBR determinado en campo. En términos generales el procedimiento consiste en introducir la punta en el material de análisis, levantar el martillo y luego dejarlo caer, se da lectura y registra la penetración total en función del número de golpes (mm/golpe) [22].

Dado que el CBR representa una prueba compleja que requiere de mucho tiempo, el DCP facilita su obtención ya que ofrece una metodología más sencilla e instrumentos mucho más prácticos, por esta razón existen normativas como la Nevi-12 permiten emplear el DCP como un ensayo alternativo para encontrar valor de CBR en la subrasante [23], [24].

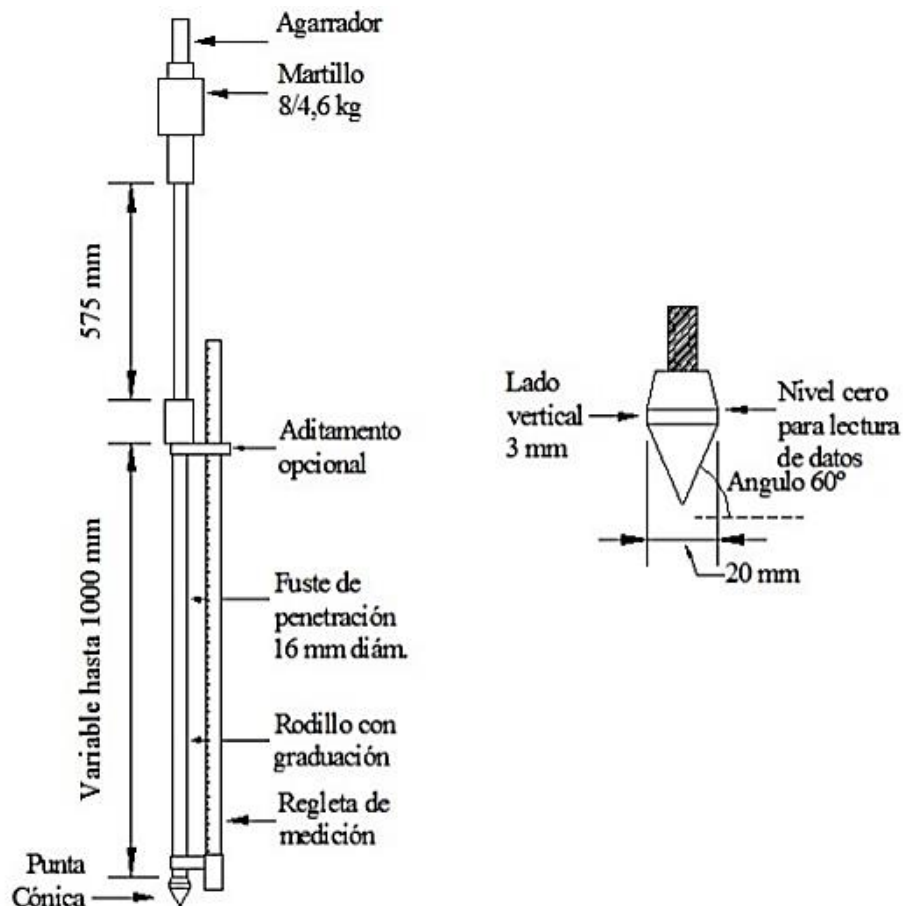


Figura 15. Esquema del Equipo DCP (ASTM D-6951-03).

Fuente: El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos,

F. Viscarra

Los resultados se representan en un grafica donde el eje horizontal representa los golpes acumulados y eje vertical la penetración. A partir de esto se puede determinar el número de capas que existen y su espesor [24].

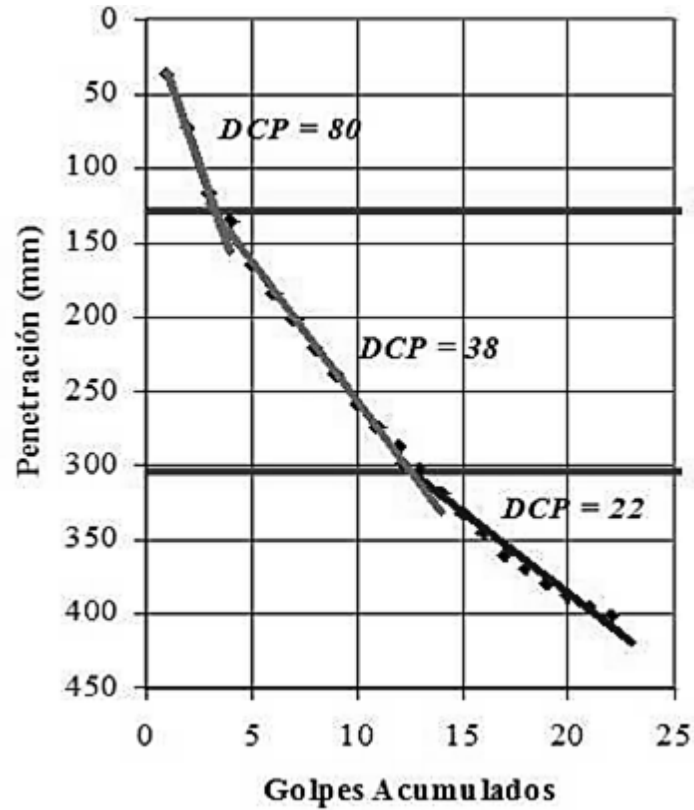


Figura 16. Esquema del Equipo DCP (ASTM D-6951-03)

Fuente: El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos, F. Viscarra

El número DCP, es la representación de la penetración lograda por golpe y para la capa de suelo que está analizando indica la pendiente de su curva DCP, de esto se puede decir que mientras más verticalidad presente la resistencia del suelo será menor [24].

1.1.3.8. Estadística

Correlación y regresión

La correlación busca medir con que fuerza dos variables se asocian y por otro lado la regresión predice el valor de la variable dependiente a partir de la variable independiente. Existirá una correlación perfecta, cuando las dos variables logran satisfacer una ecuación [25], [26].

1.1.3.8.1. Regresión

Determinar el valor que tendrá la variable Y en función de X, requiere el uso de datos provenientes de muestras. Esto se realiza utilizando la curva de mínimos cuadrados corregida para estos datos, a esta gráfica se le denomina curva de regresión de Y en X. Cabe mencionar que la curva de regresión de X en Y será diferente. Analizar la regresión sirve para obtener una expresión matemática que indica como se relacionan las variables [25], [26].

La regresión también busca explicar la relación causa-efecto entre variables y también revela la naturaleza de esta relación, es decir si es de tipo lineal, parabólica, exponencial u otras [26].

Algunos de los parámetros involucrados para realizar este análisis son:

Tabla 12. Media, varianza, desviación típica y covarianza

MEDIA ARITMÉTICA	VARIANZA	DESVIACIÓN TÍPICA	COVARIANZA
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ $\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$s_x^2 = \frac{\sum x_i^2 - n\bar{x}^2}{n}$ $s_y^2 = \frac{\sum y_i^2 - n\bar{y}^2}{n}$	$s_x = \sqrt{s_x^2}$ $s_y = \sqrt{s_y^2}$	$\text{Cov} = \frac{\sum x_i * y_i}{n} - \bar{x} * \bar{y}$
$\sum x_i$, sumatoria de datos analizados. n, número de datos total.	$\sum x_i$, sumatoria de datos analizados. \bar{x} , media aritmética. n, número de datos total.	S_2 , varianza.	n, número de datos total. \bar{x} , \bar{y} , medias aritméticas.

Fuente: Estadística y muestro, B. Ciro

1.1.3.8.1.1. Diagrama de dispersión

Una vez obtenidos los datos que representan a las variables a partir de la muestra, el paso a seguir es representarlos en un plano cartesiano. Los pares ordenados serán (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , (X_3, Y_3) , ..., (X_n, Y_n) y el conjunto de todos ellos es el diagrama de

dispersión. En este diagrama se puede apreciar visualmente la curva que mejor se aproxima a los datos, esta puede ser de tipo “lineal” y cuando esto no es posible se habla de una relación “no lineal” [25].



Figura 17. Relación lineal entre variables

Fuente: Estadística, M. Spiegel, L. Stephens

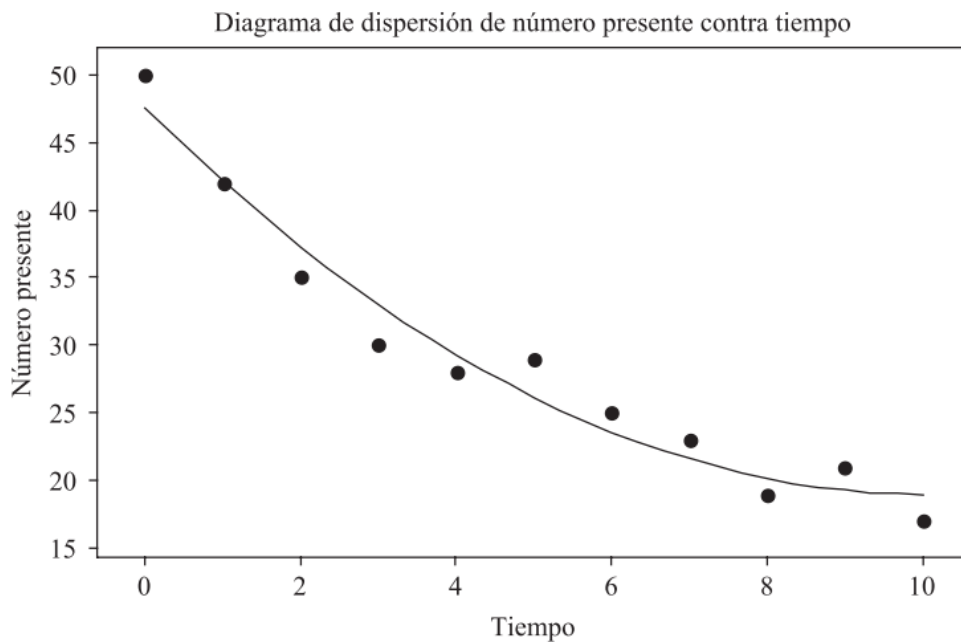


Figura 18. Relación no lineal entre variables

Fuente: Estadística, M. Spiegel, L. Stephens

Las curvas de aproximación más comunes son:

Tabla 13. Curvas de aproximación

TIPO	ECUACIÓN
Lineal	$Y = a_0 + a_1x$
Cuadrática	$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2$
Cúbica	$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$
Cuártica	$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4$
Grado n	$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$
Exponencial	$Y = ab^x$
Geométrica	$Y = ax^b$
Hipérbola	$Y = \frac{1}{a_0 + a_1x}$

Fuente: Estadística, M. Spiegel, L. Stephens

Método de los mínimos cuadrados

Dado que existe una desviación entre los datos representados en el diagrama de dispersión y los puntos que corresponden a la curva de aproximación, es importante determinar esta variación para cada par ordenado, entonces para (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) , $(X_3, Y_3), \dots, (X_N, Y_N)$ se tendrá una desviación $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ con respecto a sus valores correspondientes en la curva. Cabe mencionar que D puede ser positivo, negativo o igual a cero [25].

El nivel de ajuste de curva viene denotado por $D^2_1 + D^2_2 + D^2_3 + \dots + D^2_N$ y si el resultado de esta operación es un valor pequeño entonces el ajuste es óptimo, caso contrario si se obtiene una cantidad grande se considerará malo. La curva de mínimos cuadrados que se toma en el ajuste, es aquella en donde la suma de los cuadrados de las desviaciones sea la mínima [25].

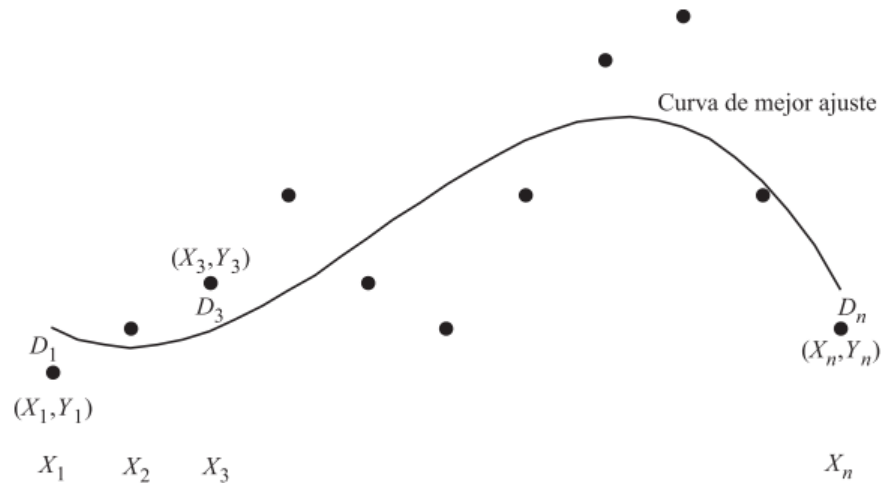


Figura 19. Curva de ajuste

Fuente: Estadística, M. Spiegel, L. Stephens

Para obtener la recta ajustada por mínimos cuadrados para el conjunto correspondiente a la ecuación $Y = a_0 + a_1x$, los coeficientes se determinan el siguiente sistema:

$$\begin{cases} \sum Y = a_0N + a_1 \sum x \\ \sum XY = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 \end{cases}$$

Para obtener la curva ajustada por mínimos cuadrados para el conjunto correspondiente a la ecuación no lineal $Y = a_0 + a_1x + a_2x^2$, los coeficientes se determinan el siguiente sistema:

$$\begin{cases} \sum Y = a_0N + a_1 \sum X + a_2 \sum X^2 \\ \sum XY = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum X^3 \\ \sum X^2Y = a_0 \sum X^2 + a_1 \sum X^3 + a_2 \sum X^4 \end{cases}$$

1.1.3.8.2. Correlación

Es un término con el que se define el nivel de correspondencia que existe entre variables, en otras palabras, sirve para establecer mediante un coeficiente de correlación que tan eficiente es una expresión matemática para describir esta relación [25], [27].

1.1.3.8.2.1. Coeficiente de correlación o de Pearson

Para determinar su valor partimos del coeficiente de correlación muestral que se obtiene con la ecuación:

$$-1 \leq r \text{ o } R \leq 1$$
$$r = \frac{\text{Covarianza}}{S_X S_Y}$$

Siendo:

- r , coeficiente de correlación muestral.
- S_X , desviación típica X.
- S_Y , desviación típica Y.

Si r es igual a 0 o menor a 0.3 quiere decir que no existe relación entre las variables, en el caso de que r tome el valor de +1 se traduce como una relación lineal perfecta cuya pendiente es positiva, cuando r equivale a -1 significa que existe una relación lineal perfecta con pendiente negativa. De esta manera se concluye que mientras el coeficiente de correlación muestral se acerque más al valor de 1 mejor será la relación que existe entre variables [26], [27].

Tabla 14. Rangos de coeficiente de correlación muestral (r)

TIPO DE CORRELACIÓN	RANGO
Perfecta	$r = 1$, $r = -1$
Excelente	$0.9 < r < 1$, $-1 < r < -0.9$
Aceptable	$0.8 \leq r \leq 0.9$, $-0.9 \leq r \leq -0.8$
Regular	$0.6 \leq r \leq 0.8$, $-0.8 \leq r \leq -0.6$
Mínima	$0.3 \leq r \leq 0.6$, $-0.6 \leq r \leq -0.3$
No hay correlación	$0.0 < r < 0.3$, $-0.3 < r < -0.0$

Fuente: Estadística y muestreo, C. Martínez

El cuadrado del coeficiente de correlación muestral también denominado coeficiente de determinación, debe cumplir con la condición:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

$$R^2 = \frac{\text{Covarianza}^2}{S_x^2 S_y^2}$$

Siendo:

R^2 , coeficiente de correlación muestral al cuadrado.

S_x , desviación típica X.

S_y , desviación típica

Es sumamente importante comprender e interpretar este valor de manera correcta, cuando R^2 toma el valor de 1, entonces la correlación es perfecta lo que quiere decir que los pares ordenados del gráfico de dispersión se confunden con los puntos que corresponden a la curva; por otro lado, si se cumple que $0 \geq R^2 \leq 0.3$ significa que el conjunto de datos no es representado por la curva y por lo tanto las variables no se correlacionan [26].

1.1.3.9. Pavimentos

Se define con este término a la estructura que se asienta en el suelo de fundación que cumple con la función de servir de superficie de rodadura para la movilización del tráfico [28].

El pavimento es un paquete estructural compuesto por capas sobrepuestas, que son diseñadas y construidas cumpliendo procedimientos técnicos normalizados. Su objetivo es soportar las cargas transmitidas por el tránsito durante el periodo de diseño. Entre sus características más importantes se mencionan: Alta resistencia a los fenómenos ambientales, capa de rodadura apropiada para brindar comodidad y seguridad a los usuarios, durabilidad, drenaje adecuado y otras [29].

1.1.3.9.1. Pavimento rígido

Tipo de pavimento cuya capa de rodadura es una losa de hormigón de cemento hidráulico que se apoya sobre una subbase y a su vez sobre la subrasante, no se adapta a las deformaciones del terreno por lo que ofrece poca resistencia a tracción [30].

1.1.3.9.2. Pavimento semirrígido

Se asemejan a la estructura del pavimento flexible, la diferencia radica en que una de sus capas subyacentes, está rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos [30].

1.1.3.9.3. Pavimento flexible

Tienen como capa de rodadura la carpeta asfáltica, por lo tanto como su nombre lo indica se adapta a las deformaciones del terreno debido a que tiene menos rigidez, en este caso el paquete estructural está conformado por la capa de rodadura, base, subbase y subrasante [30], [31].

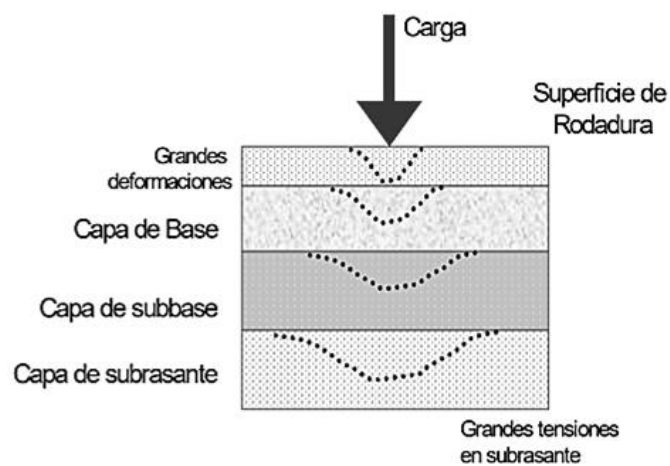


Figura 20. Esquema de pavimento flexible

Fuente: Manual Centroamericano de diseño de pavimentos, J. Coronado

1.1.3.9.3.1. Elementos del pavimento flexible

Superficie de rodadura

Es la capa más superficial de la estructura de pavimento, proporciona una superficie lisa y uniforme para la circulación de tránsito, también cumple el papel de impermeabilizar para impedir el ingreso de agua [30].

Base

Es la capa destinada a absorber y repartir de forma uniforme las cargas transmitidas por el tránsito a las capas inferiores, por lo tanto, disminuye los esfuerzos de corte que se comunican a la subbase y subrasante, brinda resistencia a los cambios de temperatura y humedad. Si su resistencia es buen puede reducir el espesor de la superficie de rodadura [30].

Subbase

Capa ubicada entre la subrasante y base, que cumple la función de drenaje del pavimento, controla los cambios volumétricos y la capilaridad de agua de niveles freáticos cercanos que pueden afectar el suelo de fundación [30].

Subrasante

Cumple el papel de brindar soporte al pavimento y de su calidad depende el espesor del paquete estructural. Por esta razón es sumamente importante analizar las propiedades del suelo de fundación y de la subrasante [32].

1.1.3.9.3.2. Diseño de pavimento flexible según la norma AASHTO 1993

Esta metodología de diseño surgió a partir del diseño propuesto por el comité AASHTO, 1991. El método actual se publicó en 1986 una vez que fue revisada y complementada [32].

Es un método conservador, se basa en la ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Siendo:

- W_{18} , tránsito equivalente.
- Z_r , desviación estándar normal.
- SN , número estructural.
- S_0 , desviación estándar global.
- ΔPSI , pérdida de serviciabilidad.
- M_r , módulo de resiliencia (subrasante).

Procedimiento de diseño

- Paso 1: Determinar el tráfico para el periodo de diseño (W_{18}).
- Paso 2: Establecer el valor de confiabilidad R y desviación estándar global S_0 .
- Paso 3: Calcular el módulo de resiliencia M_r para la subrasante.
- Paso 4: Determinar los índices de serviciabilidad inicial y final para el diseño.
- Paso 5 Obtener SN , número estructural.

- Paso 6. Encontrar los espesores de cada capa, para satisfacer SN.

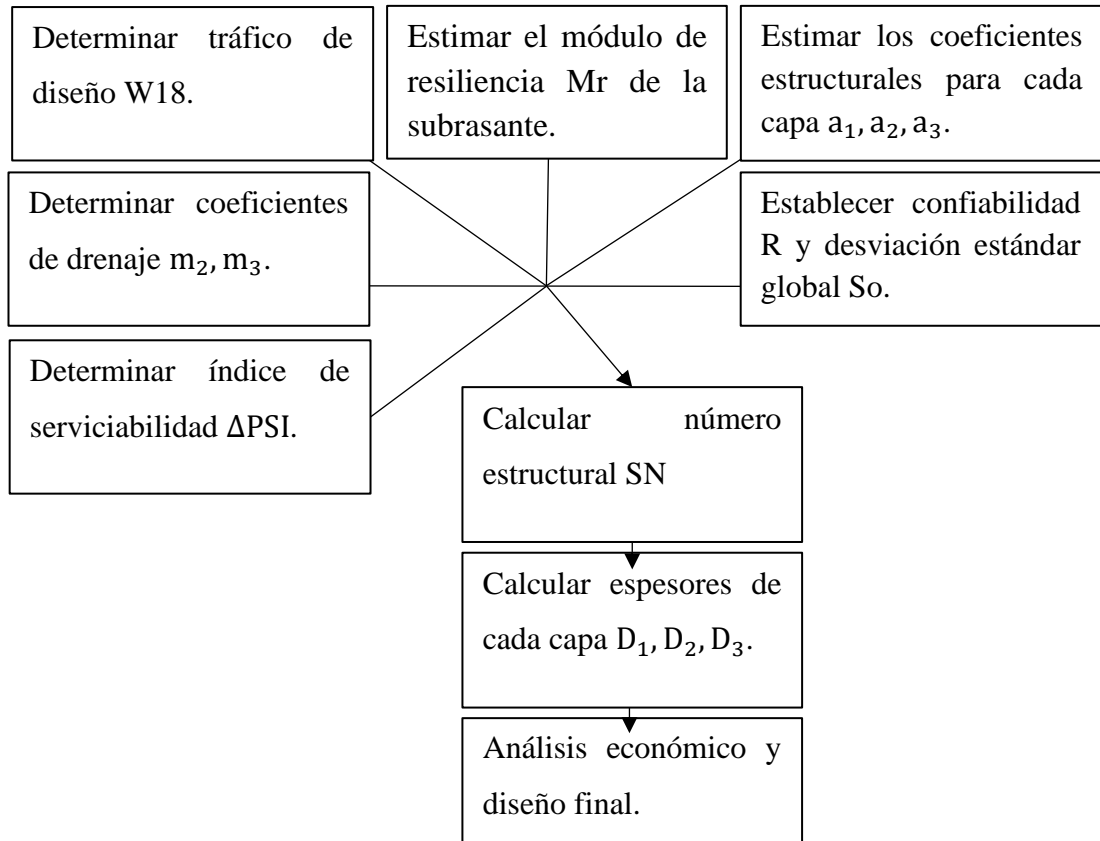


Figura 21. Procedimiento de diseño método AASHTO 1993

Fuente: Ingeniería de pavimentos: Materiales, Diseño y Conservación, J. Menéndez

Periodo de diseño

Corresponde al tiempo con el que se diseña una estructura de pavimentos, es el periodo en donde el pavimento debe cumplir la función para la cual fue diseñado [31].

Tabla 15. Periodo de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)
Urbana de alto volumen	30-50
Rural de alto volumen	20-50
Pavimentada de bajo volumen	15-25
No pavimentada de bajo volumen	10-20

Fuente: Normas de Diseño Geométrico de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas

Tránsito equivalente (W18)

Para determinar la carga transmitida por el tránsito, esta metodología emplea de forma acumulada durante el periodo de diseño, los ejes equivalentes sencillos iguales a 18000 lb u 8.2 ton [33].

Tabla 16. Porcentaje de tránsito equivalente

N° DE CARRILES EN UNA SOLA DIRECCIÓN	%W ₁₈ , PARA EL CARRIL DE DISEÑO, D _L
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Confiabilidad (R)

Este parámetro hace referencia al comportamiento que tendrá el paquete estructural diseñado durante la vida útil. Para cada R existe un coeficiente Z_r (Desviación estándar normal) y a su vez este se obtiene a partir de S_o (Desviación estándar global) [33].

Tabla 17. Confiabilidad recomendada

CLASIFICACIÓN SEGÚN FUNCIONALIDAD	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Carreteras de 1er Orden	80 - 90	75 - 95
Carreteras de 2do Orden	80 - 95	75 - 95
Caminos vecinales o locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Desviación estándar normal (Z_r)

Tabla 18. Desviación estándar normal (Z_r) para (R)

CONFIABILIDAD R (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z _r)
50	0.000

60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Desviación estándar global (So)

Se relaciona directamente con la confiabilidad, toma en cuenta las condiciones particulares y variaciones en el comportamiento del pavimento, en el caso de pavimentos flexibles se recomienda emplear $So = 0.45$ [33].

Tabla 19. Desviación estándar global recomendada (So)

CONDICIONES PARTICULARES DISEÑO	So
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico).	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico.	0.35 - 0.50

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO

Módulo de resiliencia (Mr)

La normativa AASHTO permite su determinación a partir del uso de fórmulas de correlación con el valor de CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) [33].

Tabla 20. Módulo de resiliencia a partir de CBR

FÓRMULA	OBSERVACIÓN
$Mr(\text{psi}) = 1500 * \text{CBR}$ para $\text{CBR} < 10\%$	Sugerida por AASHTO
$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$ para CBR entre $7.2\% - 20\%$	Originaria en Sudáfrica
$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln \text{CBR} + 241$	Sugerida por AASHTO para suelos granulares

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO

Índice de serviciabilidad (PSI)

Propiedad del pavimento para brindar al usuario seguridad y comodidad [33].

$$\Delta \text{PSI} = \text{PSI inicial} - \text{PSI final}$$

Siendo:

- ΔPSI , diferencia entre los índices de serviciabilidad inicial y final.
- PSI inicial, toma el valor de 4.2 para pavimento flexible.
- PSI final, para este indicador AASHTO toma los valores de 2.5 - 3.00 en el caso de caminos principales y 2.00 para los secundarios.

Espesores de capas

Con el número estructural determinado, el paso a seguir es determinar los espesores de la capa de rodadura, base y subbase, se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{SN} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Siendo:

- a_1 , coeficiente estructural de carpeta asfáltica.

- a_2 , coeficiente estructural de base.
- a_3 , coeficiente estructural de subbase.
- D_1 , espesor de carpeta asfáltica.
- D_2 , espesor estructural de base.
- D_3 , espesor estructural de subbase.
- m_2 , coeficiente de drenaje de base.
- m_3 , coeficiente de drenaje de subbase.

La normativa presenta los espesores mínimos dependiendo del tránsito en ejes equivalentes sencillos.

Tabla 21. Espesores de carpeta asfáltica y base

W_{18}	Carpeta asfáltica, D_1	Base, D_2
< de 50000	1.0 ó Tratam. superficial	4.0
50001 - 150000	2.0	4.0
150001 - 500000	2.5	4.0
500001 - 2000000	3.0	6.0
2000001 - 7000000	3.5	6.0
> 7 000 000	4.0	6.0

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Coefficientes estructurales a_1 , a_2 , a_3

Expresan la capacidad que brinda el material para soportar las cargas demandas, se obtiene a partir de pruebas de laboratorio [33].

Coefficiente estructural de carpeta asfáltica (a_1)

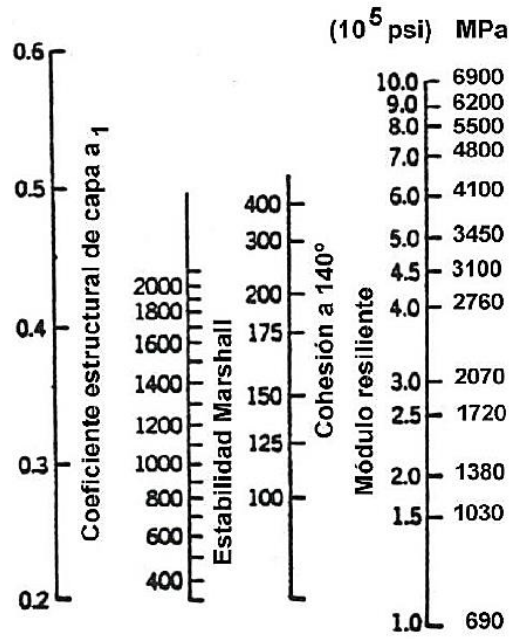


Figura 22. Nomograma para determinación de a_1

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Coeficiente estructural de base (a_2)

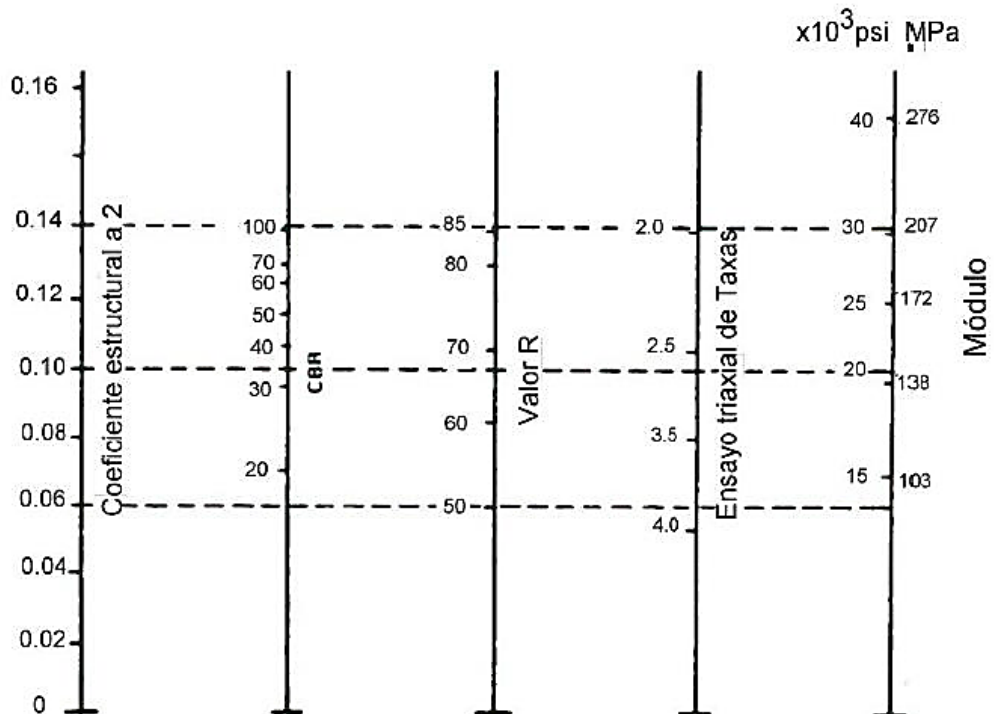


Figura 23. Ábaco para determinación de a_2

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Coefficiente estructural de subbase (a_3)

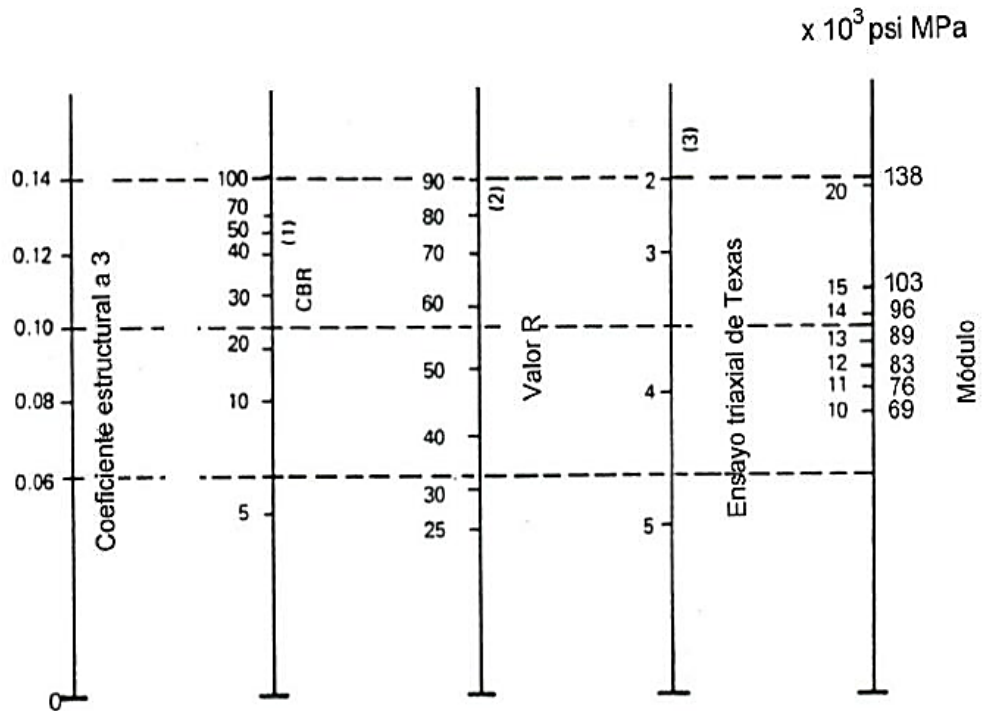


Figura 24. Ábaco para determinación de a_3

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Coefficientes drenaje m_2 , m_3

La capacidad de drenaje esta en función del tiempo en el que las capas base y subbase eliminan el agua [33].

Tabla 22. Capacidad y tiempo de drenaje

CAPACIDAD DE DRENAJE	TIEMPO PARA ELIMINAR AGUA
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Los valores que recomienda la normativa AASHTO para los coeficientes de drenaje, se toman a partir de la calidad o capacidad drenaje y la cantidad de tiempo que el paquete estructural ha estado expuesto a la humedad [33].

Tabla 23. Capacidad y tiempo de drenaje para coeficientes de drenaje

CAPACIDAD DE DRENAJE	% TIEMPO DE ESTRUCTURA EXPUESTA A HUMEDAD			
	< 1%	Entre 1% - 5%	Entre 5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1,20
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1,00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0,80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0,60
Deficiente	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0,40

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Esquema general de diseño de pavimento flexible

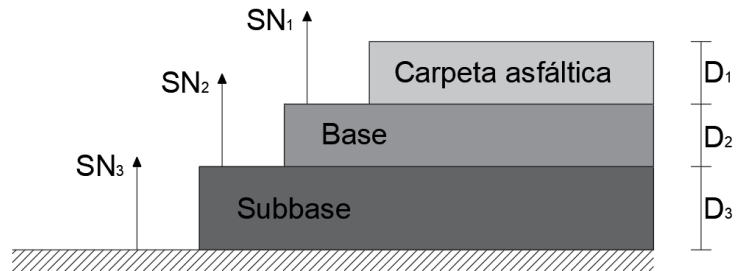


Figura 25. Paquete estructural de pavimento flexible

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 * m_3}$$

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_3$$

1.1.3.10. Geo - zonificación

1.1.3.10.1. Sistema de información geográfica (SIG)

La importancia de poseer información ubicada sobre el territorio geográfico al que corresponde, es vital para todas las ramas de trabajo e investigación y el campo ingenieril no se queda fuera. Los datos geográficos son el pilar de los sistemas de información geográficos, SIG (Geographic Information System, GIS). En términos generales un SIG es una agrupación de herramientas que permiten el acopio, manejo, almacenamiento, manipulación y análisis de una base de datos ubicados en la superficie geográfica. De esta manera la información se ubica espacialmente y se organiza empleando mapas [34].

1.1.3.10.2. Geo - referenciación

Esta terminología se refiere a la ubicación espacial de elementos o entidades por medio de coordenadas geográficas. Localizar de forma apropiada estas entidades es sumamente importante para poder localizarlas en la realidad, los mapas hacen uso de esta información acompañándola de cuadrículas, etiquetas, etc. Las bases de datos SIG contienen coordenadas de ubicación en un sistema global, gracias a esto se logra colocar datos sobre la superficie terrestre [35].

1.1.4. Hipótesis

Hipótesis nula (H₀)

No existen correlaciones entre el CBR, propiedades índice y mecánicas de los suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos; cuyo coeficiente de correlación sea mayor al 50% y refleje resultados aceptables.

Hipótesis alternativa (H_a)

Existen correlaciones entre el CBR, propiedades índice y mecánicas de los suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos, cuyo coeficiente de correlación sea mayor al 50% y refleje resultados aceptables.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Analizar los resultados del proyecto macro: Correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades índice y mecánicas del suelo en función de 6 muestras obtenidas en el Cantón Cevallos, mediante ensayos de campo y laboratorio.
- Analizar la base de datos de los estudios realizados del Proyecto Macro: "Correlación entre el CBR de laboratorio, DCP, propiedades índice y mecánicas de suelos granulares" en los cantones: Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos, con 162 muestras ensayadas, en 26 parroquias de la provincia de Tungurahua.
- Establecer los grados de correlación entre el CBR, DCP, las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las 162 muestras ensayadas en el proyecto macro y en este estudio, pertenecientes a los cantones Ambato, Quero y Tisaleo, Mocha y Cevallos.
- Realizar la geo-zonificación en programa GIS de acuerdo a los tipos de suelos identificados según la clasificación SUCS y AASHTO, en las parroquias y cantones analizados en este proyecto.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Niveles de investigación

Para cumplir con los objetivos planteados para el presente trabajo experimental se llevaron a cabo los niveles de investigación que se muestran a continuación:

Exploratorio

Se llevan a cabo cuando el fenómeno de estudio implica un tema que no ha sido del todo investigado. En la presente tesis se toma en cuenta este nivel de investigación, porque a pesar de basarse en estudios anteriores, no existe un trabajo que englobe y valide toda la información correspondiente a la zona de estudio.

Experimental

Se incluyen procedimientos bajo normativa para la realización de ensayos de campo y laboratorio, con la finalidad de obtener datos.

Analítico

Análisis y procesamientos de la base de datos del proyecto macro.

Correlacional

Este nivel de estudio implica determinar el nivel de relación o correspondencia que existe entre dos o más variables. La presente investigación tiene por objetivo determinar si existe o no una correlación aceptable entre el CBR, propiedades índice y mecánicas de suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.

Descriptivo

Estos estudios se realizan con el objetivo de determinar las propiedades del fenómeno investigado, el presente trabajo incluye la clasificación según plasticidad y granulometría de los suelos de la zona de análisis.

Explicativo

Los estudios explicativos pretenden exponer el porqué del fenómeno de análisis. Se aborda este nivel de investigación porque con los resultados de los coeficientes de correlación, se explica si las correlaciones obtenidas entre las diferentes variables se consideran aceptables o no.

2.2. Tipos de investigación

Investigación bibliográfica

Con la finalidad de apoyar y sustentar el presente estudio se requiere buscar información en fuentes confiables sobre la temática de análisis.

Investigación de campo

Se requiere trabajo en campo en los procesos de excavación de calicata, extracción de muestras para los ensayos de laboratorio, determinación de densidad in situ y DCP.

Investigación de laboratorio

La realización de ensayos normados laboratorio es indispensable para determinar las propiedades índice y CBR de los suelos de la zona de estudio.

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población

El presente trabajo de investigación corresponde al análisis de resultados del proyecto macro que engloba los cantones de Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos, provincia Tungurahua.

Tabla 24. Cantones de estudio de proyecto macro

CANTÓN	PARROQUIAS DE ESTUDIO
Ambato	Ambatillo Quisapincha Atahualpa Augusto Martínez Constantino Fernández San Bartolomé de Pinllo

	<p>Cunchibamba</p> <p>Unamuncho</p> <p>Huachi Grande</p> <p>Santa Rosa</p> <p>Izamba</p> <p>Picaihua</p> <p>Juan Benigno Vela</p> <p>Pilahuin</p> <p>Pasa</p> <p>San Fernando</p> <p>Totoras</p> <p>Montalvo</p>
Quero	<p>La Matriz</p> <p>Rumipamba</p> <p>Yanayacu</p>
Tisaleo	<p>Tisaleo</p> <p>Quichincoto</p>
Mocha	<p>La Matriz</p> <p>Pinguilí</p>
Cevallos	<p>Cevallos</p>

Elaborado por: Gallegos Gabriela

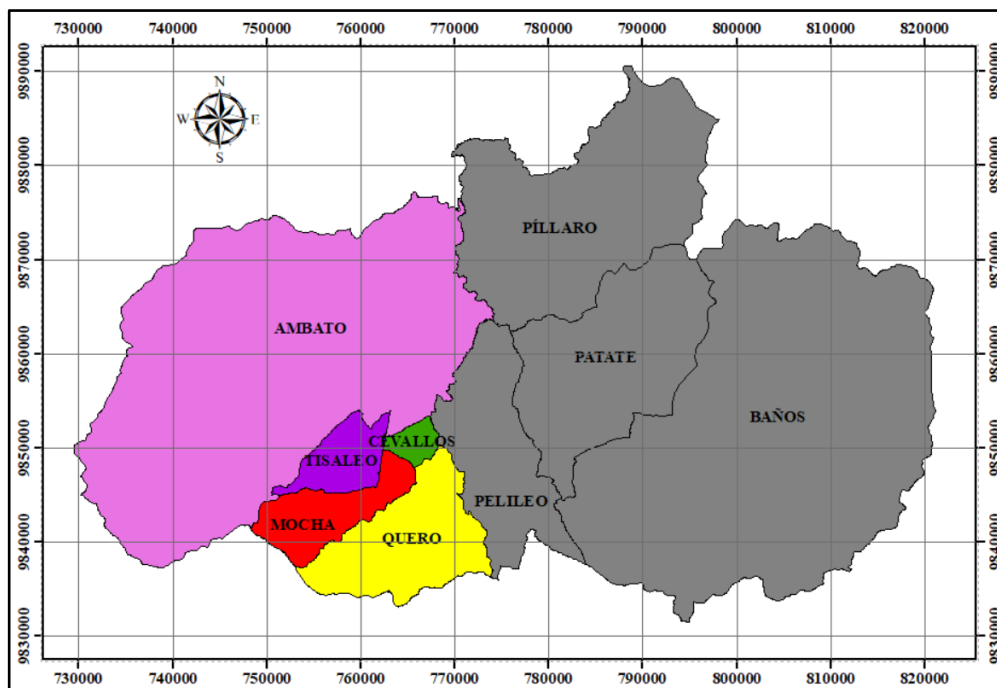
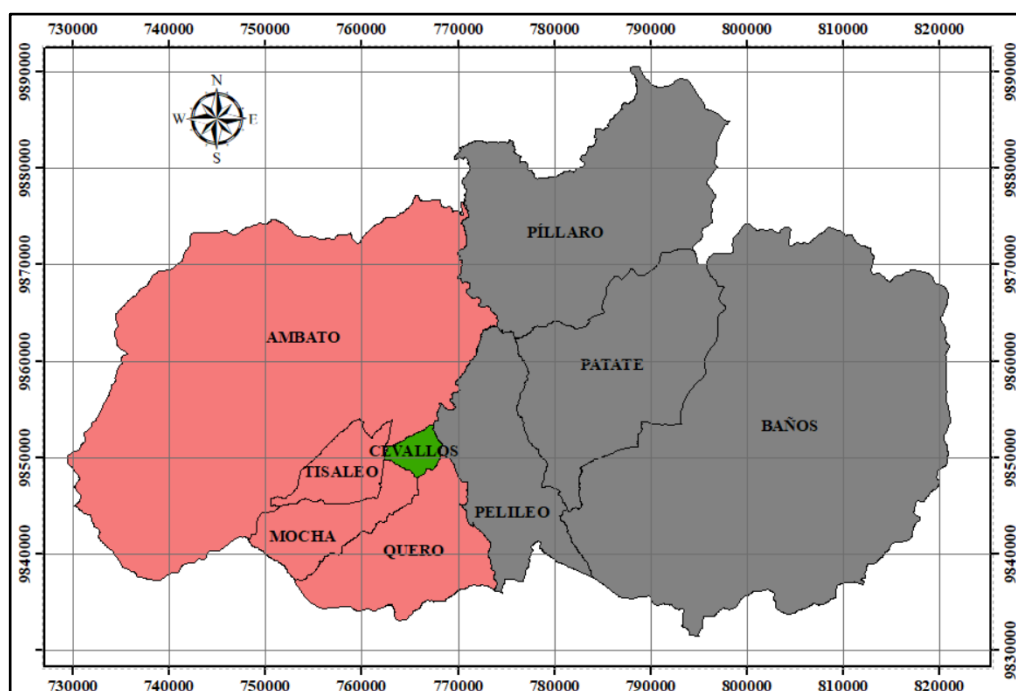


Figura 26. Área de estudio (Cantones: Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela



- Cantón de toma de muestras (Cevallos).
- Cantones de procesamiento de recolección de datos (Ambato, Quero, Tisaleo y Mocha).

Figura 27. Área de procesamiento de datos y toma de muestras.

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Cantón Cevallos

Se localiza en la provincia de Tungurahua en la zona centro-sur. Cuenta con una población aproximada de 8163 habitantes y una superficie de 19 km².

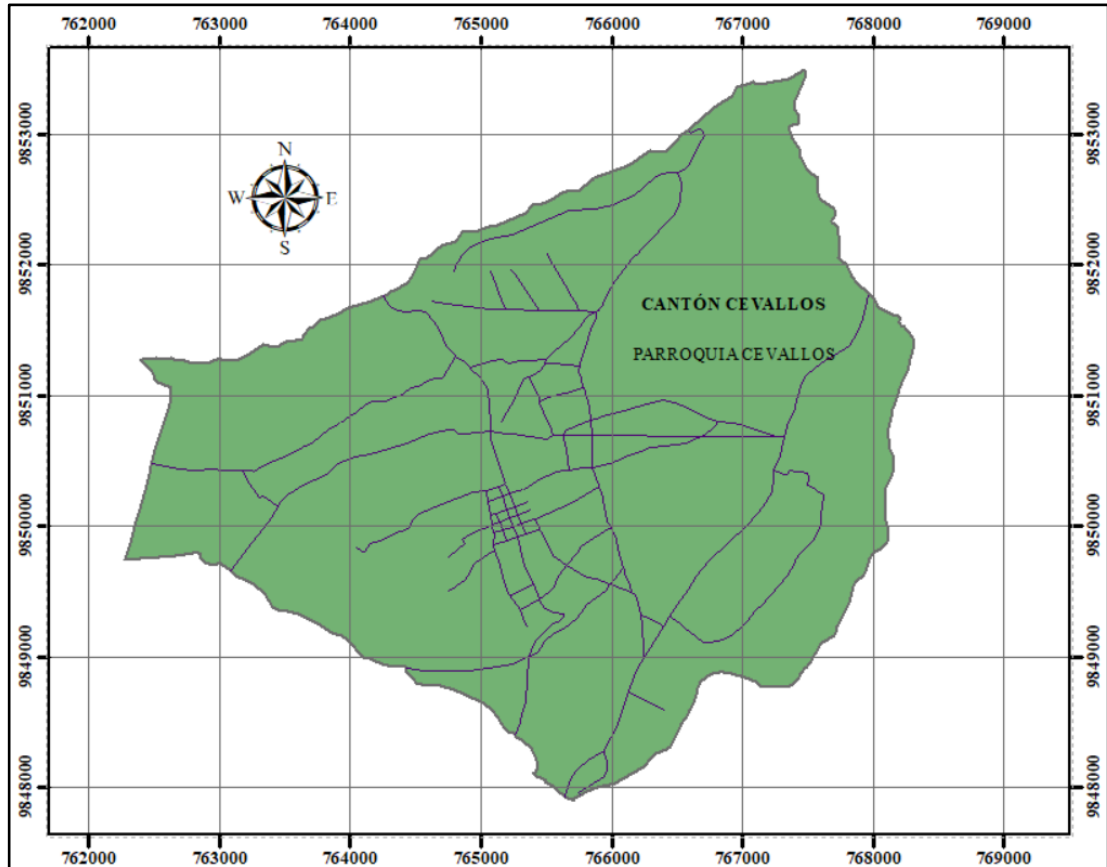


Figura 28. Cantón de recolección de muestras (Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

2.3.2. Muestra

Teniendo en cuenta que la presente investigación forma parte de un proyecto macro destinado a analizar los resultados de correlaciones entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos; la base de datos de análisis constará de 162 muestras tomadas en sitios representativos de cada parroquia de los cantones mencionados anteriormente.

De las 162 muestras, 156 corresponden a investigaciones anteriores realizadas en los cantones Ambato, Quero, Tisaleo y Mocha; por lo tanto, se realizará el procesamiento

de datos a partir de estos estudios previos y las 6 muestras faltantes serán tomadas en el cantón Cevallos.

Tabla 25. Número de muestras de base de datos de la investigación

CANTÓN	N° PARROQUIAS	N° MUESTRAS
Ambato	18	108
Quero	3	24
Tisaleo	2	12
Mocha	2	12
Cevallos	1	6
Total	26	162

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 26. Muestras

Cantón	UBICACIÓN		N° Muestra
	Parroquia	Vía	
Ambato	Ambatillo	Chachilvana Grande	1
			2
		Puganza Alto	3
			4
		Condezán	5
			6
	Quisapincha	El Rosario	7
			8
		Santa Lucía	9
			10
		San Francisco	11
			12
	Atahualpa	El Pisque – La Merced	13
			14
		Sta Fé – Sta Teresita	15
			16
		Atahualpa – El Pisque	17
			18
	Augusto Martínez	Chaupi – San Pedro	19
			20
		San Pedro – Esperanza	21
			22
		Esperanza – Martínez	23
			24
		La Dolorosa	25

	Constantino Fernández		26
		Angahuana – San Juan	27
			28
		San José – La Libertad	29
	San Bartolomé de Pinllo		30
		San José – La Democracia	31
			32
		La Heroína – Santa Marianita	33
			34
		El Alcance – Quisapincha	35
	Cunchibamba		36
		Laginato	37
			38
		La Dolorosa	39
			40
		Velasco Ibarra	41
	Unamuncho		42
		El Progreso	43
			44
		Chaupi	45
			46
		Puerto Arturo	47
	Huachi Grande		48
		San José	49
			50
		La Florida	51
		52	
El Porvenir		53	
Santa Rosa		54	
	El Quinche	55	
		56	
	Las Lajas	57	
		58	
	El Tropezón	59	
Izamba		60	
	Urb. Aeropuerto	61	
		62	
	San Vicente	63	
		64	
	Viña Loma	65	
Picaihua		66	
	Picaihua - 3 Juanes	67	
		68	
	Caserío 10 de Agosto	69	
		70	
	Picaihua - Sigsipamba	71	
	72		

	Juan Benigno Vela	San Pablo	73
			74
		Chacapungo	75
			76
		Pataló Alto	77
	Pilahuin	Chibuleo - La Merced	78
			79
		Complejo Aguaján	80
			81
		Palugsha	82
	Pasa		83
		Cuatro Esquinas - Llillagua	84
			85
		Cashapotrero - Cuatro Esquinas	86
			87
	San Fernando	Pasa - Via Mogato	88
			89
		Puauleo - Chaguarhuaycu	90
			91
		San Fernando - Loma Yanashon	92
Totoras		93	
	La Dolorosa - Culac	94	
		95	
	Huachi Totoras - Paso Lateral	96	
		97	
Montalvo		98	
	San José - Huachi Totoras	99	
		100	
	Totoras - La Esperanza	101	
		102	
Quero	La Esperanza - Montalvo	103	
		104	
	Montalvo - Cevallos	105	
		106	
	Montalvo - Manzana de Oro	107	
La Matriz		108	
	Placer	109	
		110	
	Pinquil	111	
		112	
	San Pedro de Sabañag	113	
		114	
	Hualcanga	115	
		116	
San José de Guato	117		
	118		
	Libertad	119	

			120
	Rumipamba	Pichibamba – Quebrada Potrerillos	121
			122
		Guangalo Bajo – San Juan	123
			124
		Guangalo Alto – Parcaloma	125
			126
	Yanayacu	La Dolorosa – Yanayacu Centro	127
			128
		E35 – Luis López	129
			130
		12 de Octubre – Quebrada Yanayacu	131
		132	
Tisaleo	Tisaleo	Centro parroquial- Comunidad Sta. Lucía Centro	133
			134
		Chilco - La Esperanza	135
			136
	Chilco - El Calvario	137	
		138	
	Quinchicoto	Caserío Santa Marianita	139
			140
		Caserío la Unión	141
			142
Caserío San Vicente		143	
		144	
Mocha	Pinguilí	Calle S/N sector San Pedro	145
			146
		Calle #9 sector El Paraíso	147
	148		
	La Matriz	Av. 24 de Mayo sector Yanahurco	149
			150
		Av. Juan León Mera sector Mocha.	151
			152
		Av. Principal, sector Chilcapamba	153
			154
Vía S/N sector Hacienda Atillo	155		
	156		
Cevallos	Cevallos	Vía España	157
			158
		Vía 13 de Mayo	159
			160
	Vía Pedro Fermín Cevallos	161	
		162	

Fuente: Estudiantes del macroproyecto

En esta investigación se realizarán los ensayos de campo y laboratorio correspondientes a las 6 muestras del Cantón Cevallos. A continuación, se presenta la ubicación de las calicatas.

Tabla 27. Ubicación de calicatas cantón Cevallos

UBICACIÓN		N° DE CALICATA	COORDENADA	
Parroquia	Vía		Norte	Este
Cevallos	Vía España	1	9850666.89 m S	765181.73 m E
	Vía España	2	9850297.51 m S	765313.04 m E
	Vía 13 de Mayo	3	9849826.87 m S	765105.31m E
	Vía 13 de Mayo	4	9849518.31 m S	765210.34 m E
	Vía Pedro Fermín Cevallos	5	9850510.65 m S	765852.66 m E
	Vía Pedro Fermín Cevallos	6	9850221.04 m S	765929.68 m E

Elaborado por: Gallegos Gabriela

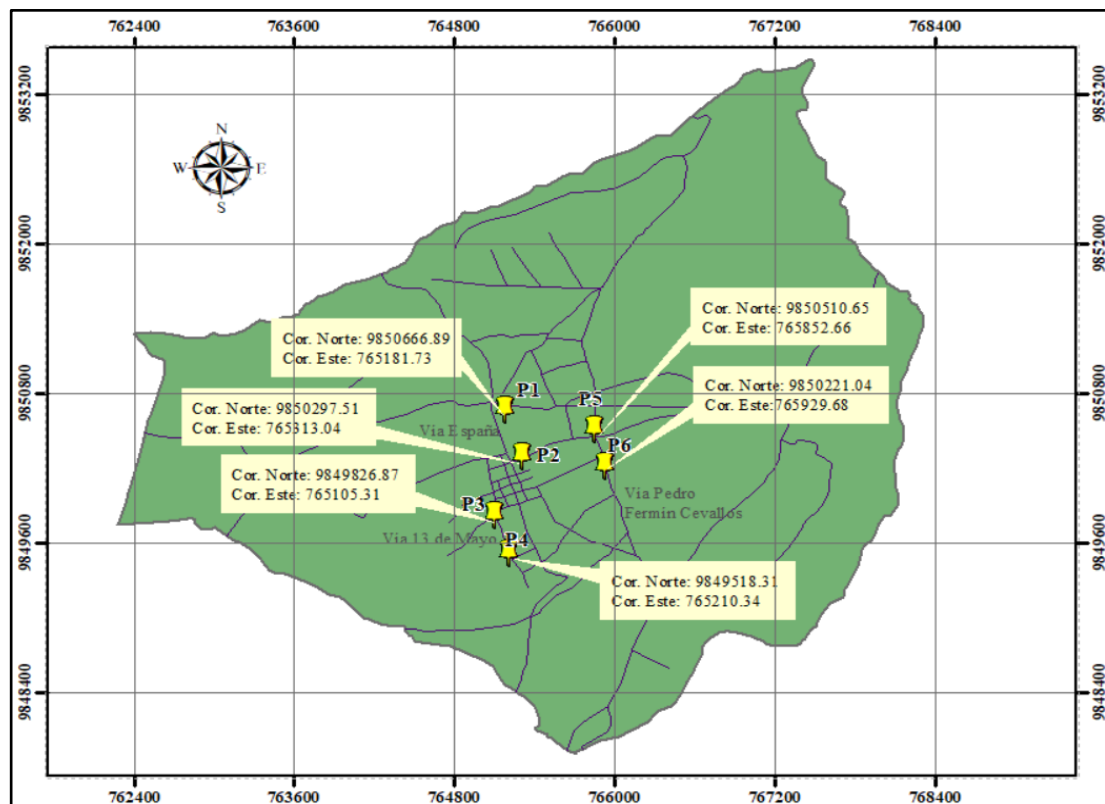


Figura 29. Coordenadas de calicatas

Fuente: Gallegos G.

Nota 1: Las coordenadas correspondientes a los puntos de extracción de las muestras 1 a 156, se encuentran en las investigaciones previas elaboradas por los estudiantes del macroproyecto.

2.4. Equipos y materiales

Tabla 28. Equipos y materiales para ensayos de laboratorio

ENSAYOS	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Pozo a Cielo Abierto	Muestras in situ	- Barra - Pala - Pico - Flexómetro	AASHTO T 87-70
Densidad de campo (Método del Cono y Arena de Ottawa)	Muestras in situ	- Cono - Cuchareta - Cincel - Placa metálica - Clavos - Balanza - Martillo	AASHTO T 191 2014
Cono Dinámico de Penetración (DCP)	Muestras in situ	- Equipo DCP - Cuaderno de notas	ASTM D 6951-03
Gravedad específica de sólidos	50 gr de suelo que pasa tamiz #40	- Tamiz #4 - Mortero de porcelana - Picnómetro - Pistillo de caucho - Termómetro - Embudo - Recipiente metálico - Pipeta	AASHTO T 100 2015

Granulometría	Muestra cuarteada	<ul style="list-style-type: none"> - Tamizadora - Brocha - Juego de Tamices - Recipiente - Balanza 	AASHTO T 88 2013
Límite Líquido (Copa Casagrande)	150 gr de suelo que pasa tamiz #40	<ul style="list-style-type: none"> - Recipientes de aluminio - Espátula - Acanalador - Copa Casagrande 	AASHTO T 89 2013
Límite Plástico	150 gr de suelo que pasa tamiz #40	<ul style="list-style-type: none"> - Placa de vidrio - Calibrador - Fuente de mezclado - Recipientes 	AASHTO T 90 2016
Proctor modificado tipo B	24 kg de suelo que pasa el tamiz #4	<ul style="list-style-type: none"> - Bandeja de metal cuadrada - Molde diámetro 6'' - Martillo de compactación - Probeta graduada - Regleta de metal - Palustre 	AASHTO T 180 2018
Relación de Soporte de California (CBR)	18 kg de suelo que pasa el tamiz #4	<ul style="list-style-type: none"> - MULTISPEED 34-V1172 	AASHTO T 193 2013

Fuente: Estudiantes del macroproyecto

Nota 2: Los ensayos se realizaron cumpliendo con la normativa señalada.

Tabla 29. Equipos y materiales para trabajo de oficina

ACTIVIDAD	MATERIALES	EQUIPOS
Recopilación y procesamiento de datos.	Bolígrafos, cuaderno de notas.	Computador
Elaboración de mapa de zonificación de suelos.	Software ArcGIS.	Computador
Impresión	Hojas de papel Boom.	Computador, impresora.

Elaborado por: Gallegos Gabriela

2.5. Métodos

2.5.1. Plan de recolección de datos

Se llevará a cabo la recolección de datos obtenidos a partir de 156 muestras de estudios previamente realizados en 25 parroquias del Proyecto Macro: "Correlación entre el CBR de laboratorio, DCP, propiedades índice y mecánicas de suelos granulares" en los cantones: Ambato, Quero, Tisaleo y Mocha.

Para completar la base de datos de análisis se realizarán ensayos de campo y laboratorio para determinar las propiedades índice y mecánicas del suelo en el Cantón Cevallos (Parroquia La Matriz) en función de 6 muestras de 50 kg cada una, que serán extraídas en puntos aleatorios excavando calitas de 1.50 m x 1.50 m x 1.00 m, excluyendo la cobertura vegetal.

Tabla 30. Plan de recolección de datos

PREGUNTAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Obtener correlaciones entre propiedades índice y mecánicas de suelos del macroproyecto y su CBR de laboratorio.
¿A quiénes?	Dirigido a la comunidad estudiantil, docentes y profesionales de la rama de Ingeniería Civil.
¿Sobre qué aspectos?	Propiedades índice y mecánicas del suelo.

¿Quién?	El investigador.
¿Cuándo?	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayos in situ: 07/03/2022-12/03/2022 - Ensayos en laboratorio: 12/03/2022-06/04/2022 - Procesamiento de información: 07/04/2022-10/04/2022
¿Dónde?	<ul style="list-style-type: none"> - Cantón Cevallos, parroquia La Matriz para tomar muestras y realizar ensayos de campo. - Laboratorio de Mecánica de Suelos FICM de la Universidad Técnica de Ambato. - Procesamiento y análisis de laboratorio en oficina.
¿Técnicas de Recolección?	<p>Trabajo de campo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Remoción de capa vegetal. 2. Ensayo DCP. Norma ASTM D 6951-03 3. Ensayo densidad de campo con el método del Cono y Arena. Norma ASTM D 6951-03. 4. Extracción de 50 Kg de suelo para ensayos de laboratorio. <p>Trabajo de laboratorio</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La muestra de suelo pasa por el tamiz rectangular #4 y se deja secar en bandeja. 2. Análisis granulométrico con 250 gr de suelo seco y haciendo uso de tamizadora. Norma AASHTO T 88 2013. 3. Muestra de suelo que pasa el tamiz #40. 4. Límites de Atterberg. Norma AASHTO T 89 2013 y AASHTO T 90 2016. 5. Gravedad específica. Norma AASHTO T 100 2015. 6. Contenido de humedad con por lo menos cuatro puntos. 7. Ensayo Proctor modificado tipo B. Norma AASHTO T 180 2018. 8. Ensayo Relación de Soporte de California (CBR). Norma AASHTO T 193 2013.

Elaborado por: Gallegos Gabriela

2.5.2. Ensayos

- Calicata



Figura 30. Excavación de calicata

Autor: Gallegos Gabriela

- Densidad de Campo por el Método del Cono y arena de Ottawa



Figura 31. Ensayo densidad de campo

Autor: Gallegos Gabriela

- Cono Dinámico de Penetración (DCP)



Figura 32. Ensayo DCP

Autor: Gallegos Gabriela

- Gravedad específica



Figura 33. Ensayo de gravedad específica

Autor: Gallegos Gabriela

- Análisis Granulométrico



Figura 34. Granulometría por tamizaje

Autor: Gallegos Gabriela

- Límite líquido



Figura 35. Límite líquido

Autor: Gallegos Gabriela

- Límite plástico



Figura 36. Límite plástico

Autor: Gallegos Gabriela

- Proctor modificado tipo B



Figura 37. Ensayo Proctor

Autor: Gallegos Gabriela

- Relación de Soporte de California (CBR)



Figura 38. CBR de laboratorio

Autor: Gallegos Gabriela

2.5.3. Plan de procesamiento y análisis de información

- Ubicación de los 6 puntos para la excavación de pozos a cielo abierto y extracción de muestras.
- Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del Cantón Cevallos, por medio de ensayos in situ y en laboratorio bajo su normativa correspondiente.
- Tabulación de resultados de ensayos.
- Creación de base de datos a partir de recopilación y tabulación de datos provenientes de 156 muestras de investigaciones previas del macroproyecto y 6 muestras analizadas en el presente estudio.
- Correlacionar las propiedades índice y mecánicas de suelo.
- Uso de métodos estadísticos (Método de mínimos cuadrados) y empleo de computador para establecer los grados de correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las 162 muestras ensayadas en el proyecto macro y en este estudio, pertenecientes a los cantones Ambato, Quero y Tisaleo, Mocha y Cevallos.

- Establecer si las correlaciones obtenidas son o no satisfactorias con la verificación del coeficiente de R^2 . Teniendo en cuenta que una correlación óptima arroja un coeficiente de correlación mayor o igual al 50%.
- Conclusiones y recomendaciones de resultados.

2.5.3.1. Metodología para la obtención de correlaciones

Correlación lineal

Teniendo en cuenta el método de mínimos cuadrados, se resuelve el siguiente sistema lineal múltiple:

$$\begin{aligned} \sum Z &= a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum Y \\ \sum XZ &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum XY \\ \sum YZ &= a_0 \sum Y + a_1 \sum XY + a_2 \sum Y^2 \end{aligned}$$

El sistema presentado anteriormente corresponde a una correlación múltiple lineal, que se obtiene a partir de variables.

Tabla 31. Correlación lineal múltiple

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
TABLA TIPO CORRELACIÓN LINEAL MÚLTIPLE									
N	V. Ind Z	V. Dep X	V. Dep Y	XZ	YZ	XY	X ²	Y ²	Z ²
1									
2									
.									
.									
.									
ΣN	ΣZ_i	ΣX_i	ΣY_i	ΣXZ	ΣYZ	ΣXY	ΣX^2	ΣY^2	ΣZ^2

Elaborado por: Gallegos Gabriela

El sistema se resuelve empleando el método de matriz inversa, con la siguiente configuración.

Tabla 32. Matriz inversa (Correlación lineal múltiple)

a₀	a₁	a₂	=
N	ΣX	ΣY	ΣZ
ΣX	ΣX ²	ΣXY	ΣXZ
ΣY	ΣXY	ΣY ²	ΣYZ

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Con la resolución de la matriz anterior se obtiene la expresión:

$$Z = a_0 + a_1X + a_2Y$$

Se realiza la corrección del coeficiente r².



$$r^2 = \frac{a_0 * \Sigma Z + a_1 * \Sigma(X * Z) + a_2 * \Sigma(Y * Z) - N * (Z_{med})^2}{\Sigma(Z^2) - N(Z_{med})^2}$$

Correlación logarítmica

$$\begin{aligned} \sum Z &= a_0N + a_1 \sum X' + a_2 \sum Y \\ \sum X'Z &= a_0 \sum X' + a_1 \sum X'^2 + a_2 \sum X'Y \\ \sum YZ &= a_0 \sum Y + a_1 \sum X'Y + a_2 \sum Y^2 \end{aligned}$$

El sistema presentado anteriormente corresponde a una correlación logarítmica múltiple, que se obtiene a partir de variables.

Tabla 33. Correlación logarítmica múltiple

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TABLA TIPO CORRELACIÓN LOGARÍTMICA MÚLTIPLE										
N	V. Ind Z	V. Dep X	V. Dep Y	X'=Log(X)	X'Z	YZ	X'Y	X'^2	Y^2	Z^2
1										
2										
.										
.										
.										
ΣN	ΣZ	ΣX	ΣY	ΣX'	ΣX'Z	ΣYZ	ΣX'Y	ΣX'^2	ΣY^2	ΣZ^2

Elaborado por: Gallegos Gabriela

El sistema se resuelve empleando el método de matriz inversa, con la siguiente configuración.

Tabla 34. Matriz inversa (Correlación logarítmica múltiple)

a_0	a_1	a_2	=
N	$\Sigma X'$	ΣY	ΣZ
$\Sigma X'$	$\Sigma X'^2$	$\Sigma X'Y$	$\Sigma X'Z$
ΣY	$\Sigma X'Y$	ΣY^2	ΣYZ

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Con la resolución de la matriz anterior se obtiene la expresión:

$$Z = a_0 + a_1 \text{Log}(X') + a_2 Y$$

Se realiza la corrección del coeficiente r^2 .



$$r^2 = \frac{a_0 * \Sigma Z + a_1 * \Sigma(X * Z) + a_2 * \Sigma(Y * Z) - N * (Z_{\text{med}})^2}{\Sigma(Z^2) - N(Z_{\text{med}})^2}$$

Correlación potencial

$$\begin{aligned} \Sigma Z' &= a_0 N + a_1 \Sigma X' + a_2 \Sigma Y' \\ \Sigma X'Z' &= a_0 \Sigma X' + a_1 \Sigma X'^2 + a_2 \Sigma X'Y' \\ \Sigma Y'Z' &= a_0 \Sigma Y' + a_1 \Sigma X'Y' + a_2 \Sigma Y'^2 \end{aligned}$$

El sistema presentado anteriormente corresponde a una correlación potencial múltiple que se obtiene a partir de variables.

Tabla 35. Correlación potencial múltiple

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
 TABLA TIPO CORRELACIÓN POTENCIAL MÚLTIPLE												
N	V. Ind Z	V. Dep X	V. Dep Y	X'=Log(X)	Y'=Log(Y)	Z'=Log(Z)	X'Z'	Y'Z'	X'Y'	X'^2	Y'^2	Z'^2
1												
2												
.												
.												
ΣN	ΣZ	ΣX	ΣY	$\Sigma X'$	$\Sigma Y'$	$\Sigma Z'$	$\Sigma X'Z'$	$\Sigma Y'Z'$	$\Sigma X'Y'$	$\Sigma X'^2$	$\Sigma Y'^2$	$\Sigma Z'^2$

Elaborado por: Gallegos Gabriela

El sistema se resuelve empleando el método de matriz inversa, con la siguiente configuración.

Tabla 36. Matriz inversa (Correlación potencial múltiple)

a₀	a₁	a₂	=
N	ΣX'	ΣY'	ΣZ'
ΣX'	ΣX' ²	ΣX'Y'	ΣX'Z'
ΣY'	ΣX'Y'	ΣY' ²	ΣY'Z'

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Resolviendo la matriz anterior se obtiene la expresión: $Z = a_0 + X^{a_1} * Y^{a_2}$

Se realiza la corrección del coeficiente r^2 .



$$r^2 = \frac{a_0 * \Sigma Z + a_1 * \Sigma(X * Z) + a_2 * \Sigma(Y * Z) - N * (Z_{med})^2}{\Sigma(Z^2) - N(Z_{med})^2}$$

Correlación exponencial

$$\begin{aligned} \sum Z' &= a_0 N + a_1 \sum X + a_2 \sum Y \\ \sum XZ' &= a_0 \sum X + a_1 \sum X^2 + a_2 \sum XY \\ \sum YZ' &= a_0 \sum Y + a_1 \sum XY + a_2 \sum Y^2 \end{aligned}$$

El sistema presentado anteriormente corresponde a una correlación exponencial múltiple, que se obtiene a partir de variables.

Tabla 37. Correlación exponencial múltiple

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TABLA TIPO CORRELACIÓN EXPONENCIAL MÚLTIPLE										
N	V. Ind Z	V. Dep X	V. Dep Y	Z'=Ln(Z)	XZ'	YZ'	XY	X ²	Y ²	Z' ²
1										
2										
.										
.										
.										
ΣN	ΣZ	ΣX	ΣY	ΣZ'	ΣXZ'	ΣYZ'	ΣXY	ΣX ²	ΣY ²	ΣZ' ²

Elaborado por: Gallegos Gabriela

El sistema se resuelve empleando el método de matriz inversa, con la siguiente configuración.

Tabla 38. Matriz inversa (Correlación exponencial múltiple)

a₀	a₁	a₂	=
N	ΣX	ΣY	ΣZ'
ΣX	ΣX ²	ΣXY	ΣXZ'
ΣY	ΣXY	ΣY ²	ΣYZ'

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Resolviendo la matriz anterior se obtiene la expresión: $Z = a_0 + e^{(a_1 * X)} + e^{(a_2 * Y)}$

Se realiza la corrección del coeficiente r^2 .

$$r^2 = \frac{a_0 * \Sigma Z + a_1 * \Sigma(X * Z) + a_2 * \Sigma(Y * Z) - N * (Z_{med})^2}{\Sigma(Z^2) - N(Z_{med})^2}$$

Nota 3: El procedimiento para determinar las diferentes correlaciones es sumamente parecido y presenta variaciones mínimas con respecto a tablas y variables, dependiendo de la correlación con la que se trabaje (Lineal, logarítmica, potencial o exponencial).

Nota 4: La correlación definitiva será aquella que logre reflejar el mayor valor del coeficiente R^2 .

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

Este apartado expone la información obtenida a partir del análisis de 162 muestras pertenecientes a los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos, así como también los resultados correspondientes de los ensayos realizados con las 6 muestras del Cantón Cevallos.

Tabla 39. Nomenclatura de propiedades índice y mecánicas de los suelos

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
DN	Índice de Penetración (mm/golpe)
γ_d	Densidad Seca In Situ (gr/cm^3)
$\gamma_{d\text{max}}$	Densidad Seca Máxima (gr/cm^3)
W	Contenido de Humedad (%)
Gs	Gravedad Específica de los sólidos.
e	Relación de Vacíos
n	Porosidad (%)
Gw	Grado de Saturación de agua (%)
Ga	Grado de Saturación de aire (%)
Wnat	Humedad Natural (%)
Wopt	Humedad Óptima (%)
N°200	Porcentaje de Finos (%)
LL	Límite Líquido (%)
LP	Límite Plástico (%)
IP	Índice Plástico (%)
CBR01	CBR para 0.1 Pulgada de Penetración (%)
CBR02	CBR para 0.2 Pulgada de Penetración (%)
CBR _{mayor}	CBR mayor entre CBR01 y CBR02

Elaborado por: Gallegos Gabriela

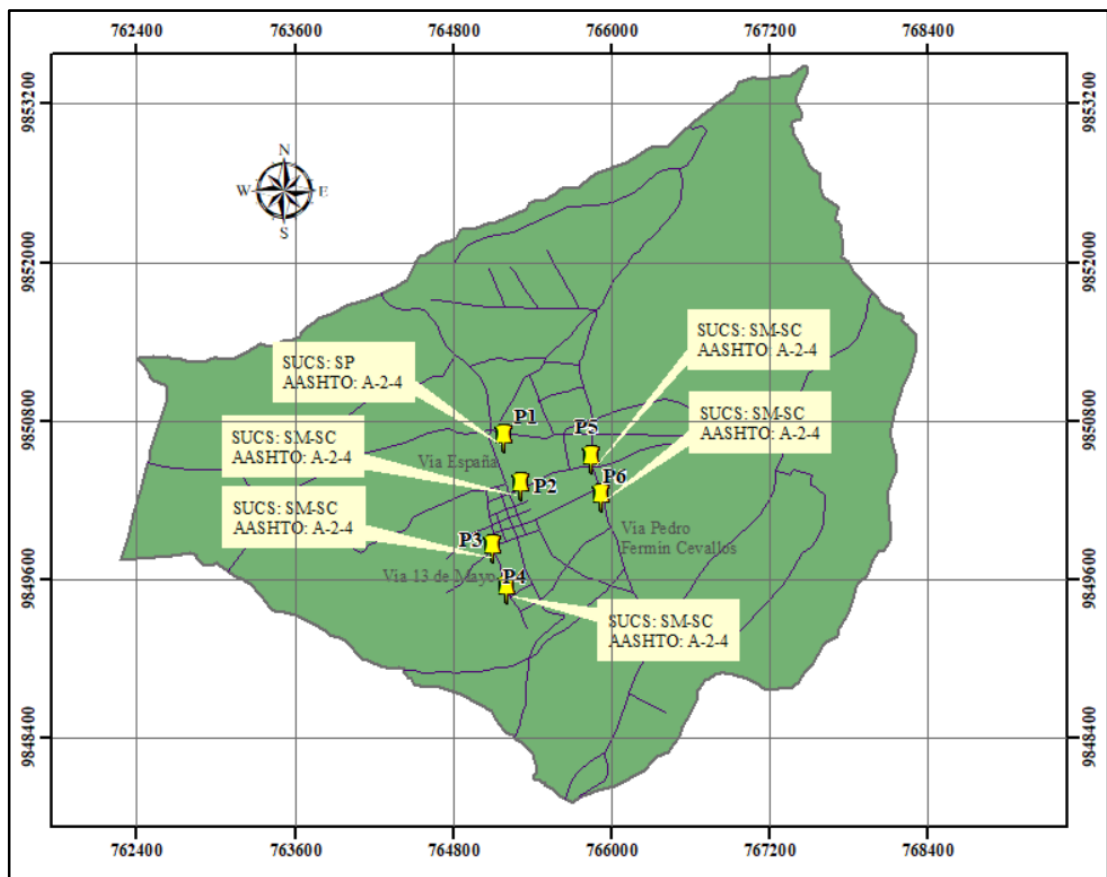


Figura 39. Tipos de suelos según SUCS Y AASHTO (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

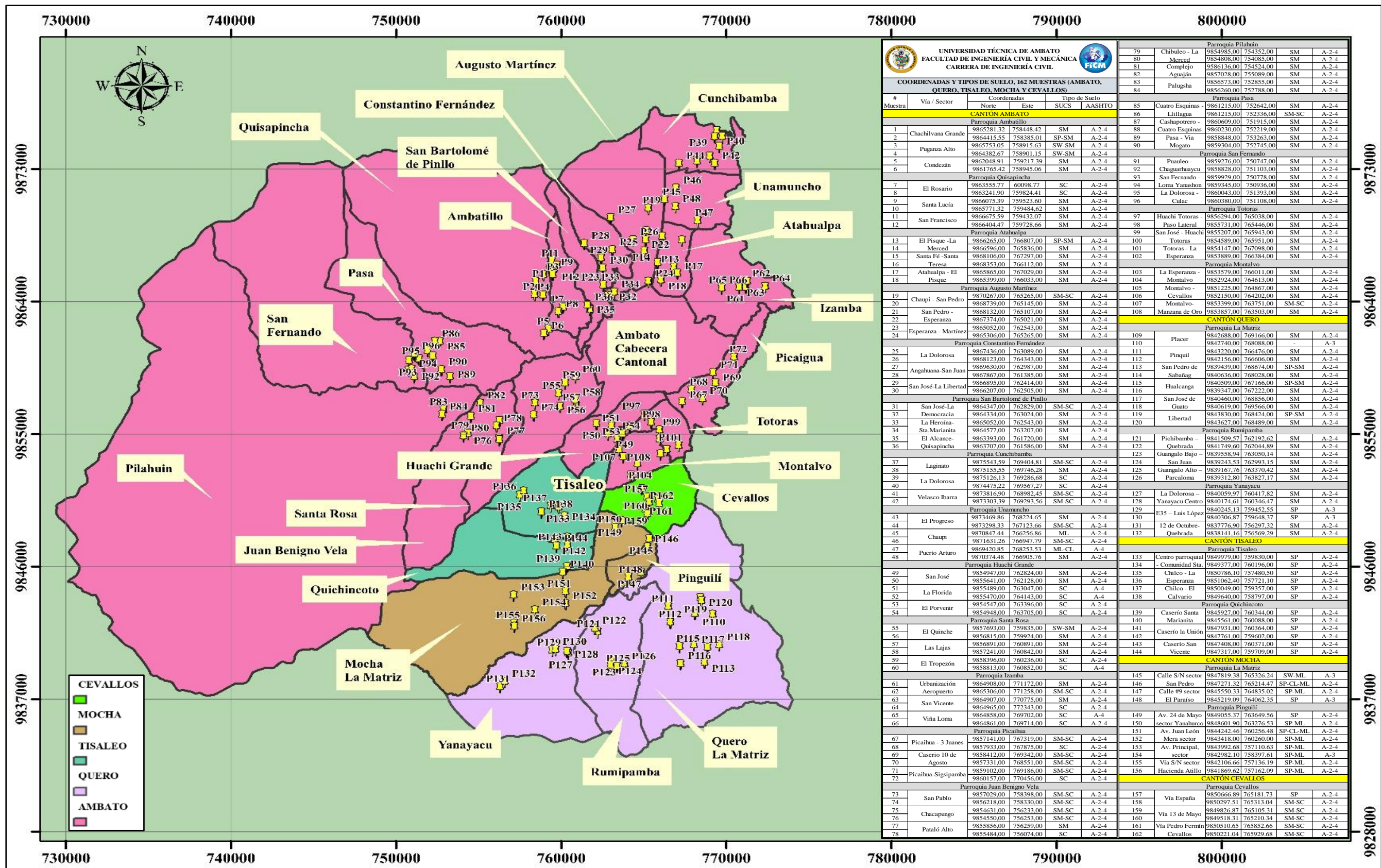


Figura 40. Tipos de suelos según SUCS Y AASHTO (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

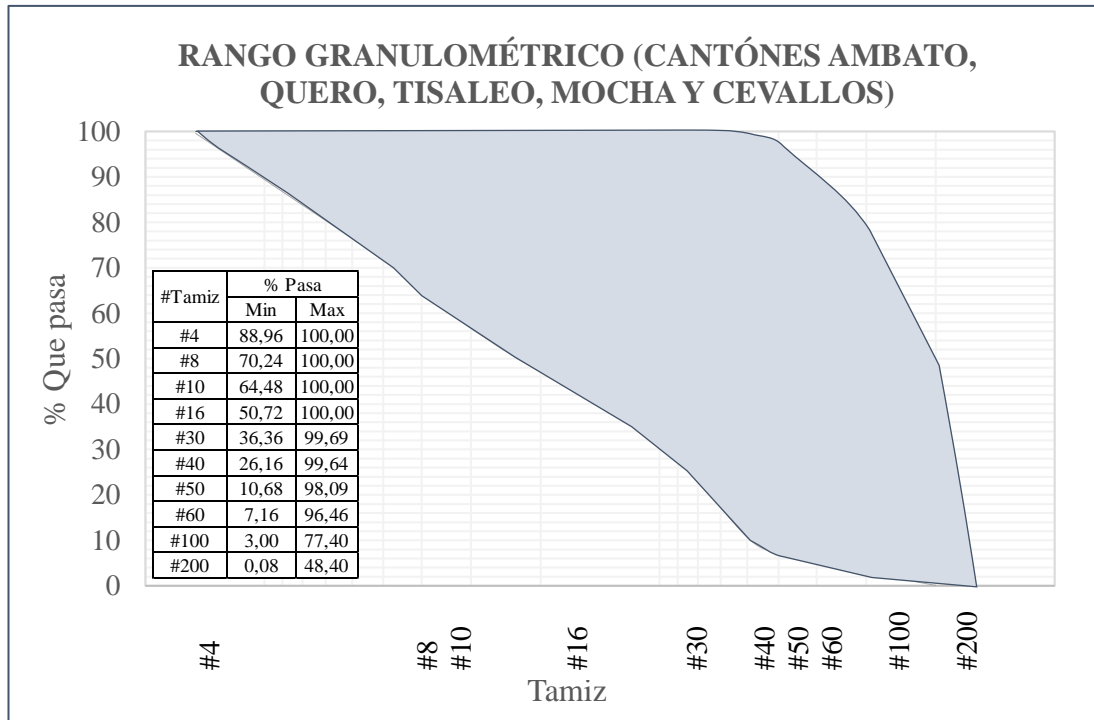


Figura 41. Rango granulométrico de los suelos (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos).

Elaborado por: Gallegos Gabriela

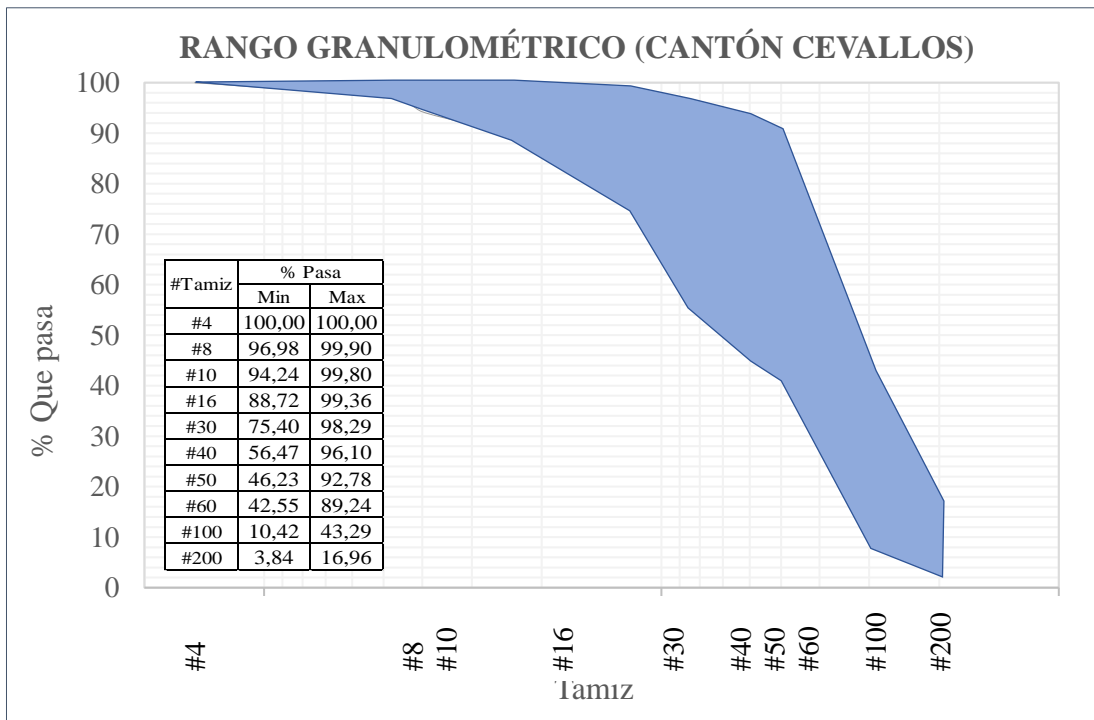


Figura 42. Rango granulométrico de los suelos (Cantón Cevallos).

Elaborado por: Gallegos Gabriela

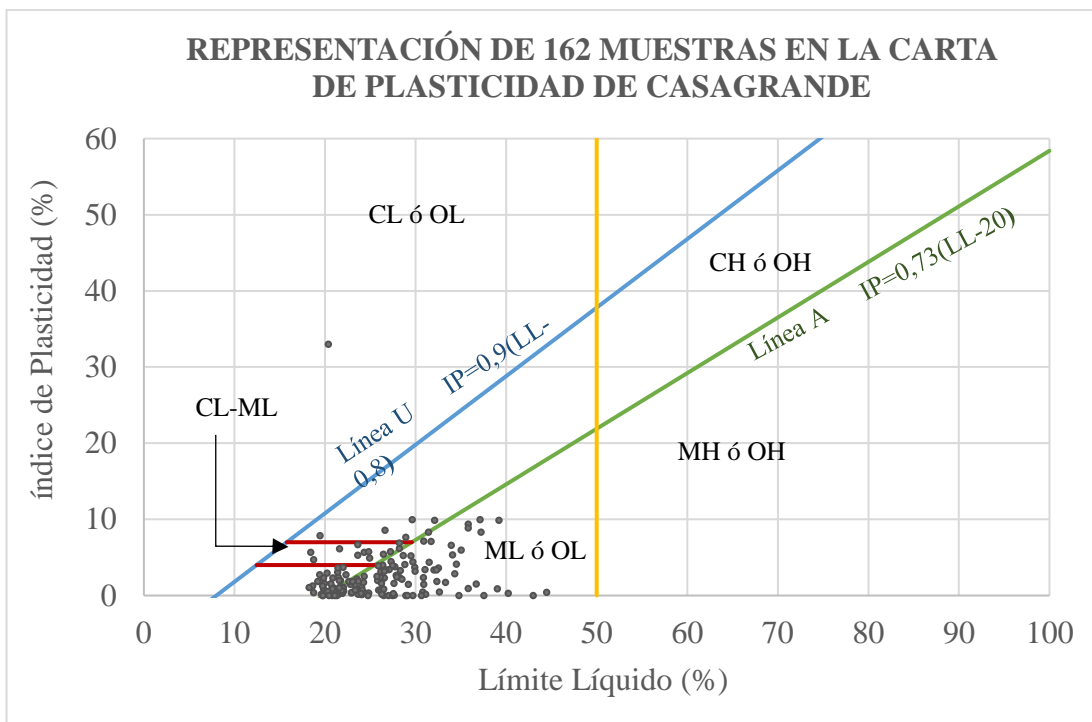


Figura 43. Representación de los suelos (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos) en la carta de plasticidad de Casagrande

Elaborado por: Gallegos Gabriela

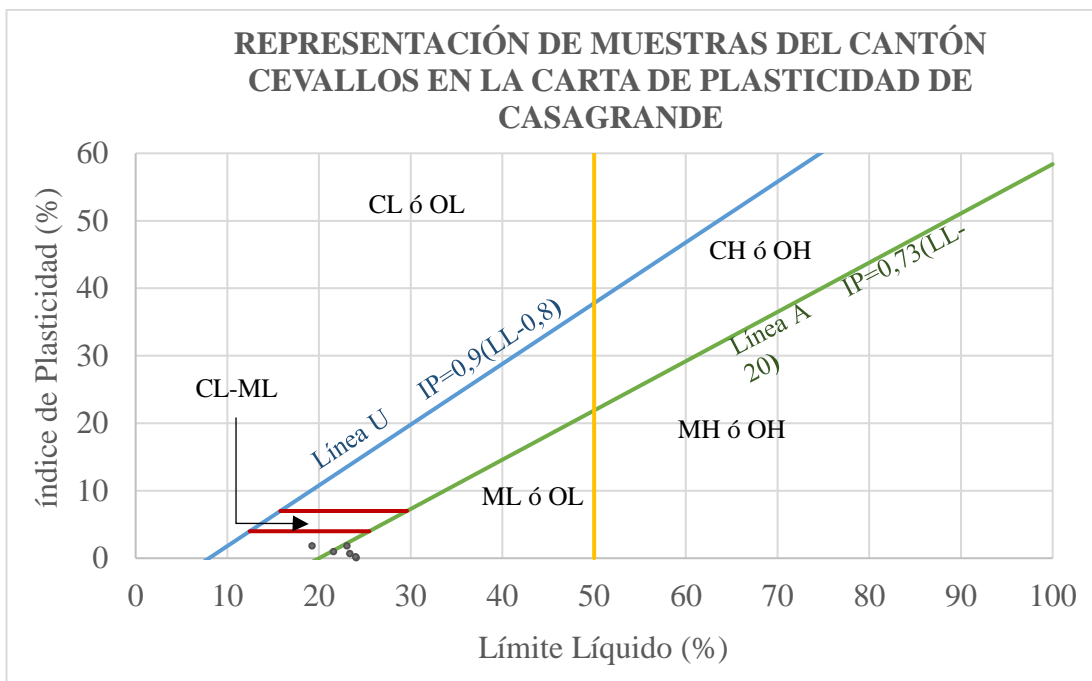




Figura 44. Representación de los suelos (Cantón Cevallos) en la carta de plasticidad de Casagrande

Elaborado por: Gallegos Gabriela

3.1.1. Propiedades índice

Se reunió la información correspondiente de propiedades índice de los cantones de estudio Ambato, Quero, Tisaleo y Mocha; en el caso del cantón Cevallos se realizaron los respectivos ensayos de campo y laboratorio.

Tabla 40. Cuadro resumen de propiedades índice de los suelos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 															
PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS SUELOS															
# Muestra	Vía / Sector	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	Humedad Natural (%)	Gravedad Específica Gs	Relación de Vacíos e	Porosidad n (%)	Grado de Saturación de Agua Gw (%)	Grado de Saturación de Aire Ga (%)	Clasificación		Granulometría		
											SUCS	AASHTO	Grava G (%)	Arena S (%)	Fino F (%)
CANTÓN AMBATO															
Parroquia Ambatillo															
1	Chachilvana Grande	23,60	16,91	6,69	30,37	2,655	0,82	44,93	97,84	2,16	SM	A-2-4	0,00	86,44	13,56
2		37,20	28,88	8,32	28,44	2,667	0,78	43,68	97,39	2,61	SP-SM	A-2-4	0,00	94,84	5,16
3	Puganza Alto	39,20	29,30	9,90	25,79	2,669	0,77	43,41	88,67	11,33	SW-SM	A-2-4	0,00	91,32	8,68
4		32,10	22,22	9,88	29,10	2,652	0,83	45,27	93,29	6,71	SW-SM	A-2-4	0,00	90,08	9,92
5	Condezán	24,30	18,61	5,69	13,56	2,663	0,42	29,34	76,53	23,47	SM	A-2-4	0,00	72,08	27,92
6		27,20	21,44	5,76	16,36	2,658	0,54	35,09	79,44	20,56	SM	A-2-4	0,00	76,32	23,68

Parroquia Quisapincha															
7	El Rosario	26,60	18,00	8,60	18,55	2,661	0,67	40,27	70,90	29,10	SC	A-2-4	0,00	79,48	20,52
8		29,60	19,64	9,96	16,96	2,665	0,81	44,87	54,52	45,48	SC	A-2-4	0,00	78,36	21,64
9	Santa Lucía	37,10	27,14	9,96	31,03	2,657	0,82	45,15	99,87	0,13	SM	A-2-4	0,00	87,64	12,36
10		28,20	22,00	6,20	29,88	2,667	0,82	45,10	96,51	3,49	SM	A-2-4	0,00	78,72	21,28
11	San Francisco	35,80	26,43	9,37	28,46	2,660	0,76	43,33	98,66	1,34	SM	A-2-4	0,00	79,44	20,56
12		35,80	27,43	8,87	25,47	2,668	0,67	40,28	99,45	0,55	SM	A-2-4	0,00	80,48	19,52
Parroquia Atahualpa															
13	El Pisque -La Merced	22,90	22,57	0,33	25,68	2,381	0,74	42,59	91,30	8,70	SP-SM	A-2-4	2,72	87,16	10,12
14		22,05	21,44	0,61	7,46	2,393	0,90	47,47	22,04	77,96	SM	A-2-4	0,00	82,62	17,38
15	Santa Fé -Santa Teresa	21,90	21,59	0,31	20,58	2,668	0,55	35,63	99,17	0,83	SM	A-2-4	0,00	67,50	32,50
16		23,30	21,92	1,38	18,64	2,645	0,54	35,25	89,52	10,48	SM	A-2-4	0,20	76,93	22,87
17	Atahualpa - El Pisque	21,70	19,71	1,99	10,45	2,392	0,68	40,39	40,63	59,37	SM	A-2-4	0,00	67,31	32,69
18		25,80	23,81	1,99	22,43	2,642	0,76	43,19	77,53	22,47	SM	A-2-4	0,00	65,01	34,99
Parroquia Augusto Martínez															
19	Chaupi - San Pedro	31,50	27,12	4,38	19,11	2,515	0,58	36,71	82,89	17,11	SM-SC	A-2-4	2,44	80,07	17,49
20		22,80	21,33	1,47	10,72	2,628	0,69	40,67	41,38	58,62	SM	A-2-4	0,48	65,09	34,43
21	San Pedro -Esperanza	25,90	25,16	0,74	11,26	2,537	0,67	40,18	45,20	54,80	SM	A-2-4	0,00	65,86	34,14
22		24,80	24,44	0,36	12,74	2,400	0,82	44,92	41,99	58,01	SM	A-2-4	0,00	65,51	34,49
23	Esperanza - Martínez	26,10	25,38	0,72	15,72	2,642	0,75	42,99	55,39	44,61	SM	A-2-4	0,00	70,95	29,05
24		28,30	25,00	3,30	13,04	2,325	0,83	45,45	41,54	58,46	SM	A-2-4	0,00	72,61	27,39
Parroquia Constantino Fernández															
25	La Dolorosa	26,55	24,25	2,30	21,38	2,666	0,73	42,08	78,47	21,53	SM	A-2-4	0,00	87,20	12,80
26		33,29	31,55	1,74	21,55	2,632	0,70	41,20	80,94	19,06	SM	A-2-4	0,00	86,40	13,60
27	Angahuana-San Juan	23,31	22,70	0,61	23,54	2,619	0,83	45,21	74,70	25,30	SM	A-2-4	0,00	86,64	13,36
28		32,52	28,88	3,64	22,35	2,631	0,79	44,22	74,19	25,81	SM	A-2-4	0,00	87,80	12,20
29	San José-La Libertad	22,30	15,55	2,75	22,87	2,652	0,78	43,85	77,65	22,35	SM	A-2-4	0,00	87,92	12,08
30		26,37	22,38	3,99	15,63	2,613	0,70	41,27	58,14	41,86	SM	A-2-4	0,00	87,84	12,16

Parroquia San Bartolomé de Pinlo															
31	San José-La Democracia	28,62	23,31	5,27	16,65	2,642	0,87	46,53	50,55	49,45	SM-SC	A-2-4	0,00	87,32	12,68
32		25,87	21,94	3,93	15,68	2,654	0,90	47,34	46,29	53,71	SM	A-2-4	0,00	87,00	13,00
33	La Heroína-Sta.Marianita	27,85	25,18	2,66	20,95	2,655	0,84	45,57	66,43	33,57	SM	A-2-4	0,00	87,92	12,08
34		21,92	21,53	0,39	10,54	2,661	0,67	40,14	41,84	58,16	SM	A-2-4	0,00	85,24	14,76
35	El Alcance-Quisapincha	29,18	27,71	1,46	22,73	2,623	0,81	44,61	73,99	26,01	SM	A-2-4	0,00	83,60	16,40
36		21,45	21,32	0,13	20,80	2,647	0,75	42,89	73,29	26,71	SM	A-2-4	0,00	81,72	18,28
Parroquia Cunchibamba															
37	Laginato	34,50	30,38	4,12	25,11	2,553	0,99	49,77	66,64	33,63	SM-SC	A-2-4	0,10	95,56	4,34
38		28,24	25,88	2,36	15,70	2,597	0,71	41,37	58,14	41,86	SM	A-2-4	0,00	97,52	2,48
39	La Dolorosa	31,70	24,61	7,09	7,80	2,641	0,59	36,93	35,35	64,65	SC	A-2-4	0,00	92,96	7,04
40		28,90	21,24	7,66	17,68	2,612	0,63	38,60	58,13	41,87	SC	A-2-4	0,00	93,12	6,88
41	Velasco Ibarra	28,20	21,29	6,91	10,91	2,644	0,90	47,27	37,47	62,53	SM-SC	A-2-4	0,00	70,36	29,64
42		30,90	23,76	7,14	17,68	2,579	0,89	47,01	41,20	58,80	SM-SC	A-2-4	0,00	63,16	36,84
Parroquia Unamuncho															
43	El Progreso	27,06	24,17	3,43	12,49	2,652	0,80	44,38	42,09	57,91	SM	A-2-4	0,00	98,56	1,44
44		24,80	19,03	5,77	15,20	2,611	0,58	36,72	70,59	29,41	SM-SC	A-2-4	0,00	98,80	1,20
45	Chaupi	27,90	25,44	2,46	6,43	2,650	0,71	41,59	23,99	76,01	ML	A-2-4	0,00	65,00	35,00
46		23,60	18,30	5,30	4,48	2,659	0,84	45,73	13,98	86,02	SM-SC	A-2-4	0,00	77,76	22,24
47	Puerro Arturo	20,20	17,24	2,96	10,87	2,648	0,51	33,74	53,50	46,50	ML-CL	A-4	0,00	52,68	47,32
48		23,50	21,30	2,20	11,08	2,642	0,71	41,61	40,08	59,92	SM	A-2-4	0,00	77,24	22,76
Parroquia Huachi Grande															
49	San José	21,83	21,00	0,83	6,64	2,413	1,37	57,86	12,79	87,21	SM	A-2-4	0,36	64,32	35,32
50		26,33	25,41	0,92	12,01	2,513	1,09	52,05	28,86	71,14	SM	A-2-4	0,00	65,17	34,83
51	La Florida	21,44	19,05	2,39	7,91	2,413	0,56	35,71	37,93	62,07	SC	A-4	0,00	51,60	48,40
52		21,96	18,24	3,72	9,99	2,403	0,74	42,41	34,55	65,45	SC	A-4	0,00	55,44	44,56
53	El Porvenir	20,84	18,53	2,31	18,45	2,509	0,98	49,55	49,96	50,04	SC	A-2-4	0,24	66,29	33,47
54		21,55	19,55	2,00	6,41	2,395	0,61	28,66	28,66	71,34	SC	A-2-4	3,32	67,82	28,86

Parroquia Santa Rosa															
55	El Quinche	26,48	25,62	0,86	5,39	2,463	1,20	11,92	11,92	88,08	SW-SM	A-2-4	0,00	89,04	10,96
56		30,77	30,28	0,49	8,58	2,463	1,01	22,60	22,60	77,40	SM	A-2-4	0,00	83,08	16,92
57	Las Lajas	24,09	23,91	0,18	5,86	2,478	0,84	18,12	18,12	81,88	SM	A-2-4	0,00	73,60	26,40
58		20,36	20,21	0,15	11,14	2,483	0,96	30,38	30,38	69,62	SM	A-2-4	0,00	57,76	42,24
59	El Tropezón	19,93	18,34	1,59	8,51	2,531	0,87	25,40	25,40	74,60	SC	A-2-4	0,00	62,68	37,32
60		19,39	16,67	2,72	4,97	2,460	0,43	30,48	30,48	69,52	SC	A-4	0,00	61,96	38,04
Parroquia Izamba															
61	Urbanización	23,61	22,83	0,78	23,09	2,420	0,84	45,77	72,62	27,38	SM	A-2-4	0,52	73,22	26,26
62	Aeropuerto	21,64	20,53	1,11	20,50	2,425	0,90	47,32	60,37	39,63	SM-SC	A-2-4	0,52	69,06	30,42
63	San Vicente	27,60	26,00	1,60	29,00	2,432	0,91	47,68	85,13	14,87	SM	A-2-4	0,00	74,88	25,12
64		18,62	17,36	1,26	8,03	2,461	1,07	51,71	20,03	79,97	SC	A-2-4	0,00	68,42	31,58
65	Viña Loma	20,92	19,89	1,03	10,43	2,392	0,96	49,06	28,84	71,16	SC	A-4	0,40	61,94	37,66
66		20,76	19,66	1,10	20,53	2,738	0,90	47,31	60,79	39,21	SC	A-2-4	0,00	72,67	27,33
Parroquia Picaihua															
67	Picaihua - 3 Juanes	20,55	20,13	0,42	12,24	2,351	0,66	39,64	49,42	50,58	SM-SC	A-2-4	0,00	92,45	7,55
68		18,24	17,17	1,07	8,12	2,123	0,88	46,90	24,55	75,45	SC	A-2-4	0,00	96,44	3,56
69	Casario 10 de Agosto	22,62	20,77	1,85	8,79	2,600	0,79	43,99	29,12	70,88	SM-SC	A-2-4	0,56	66,94	32,50
70		20,95	20,41	0,54	8,90	2,566	0,70	41,29	33,64	66,36	SM-SC	A-2-4	0,00	81,33	18,67
71	Picaihua-Sigsipamba	21,05	20,71	0,34	4,05	2,500	0,83	45,37	12,88	87,12	SM-SC	A-2-4	0,00	84,53	15,47
72		21,36	18,28	3,08	2,29	2,682	0,64	38,86	9,49	90,51	SC	A-2-4	0,48	71,94	27,58
Parroquia Juan Benigno Vela															
73	San Pablo	21,58	15,45	6,14	18,33	2,642	1,07	51,58	45,13	54,87	SM-SC	A-2-4	0,00	74,39	25,61
74		27,29	22,84	4,45	10,33	2,485	0,99	49,69	29,38	70,62	SM-SC	A-2-4	0,00	79,77	20,23
75	Chacapungo	26,43	21,03	5,41	22,60	2,397	1,06	51,53	55,16	44,84	SM-SC	A-2-4	0,00	92,05	7,95
76		18,72	14,02	4,70	16,17	2,207	0,95	48,73	45,41	54,59	SM-SC	A-2-4	0,00	68,34	31,66
77	Pataló Alto	26,99	27,42	0,00	12,35	2,155	0,56	36,07	59,21	40,79	SM	A-2-4	4,74	74,63	20,63
78		19,43	11,57	7,86	14,06	2,672	0,87	46,56	42,69	57,31	SC	A-2-4	0,20	77,80	22,00

Parroquia Pilahuin															
79	Chibuleo - La Merced	28,92	36,18	0,00	29,72	2,662	1,06	51,43	74,57	25,43	SM	A-2-4	7,75	77,28	14,97
80		20,78	20,90	0,00	15,08	2,649	1,16	53,64	34,92	65,08	SM	A-2-4	1,84	78,05	20,11
81	Complejo Aguaján	23,69	23,08	0,60	7,28	2,693	0,70	41,09	27,59	71,41	SM	A-2-4	3,25	73,14	23,61
82		21,30	26,98	0,00	19,42	2,606	0,83	45,29	62,68	37,32	SM	A-2-4	0,00	78,16	21,84
83	Palugsha	26,47	30,36	0,00	16,07	2,601	0,49	32,88	87,48	12,52	SM	A-2-4	7,16	80,19	12,65
84		27,47	30,74	0,00	33,75	2,618	0,64	38,91	85,33	14,67	SM	A-2-4	11,01	81,01	7,98
Parroquia Pasa															
85	Cuatro Esquinas - Llillagua	40,21	39,89	0,32	33,66	2,315	1,07	51,66	85,31	14,69	SM	A-2-4	0,00	90,60	9,40
86		44,46	44,03	0,43	27,76	2,304	0,91	47,53	81,86	18,14	SM-SC	A-2-4	0,00	83,56	16,44
87	Cashapotrero - Cuatro Esquinas	24,32	21,81	2,52	28,71	2,637	0,93	48,08	82,15	17,85	SM	A-2-4	0,00	72,60	27,40
88		31,03	27,60	3,43	15,51	1,401	0,82	45,04	56,03	43,97	SM	A-2-4	0,00	67,64	32,36
89	Pasa - Via Mogato	36,69	35,17	1,52	26,67	2,392	0,74	42,61	90,43	9,57	SM	A-2-4	0,00	81,68	18,32
90		32,61	32,13	0,48	27,67	2,157	0,79	44,04	92,65	7,35	SM	A-2-4	0,00	97,20	2,80
Parroquia San Fernando															
91	Puauleo - Chaguarhuaycu	39,00	38,09	0,91	32,29	2,187	1,03	50,84	82,92	17,08	SM	A-2-4	0,00	93,76	6,24
92		34,05	28,70	5,35	14,89	2,190	0,92	48,05	42,56	57,44	SM	A-2-4	0,00	97,36	2,64
93	San Fernando - Loma Yanashon	30,85	28,48	2,37	30,10	2,341	0,92	47,97	86,54	13,46	SM	A-2-4	0,00	88,12	11,88
94		22,00	20,89	1,11	18,30	2,376	0,87	46,62	55,17	44,83	SM	A-2-4	0,00	97,60	2,40
95	La Dolorosa - Culac	26,70	23,33	3,37	27,84	2,336	0,85	45,84	86,92	13,08	SM	A-2-4	0,00	85,16	14,84
96		34,30	31,45	2,85	31,19	2,195	1,07	51,74	76,31	23,69	SM	A-2-4	0,00	88,12	11,88
Parroquia Totoras															
97	Huachi Totoras - Paso Lateral	26,22	24,34	1,87	17,18	2,405	0,57	36,19	72,84	27,16	SM	A-2-4	0,00	88,40	11,60
98		24,02	22,90	1,12	7,07	2,632	0,45	31,19	41,04	58,96	SM	A-2-4	0,00	78,76	21,24
99	San José - Huachi Totoras	27,71	23,90	3,81	16,11	2,340	0,47	31,87	80,57	19,43	SM	A-2-4	0,00	84,92	15,08
100		24,24	22,54	1,71	15,15	2,422	0,67	40,12	54,78	45,22	SM	A-2-4	0,00	76,04	23,96
101	Totoras - La Esperanza	26,06	23,60	2,46	14,06	2,468	0,67	39,97	52,13	47,87	SM	A-2-4	0,00	82,60	17,40
102		26,21	24,61	1,60	12,10	2,664	0,38	27,61	84,54	15,46	SM	A-2-4	0,00	80,12	19,88

Parroquia Montalvo															
103	La Esperanza - Montalvo	28,48	26,33	2,15	9,25	2,660	0,83	45,31	29,69	70,31	SM	A-2-4	0,00	89,76	10,24
104		32,03	28,66	3,37	8,17	2,697	0,46	31,61	47,64	52,36	SM	A-2-4	0,00	86,24	13,76
105	Montalvo - Cevallos	23,69	21,79	1,90	10,19	2,485	0,50	33,19	50,96	49,04	SM	A-2-4	0,00	65,96	34,04
106		26,16	22,98	3,18	14,18	2,448	0,39	27,84	89,97	10,03	SM	A-2-4	0,00	70,00	30,00
107	Montalvo-Manzana de Oro	29,67	25,23	4,44	16,23	2,621	0,64	38,89	66,85	33,15	SM-SC	A-2-4	0,00	67,96	32,04
108		27,46	23,51	3,95	15,47	2,743	0,68	40,68	62,64	37,36	SM	A-2-4	0,00	68,40	31,60
CANTÓN QUERO															
Parroquia La Matriz															
109	Placer	19,83	17,5	2,33	13,34	2,807	1,39	58,2	27,27	72,73	SM	A-2-4	0,00	75,70	24,30
110		19,71	20,51	0	10,46	2,571	1,02	50,6	25,31	74,69	-	A-3	0,00	79,16	20,84
111	Pinquíl	19,81	18,92	0,89	7,43	2,523	0,78	43,91	21,57	78,43	SM	A-2-4	0,00	80,56	19,44
112		24,29	23,85	0,44	4,73	2,657	0,72	41,88	16,71	83,29	SM	A-2-4	0,00	84,92	15,08
113	San Pedro de Sabañag	20,35	20,02	0,33	14,62	2,785	1,15	53,59	35,26	64,74	SP-SM	A-2-4	0,00	91,84	8,16
114		19,73	18,47	1,26	6,88	2,815	0,86	46,13	21,51	78,49	SM	A-2-4	0,00	83,98	16,02
115	Hualcanga	18,72	18,35	0,37	12,47	2,470	0,67	40,09	45,07	54,93	SP-SM	A-2-4	0,00	88,04	11,96
116		20,12	19,71	0,41	12,84	2,638	0,86	46,1	38,37	61,63	SM	A-2-4	0,00	84,42	15,58
117	San José de Guato	21,41	17,77	3,64	13,16	2,530	1,04	50,95	32,8	67,2	SM	A-2-4	0,00	77,10	22,90
118		19,57	19,39	0,18	13,32	2,524	0,82	45,05	40,78	59,22	SM	A-2-4	0,00	85,50	14,50
119	Libertad	31,4	23,06	8,34	28,87	2,814	1,91	65,65	41,5	58,5	SP-SM	A-2-4	0,00	88,38	11,62
120		20,2	19,89	0,31	13,06	2,467	0,7	41,18	45,69	54,31	SM	A-2-4	0,00	81,24	18,76
Parroquia Rumipamba															
121	Pichibamba –	27,65	27,60	0,05	15,24	2,560	1,66	62,37	21,72	78,28	SM	A-2-4	0,00	81,65	18,35
122	Quebrada Potrerillos	23,65	23,47	0,18	12,93	2,530	1,76	63,77	21,70	78,30	SM	A-2-4	0,00	81,69	18,31
123	Guangalo Bajo – San Juan	25,71	23,20	2,51	19,77	2,600	1,57	61,14	35,48	64,52	SM	A-2-4	0,00	70,11	29,89
124		30,89	29,43	1,46	21,80	2,650	1,36	57,68	39,29	60,71	SM	A-2-4	0,00	71,14	28,86
125	Guangalo Alto – Parcaloma	24,09	23,35	0,74	22,65	2,520	1,97	66,30	31,90	68,10	SM	A-2-4	0,00	87,03	12,97
126		31,11	30,93	0,18	22,45	2,620	1,81	64,47	32,15	67,85	SM	A-2-4	0,00	84,93	15,07

Parroquia Yanayacu															
127	La Dolorosa –	22,92	22,49	0,43	14,72	2,510	1,45	59,18	26,32	73,68	SM	A-2-4	0,00	76,08	23,92
128	Yanayacu Centro	26,24	26,07	0,16	14,34	2,630	1,76	63,71	17,42	82,58	SM	A-2-4	0,00	76,56	23,44
129	E35 – Luis López	29,09	37,18	0,00	21,34	2,570	1,47	59,50	40,38	59,62	SP	A-3	0,00	93,09	6,91
130		30,65	32,67	0,00	14,93	2,670	1,77	63,96	24,91	75,09	SP	A-3	0,00	99,48	0,52
131	12 de Octubre-	29,47	24,25	5,22	23,58	2,770	1,81	64,37	37,19	62,81	SM	A-2-4	0,00	75,83	24,17
132	Quebrada Yanayacu	29,88	26,18	3,69	26,05	2,580	1,89	65,43	37,06	62,94	SM	A-2-4	0,00	73,29	26,71
CANTÓN TISALEO															
Parroquia Tisaleo															
133	Centro parroquial -	28,81	24,71	4,10	19,75	2,347	1,00	50,06	51,26	48,74	SP	A-2-4	0,00	99,90	0,10
134	Comunidad Sta. Lucía	29,92	26,70	3,21	13,40	2,175	0,99	49,84	37,50	62,50	SP	A-2-4	0,00	99,92	0,08
135	Chilco - La Esperanza	27,54	27,30	0,24	4,09	2,238	0,91	47,71	11,59	88,41	SP	A-2-4	0,00	99,75	0,25
136		24,75	32,56	0,00	6,72	2,206	0,91	47,66	18,73	81,63	SP	A-2-4	0,00	99,31	0,69
137	Chilco - El Calvario	21,97	20,97	1,00	18,14	2,267	1,66	62,35	25,55	74,55	SP	A-2-4	0,00	98,90	1,10
138		32,35	30,51	1,84	9,61	2,221	0,55	35,58	39,46	60,54	SP	A-2-4	0,00	98,94	1,06
Parroquia Quichincoto															
139	Caserío Santa	35,80	34,86	0,94	15,36	2,238	0,91	47,74	11,59	88,44	SP	A-2-4	0,00	99,73	0,27
140	Marianita	42,97	47,06	0,00	27,73	2,206	0,91	47,66	18,37	81,63	SP	A-2-4	0,00	99,22	0,78
141	Caserío la Unión	35,03	29,07	5,96	11,75	2,408	1,34	57,26	23,39	76,61	SP	A-2-4	0,00	99,38	0,62
142		34,78	36,45	0,00	22,70	2,512	1,49	59,85	39,77	60,23	SP	A-2-4	0,00	98,19	1,81
143	Caserío San Vicente	29,67	31,25	0,00	15,63	2,284	1,29	56,29	32,17	67,83	SP	A-2-4	0,00	99,32	0,68
144		37,53	47,69	0,00	17,67	2,197	1,16	53,64	40,97	59,03	SP	A-2-4	0,00	98,56	1,44
CANTÓN MOCHA															
Parroquia Pinguilí															
145	Calle S/N sector San	19,75	20,71	0,00	9,6	2,596	0,69	40,78	62,00	38,00	SW-ML	A-3	5,20	85,31	9,49
146	Pedro	18,41	12,75	5,67	12,69	2,550	1,27	56,03	76,17	23,83	SP-CL-ML	A-2-4	0,00	92,56	7,44
147	Calle #9 sector El	20,30	19,77	0,55	14,99	2,494	1,13	53,13	65,09	34,91	SP-ML	A-2-4	1,64	89,72	8,64
148		Paraíso	21,05	21,45	0,00	8,10	2,572	1,06	51,36	78,50	21,50	SP	A-3	1,20	93,52

Parroquia La Matriz															
149	Av. 24 de Mayo sector	20,82	19,93	0,90	11,66	2,584	0,85	45,86	64,72	35,28	SP	A-2-4	0,36	95,32	4,32
150	Yanahurco	20,64	18,76	1,58	16,02	2,508	0,91	47,70	51,84	48,16	SP-ML	A-2-4	0,96	92,44	6,60
151	Av. Juan León Mera	24,90	20,00	4,93	17,89	2,703	0,80	44,30	37,51	62,49	SP-CL-ML	A-2-4	0,20	90,24	9,56
152	sector Mocha	21,83	21,17	0,66	27,22	2,610	1,30	56,49	75,25	24,75	SP-ML	A-2-4	0,68	92,16	7,16
153	Av. Principal, sector	33,93	27,31	6,62	44,99	2,622	1,87	65,19	35,28	64,72	SP-ML	A-2-4	0,52	94,08	5,40
154	Chilcapamba	20,42	24,61	0,00	17,62	2,631	1,34	57,19	64,62	35,38	SP-ML	A-3	0,72	90,28	9,00
155	Vía S/N sector	26,55	23,33	3,22	21,21	2,516	1,14	53,18	63,42	36,58	SP-ML	A-2-4	0,08	95,80	4,12
156	Hacienda Atillo	32,29	28,93	3,36	26,73	2,541	1,69	62,81	53,78	46,22	SP-ML	A-2-4	0,16	91,44	8,40
CANTÓN CEVALLOS															
Parroquia Cevallos															
157	Vía España	23,33	22,59	0,74	3,70	2,645	0,75	42,72	13,15	86,85	SP	A-2-4	0,00	96,16	3,84
158		24,04	23,92	0,12	11,19	2,659	0,94	48,33	31,70	68,30	SM-SC	A-2-4	0,00	83,04	16,96
159	Vía 13 de Mayo	23,95	23,66	0,29	8,24	2,524	0,79	44,21	27,57	72,43	SM-SC	A-2-4	0,00	90,65	9,35
160		21,57	20,56	1,01	11,58	2,654	0,93	48,25	32,91	67,09	SM-SC	A-2-4	0,00	91,44	8,56
161	Vía Pedro Fermín	23,03	21,17	1,86	10,89	2,653	0,94	48,52	30,62	69,38	SM-SC	A-2-4	0,00	86,57	13,43
162	Cevallos	19,20	17,34	1,86	9,99	2,651	0,72	41,79	36,87	63,13	SM-SC	A-2-4	0,00	92,69	7,31

Elaborado por: Gallegos Gabriela

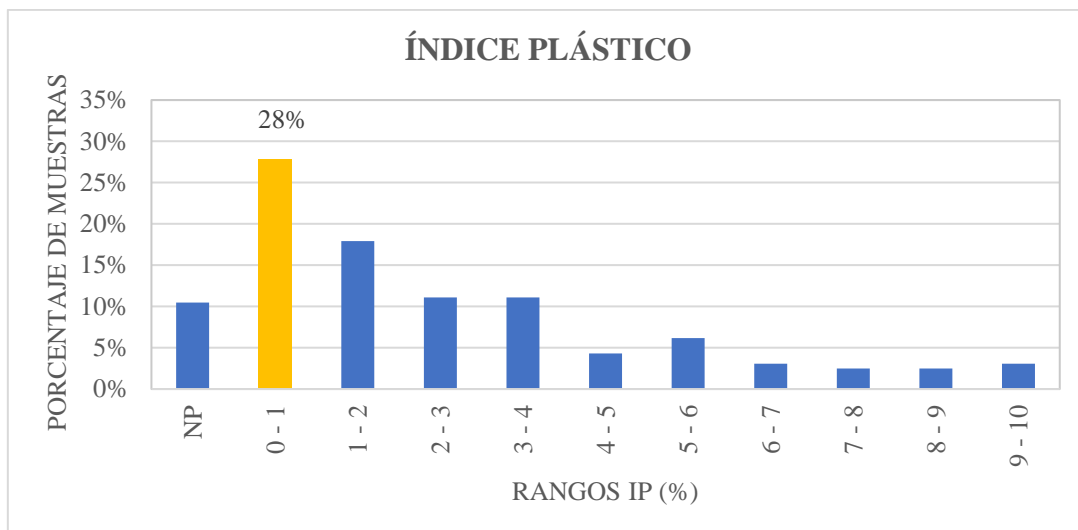


Figura 45. Número de muestras e Índice Plástico (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (28%), posee un índice plástico (IP) dentro del rango de 0% a 1% , indicando una baja plasticidad de los suelos analizados.

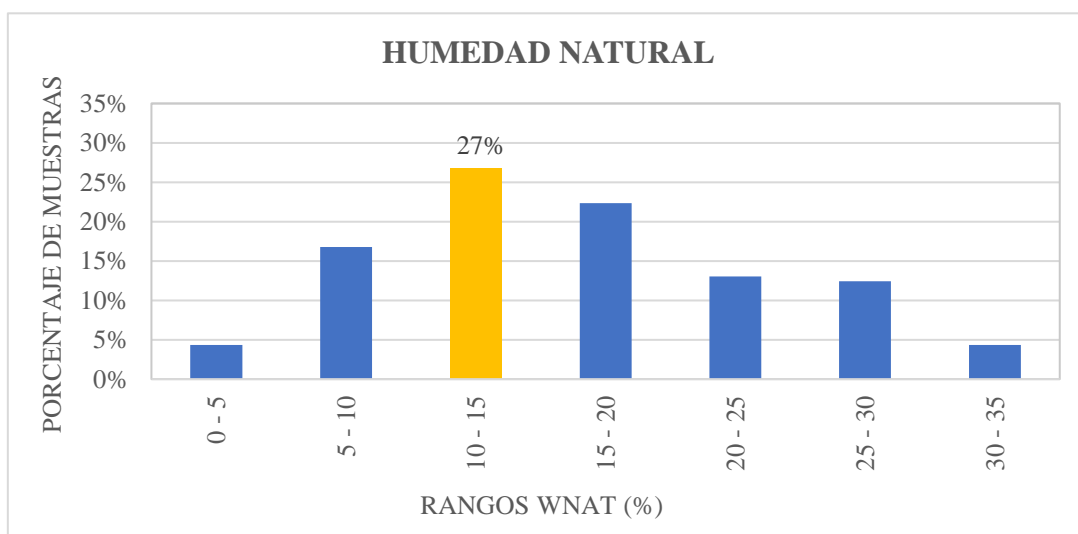


Figura 46. Número de muestras y Humedad Natural (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

La mayor parte de muestras (27%), tiene su humedad natural (Wnat) en el rango de 15% a 20%. Estos valores son similares a los de humedad óptima, relacionado a los altos grados de compactación que presentan en estado natural los suelos estudiados.

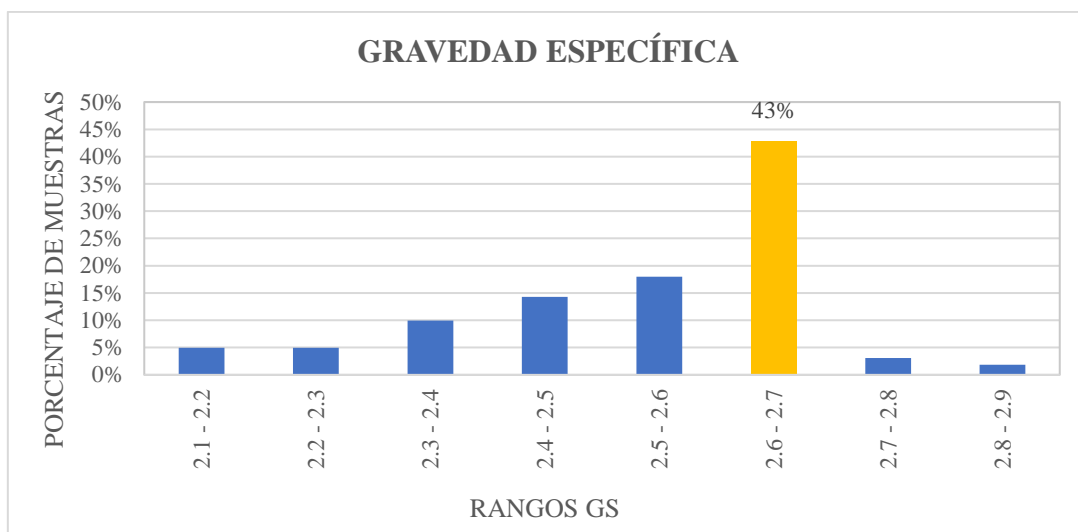


Figura 47. Número de muestras y Gravedad Específica (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (43%), esta en el rango de Gravedad Específica (Gs) entre 2,6 y 2,7. Teniendo en cuenta que los suelos analizados son de naturaleza granular, estos valores son valores comunes para esta propiedad.

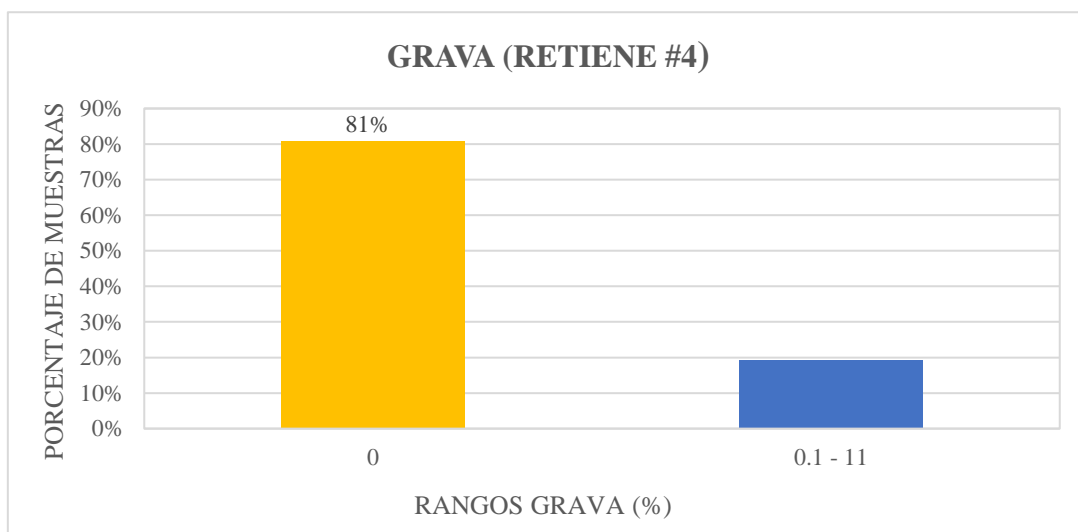


Figura 48. Número de muestras y Porcentajes de Grava (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (81%) presenta 0% de gravas, esto indica que, la mayoría de los suelos estudiados son de naturaleza arenosa.

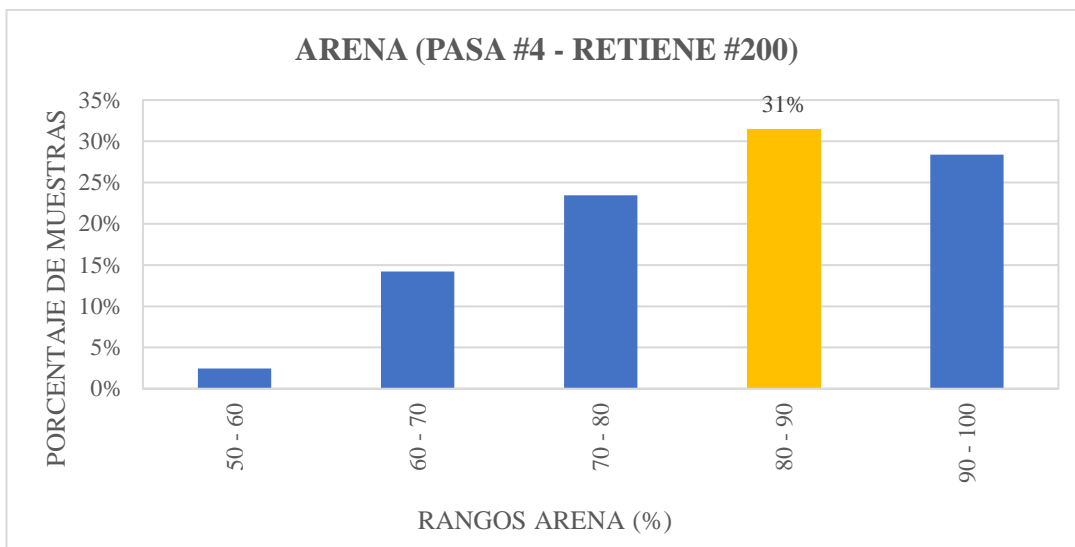


Figura 49. Número de muestras y Porcentajes de Arena (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

La mayoría de muestras (31%) presenta un porcentaje de arena entre el 80% y 90%. Esto indica que, la fracción de partículas que integran la mayor parte de los suelos analizados es predominantemente granular.

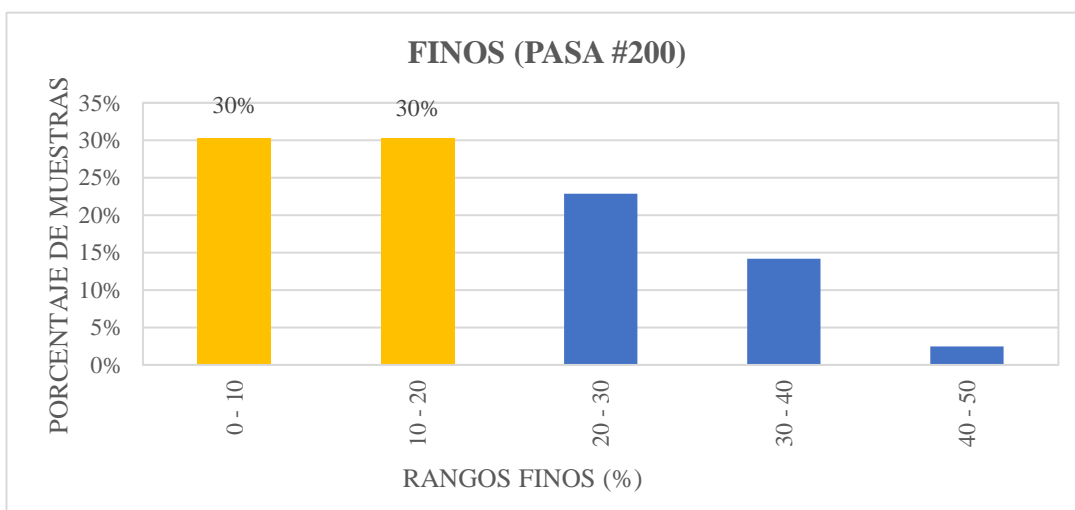


Figura 50. Número de muestras y Porcentajes de Fracción Fina (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

Los rangos de fracción fina en donde se encuentra la mayor parte de muestras son de 0% a 10% y de 10 a 20%, incluyendo en total al 60% de las muestras. La presencia de estos porcentajes bajos de partículas finas, proporcionan cierta plasticidad a los suelos analizados.

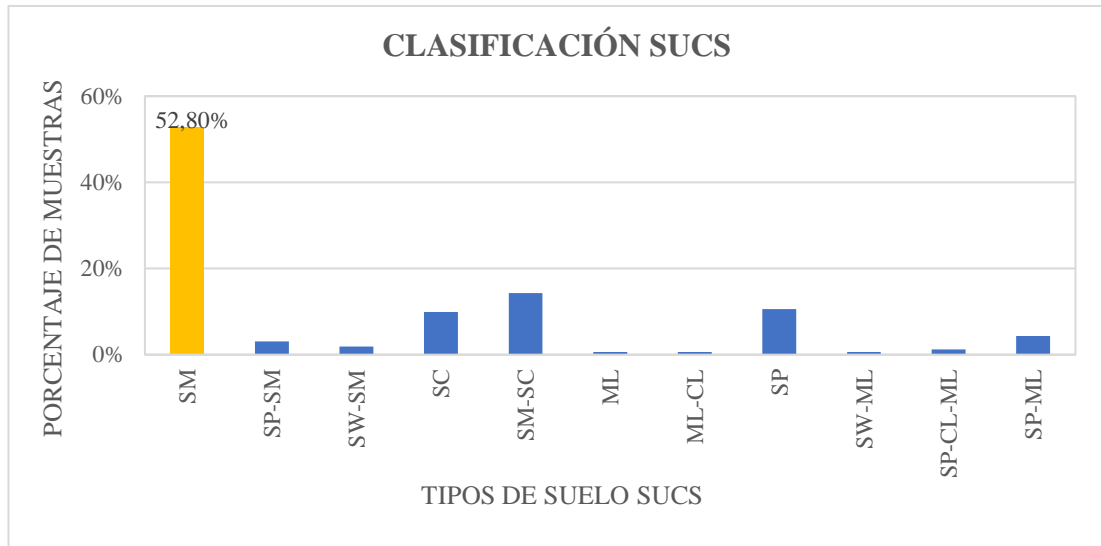


Figura 51. Número de muestras y Clasificación SUCS (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El 52,80 % de las muestras analizadas son de tipo SM, bajo el sistema SUCS los suelos de estudio son, en su mayoría, a arenas con componentes de limo y arcilla.

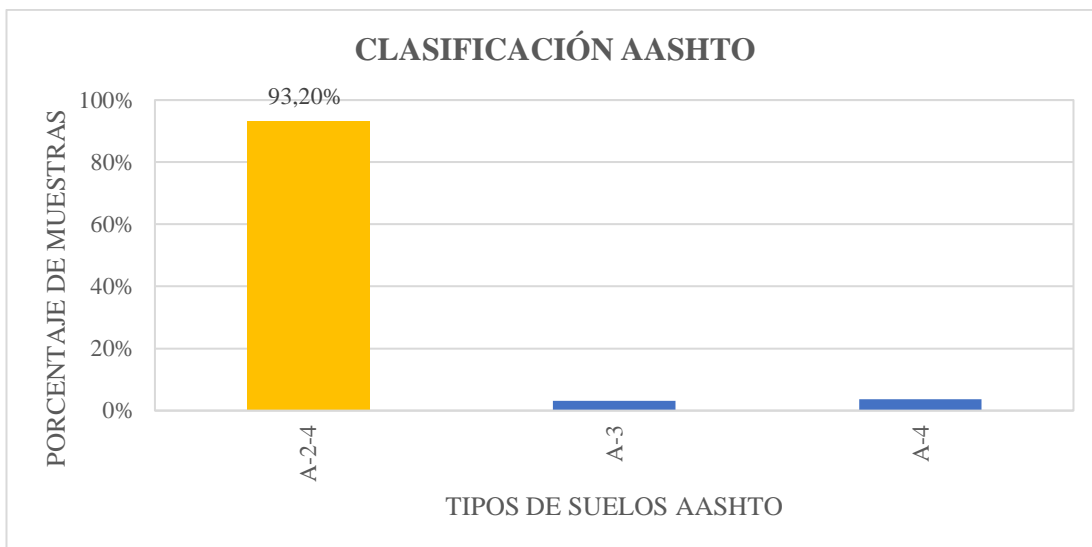


Figura 52. Número de muestras y Clasificación AASHTO (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela



Análisis:

El 93.2% de las muestras analizadas pertenece al grupo A-2-4, bajo el sistema AASHTO los suelos de estudio son, en su mayoría, gravas y arenas limosas o arcillosas.

3.1.2. Propiedades mecánicas

Se reunió la información correspondiente de propiedades mecánicas de los cantones de estudio Ambato, Quero, Tisaleo y Mocha; en el caso del cantón Cevallos se realizaron los respectivos ensayos de campo y laboratorio.

Tabla 41. Cuadro resumen de propiedades mecánicas de los suelos

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS SUELOS									
# Muestra	Vía / Sector	Densidad de Campo γ_d (gr/cm ³)	Compactación (Proctor Modificado Tipo B)			CBR de Laboratorio (%) 95% DSM			DCP
			Densidad Seca Máxima γ_{dmax} (gr/cm ³)	Cóntenido de Humedad óptimo Wop%	Grado de Compactación Gc%	% CBR (0,1 Plg)	% CBR (0,2 Plg)	% CBR Mayor	DN (mm/golpe)
CANTÓN AMBATO									
Parroquia Ambatillo									
1	Chachilvana	1,450	1,660	25,50	87	8,4	12,3	12,3	4,72
2	Grande	1,490	1,540	22,40	97	12,7	9,8	12,7	3,94
3	Puganza Alto	1,500	1,480	27,50	101	13,0	9,7	13,0	9,54
4		1,450	1,420	23,00	102	10,8	8,0	10,8	11,36
5	Condezán	1,870	1,540	18,20	121	10,0	11,8	10,2	19,58
6		1,720	1,590	22,10	108	14,8	11,0	14,8	4,27

Parroquia Quisapincha									
7	El Rosario	1,570	1,580	19,10	99	15,0	11,0	15,0	5,16
8		1,460	1,550	17,00	94	10,0	8,1	9,8	21,81
9	Santa Lucía	1,450	1,480	28,10	98	10,8	8,2	11,5	13,31
10		1,450	0,980	22,60	148	8,9	7,3	8,9	27,06
11	San Francisco	1,500	1,450	25,00	103	12,2	10,2	12,2	6,39
12		1,580	1,530	24,00	103	11,0	9,1	11,0	18,80
Parroquia Atahualpa									
13	El Pisque -La Merced	1,910	1,702	20,00	112	19,4	21,6	21,6	21,45
14		1,497	1,464	22,40	102	13,0	12,0	13,0	18,20
15	Santa Fé -Santa Teresa	2,059	1,669	18,50	123	20,0	19,6	20,0	17,89
16		2,031	1,731	15,40	117	24,3	26,7	26,7	34,02
17	Atahualpa - El Pisque	1,744	1,716	16,00	102	36,8	31,4	36,8	20,33
18		1,840	1,642	20,80	112	12,8	18,0	18,0	7,98
Parroquia Augusto Martínez									
19	Chaupi - San Pedro	1,663	1,655	21,80	100	31,7	34,5	34,5	3,21
20		1,572	1,437	18,40	109	21,4	23,3	23,3	28,00
21	San Pedro - Esperanza	1,588	1,742	17,90	91	18,8	20,4	20,4	11,47
22		1,462	1,708	16,30	86	21,5	27,9	27,9	8,00
23	Esperanza - Martínez	1,511	1,695	18,80	89	19,5	19,5	19,5	10,70
24		1,446	1,563	22,80	93	18,8	20,6	20,6	16,98
Parroquia Constantino Fernández									
25	La Dolorosa	1,544	1,691	15,60	91	14,3	12,4	14,3	4,04
26		1,548	1,564	20,35	99	44,3	40,4	44,3	4,30
27	Angahuana-San Juan	1,435	1,705	15,10	84	9,5	15,7	15,7	8,99
28		1,468	1,588	22,00	92	16,7	16,4	19,7	9,00
29	San José-La Libertad	1,489	1,730	15,80	86	42,5	39,9	42,5	25,10
30		1,535	1,646	18,00	93	41,5	39,2	41,5	15,68

Parroquia San Bartolomé de Pinlo									
31	San José-La Democracia	1,412	1,439	20,90	98	9,4	13,3	13,3	6,66
32		1,398	1,545	16,05	90	9,4	11,1	11,1	12,48
33	La Heroína-Sta.Marianita	1,445	1,420	20,20	102	47,2	41,5	47,2	12,71
34		1,593	1,755	17,20	91	9,0	11,6	11,6	6,31
35	El Alcance-Quisapincha	1,453	1,462	22,50	99	19,0	20,1	20,1	4,68
36		1,512	1,822	16,20	83	46,1	49,5	49,5	7,84
Parroquia Cunchibamba									
37	Laginato	1,329	1,391	22,05	96	25,6	22,4	25,6	14,75
38		1,551	1,390	25,32	112	14,7	22,0	22,0	16,18
39	La Dolorosa	1,671	1,318	25,90	127	19,2	16,6	19,2	18,91
40		1,573	1,280	26,30	123	17,9	16,9	17,9	25,51
41	Velasco Ibarra	1,420	1,411	21,20	101	18,8	16,7	18,8	18,77
42		1,358	1,329	26,50	102	13,5	14,5	14,5	27,50
Parroquia Unamuncho									
43	El Progreso	1,476	1,280	20,90	115	22,1	23,5	23,5	19,14
44		1,681	1,310	22,10	128	15,7	15,0	15,7	18,40
45	Chaupi	1,548	1,400	16,50	111	16,9	16,5	16,9	22,59
46		1,438	1,669	15,70	86	10,2	11,8	11,8	28,09
47	Puerrto Arturo	1,746	1,628	13,10	107	17,8	16,1	17,8	19,60
48		1,543	1,641	13,30	94	22,8	22,1	22,8	17,05
Parroquia Huachi Grande									
49	San José	1,116	1,625	17,00	69	27,4	33,7	33,7	19,15
50		1,270	1,514	18,40	84	28,5	34,3	34,3	21,26
51	La Florida	1,705	1,601	16,60	106	21,0	25,5	25,5	38,19
52		1,525	1,674	16,80	91	57,5	69,5	69,5	9,93
53	El Porvenir	1,337	1,613	14,60	83	16,0	23,0	23,0	16,51
54		1,650	1,653	16,50	100	23,0	30,0	30,0	14,53

Parroquia Santa Rosa									
55	El Quinche	1,204	1,503	10,20	80	15,5	18,7	18,7	45,82
56		1,318	1,352	14,00	97	11,3	15,4	15,4	19,53
57	Las Lajas	1,435	1,548	16,40	93	21,7	26,2	26,2	31,54
58		1,349	1,611	16,20	84	27,2	35,0	35,0	10,55
59	El Tropezón	1,420	1,548	19,70	92	45,0	49,5	49,5	10,52
60		1,857	1,648	15,20	113	27,0	39,5	39,5	9,61
Parroquia Izamba									
61	Urbanización	1,437	1,559	19,64	92	32,5	27,0	32,5	12,65
62	Aeropuerto	1,396	1,587	18,00	88	23,1	26,4	26,4	14,22
63	San Vicente	1,387	1,563	18,95	89	40,0	41,6	41,6	3,73
64		1,280	1,627	16,30	79	23,7	33,5	33,5	18,95
65	Viña Loma	1,349	1,646	16,20	82	39,8	58,8	58,8	5,48
66		1,398	1,586	16,00	88	31,2	45,8	45,8	10,66
Parroquia Picaihua									
67	Picaihua - 3	1,600	1,685	13,64	95	34,3	32,3	34,3	8,71
68	Juanes	1,407	1,672	15,50	84	12,0	21,2	21,2	15,75
69	Caserio 10 de Agosto	1,484	1,550	15,30	96	7,7	12,8	12,8	14,53
70		1,556	1,635	13,30	95	39,0	55,7	55,7	44,52
71	Picaihua-Sigsipamba	1,448	1,620	15,66	89	42,4	49,0	49,0	20,17
72		1,621	1,634	15,70	99	42,4	49,0	49,0	7,69
Parroquia Juan Benigno Vela									
73	San Pablo	1,282	1,673	16,48	77	25,3	24,1	25,3	34,55
74		1,340	1,644	15,87	82	23,6	22,7	23,6	2,91
75	Chacapungo	1,279	1,820	13,01	70	6,2	5,8	6,2	4,41
76		1,359	1,661	18,63	82	13,8	13,1	13,8	19,26
77	Pataló Alto	1,698	1,586	20,64	107	11,3	10,3	11,3	5,65
78		1,415	1,711	15,54	83	16,9	16,0	16,9	41,12

Parroquia Pilahuin									
79	Chibuleo - La	1,288	1,537	23,28	84	14,6	13,9	14,6	14,97
80	Merced	1,229	1,687	16,25	73	17,0	16,5	17,0	5,65
81	Complejo Aguaján	1,563	1,665	18,33	94	18,5	16,6	18,5	7,23
82		1,451	1,605	19,05	90	11,7	11,2	11,7	12,76
83	Palugsha	1,780	1,719	16,74	104	9,4	7,7	9,4	3,53
84		1,617	1,606	21,14	101	13,5	11,3	13,5	4,37
Parroquia Pasa									
85	Cuatro Esquinas -	1,288	1,391	214,00	93	14,5	14,0	14,5	24,89
86	Llillagua	1,393	1,270	27,51	110	13,0	12,8	13,0	23,74
87	Cashapotrero -	1,376	1,633	18,50	84	38,0	32,0	38,0	23,64
88	Cuatro Esquinas	1,454	1,536	16,85	95	14,7	12,0	14,7	4,12
89	Pasa - Via Mogato	1,505	1,565	21,50	96	36,0	35,0	36,0	3,61
90		1,481	1,565	19,80	95	37,0	35,0	37,0	3,95
Parroquia San Fernando									
91	Puauleo -	1,303	1,501	22,30	87	21,2	23,0	23,0	10,79
92	Chaguarhuaycu	1,376	1,537	23,30	90	19,5	19,4	19,5	2,79
93	San Fernando -	1,379	1,561	20,00	88	10,0	11,1	11,1	36,36
94	Loma Yanashon	1,413	1,810	16,85	78	32,3	26,0	32,3	38,58
95	La Dolorosa -	1,434	1,669	17,80	86	32,5	30,0	32,5	36,62
96	Culac	1,276	1,163	30,10	110	13,1	11,5	13,1	14,96
Parroquia Totoras									
97	Huachi Totoras -	1,535	1,637	15,81	94	24,0	23,0	24,0	35,13
98	Paso Lateral	1,811	1,620	13,07	112	27,0	27,0	27,0	13,59
99	San José - Huachi	1,594	1,716	16,65	93	16,0	18,0	18,0	17,46
100	Totoras	1,451	1,702	14,25	85	42,0	39,0	42,0	23,48
101	Totoras - La	1,481	1,607	16,70	92	42,0	43,0	43,0	15,45
102	Esperanza	1,928	1,631	14,02	118	28,0	26,0	28,0	15,72

Parroquia Montalvo									
103	La Esperanza -	1,455	1,609	19,93	90	45,0	39,0	45,0	25,67
104	Montalvo	1,844	1,600	21,10	115	40,0	38,0	40,0	8,27
105	Montalvo -	1,660	1,713	16,00	97	47,0	38,0	47,0	20,02
106	Cevallos	1,766	1,805	15,21	98	33,0	30,0	33,0	13,20
107	Montalvo-	1,602	1,623	20,16	99	49,0	46,0	49,0	5,65
108	Manzana de Oro	1,635	1,723	15,73	95	26,0	23,0	26,0	12,12
CANTÓN QUERO									
Parroquia La Matriz									
109	Placer	1,175	1,730	12,80	68	30	35,9	35,9	24,9
110		1,266	1,720	14,00	74	27,0	36,1	35,1	24,40
111	Pinquil	1,406	1,716	12,00	82	21,0	26,0	26,0	29,41
112		1,542	1,588	14,40	97	1,2	4,8	4,8	25,38
113	San Pedro de	1,281	1,708	15,00	75	21,6	25,0	25,0	21,99
114	Sabañag	1,512	1,716	12,00	88	47,0	53,0	53,0	31,02
115	Hualcanga	1,476	1,804	13,50	82	17,0	20,9	20,9	42,92
116		1,417	1,770	14,00	80	17,0	21,0	21,0	29,23
117	San José de Guato	1,244	1,800	12,40	69	20,8	24,0	24,0	21,95
118		1,386	1,860	12,00	75	34,6	41,9	41,9	28,76
119	Libertad	0,961	1,720	11,40	56	16,5	19,2	19,2	20,17
120		1,450	1,712	10,40	85	33,5	43,5	43,5	22,74
Parroquia Rumipamba									
121	Pichibamba –	1,133	0,580	16,00	195	9,3	9,5	9,5	16,18
122	Quebrada	1,098	1,547	18,30	71	11,3	13,7	13,7	19,39
123	Guangalo Bajo –	1,247	1,726	14,75	72	20,5	19,2	20,5	19,07
124	San Juan	1,348	1,710	16,40	79	15,2	15,4	15,4	31,41
125	Guangalo Alto –	1,105	1,722	15,93	64	13,5	12,0	13,5	21,57
126	Parcaloma	1,149	1,713	16,10	67	19,2	19,6	19,6	15,44

Parroquia Yanayacu									
127	La Dolorosa –	1,238	1,575	24,70	79	14,6	15,3	15,3	15,00
128	Yanayacu Centro	1,073	1,672	20,50	64	24,5	22,9	245,0	8,96
129	E35 – Luis López	1,314	1,809	21,50	73	23,0	23,3	23,3	23,29
130		1,115	1,838	19,00	61	40,5	42,7	42,7	21,78
131	12 de Octubre-	1,184	1,513	25,35	78	12,8	13,3	13,3	29,03
132	Quebrada	1,159	1,556	22,03	74	15,8	14,3	15,8	21,87
CANTÓN TISALEO									
Parroquia Tisaleo									
133	Centro parroquial	1,319	1,526	20,80	86	6,0	8,6	8,6	24,50
134	Comunidad Sta.	1,337	1,492	16,90	90	12,0	14,1	14,1	17,71
135	Chilco - La	1,384	1,570	17,20	88	8,5	11,0	11,0	28,40
136	Esperanza	1,382	1,520	12,50	91	21,5	28,6	28,6	25,28
137	Chilco - El	0,979	1,532	20,70	64	25,4	26,4	26,4	9,92
138	Calvario	1,686	1,500	25,50	112	9,5	11,5	11,5	16,09
Parroquia Quichincoto									
139	Caserío Santa	1,333	1,545	22,00	86	14,6	16,0	16,0	12,79
140	Marianita	1,227	1,392	30,60	88	7,0	10,6	10,6	18,82
141	Caserío la Unión	1,113	1,512	22,80	74	10,9	17,4	17,4	14,94
142		1,061	1,455	28,40	73	8,7	11,7	11,7	20,58
143	Caserío San	1,158	1,572	21,40	74	14,8	15,8	15,8	28,88
144	Vicente	1,231	1,390	31,40	89	7,7	9,6	9,6	21,29
CANTÓN MOCHA									
Parroquia La Matriz									
145	Calle S/N sector	1,573	1,838	16,00	86	27,3	46,5	46,5	7,69
146	San Pedro	1,152	1,810	8,83	64	33,4	36,6	36,6	11,23
147	Calle #9 sector El	1,241	1,758	13,25	71	33,8	51,3	51,3	15,19
148	Paraíso	1,294	1,745	14,00	74	41,8	46,8	46,8	17,62

Parroquia Pinguilí									
149	Av. 24 de Mayo	1,430	1,730	13,72	83	39,8	42,5	42,5	28,87
150	sector Yanahurco	1,393	2,143	13,30	65	9,2	7,70	9,2	15,80
151	Av. Juan León	1,487	1,795	17,50	83	14,5	15,8	15,8	25,44
152	Mera sector	1,016	1,740	18,00	58	51,5	48,7	51,5	19,36
153	Av. Principal,	0,927	1,346	22,50	69	8,0	8,0	8,0	51,00
154	sector	1,137	1,829	15,80	62	27,5	23,2	27,5	15,68
155	Vía S/N sector	1,184	1,700	22,60	70	45,0	57,5	57,5	23,25
156	Hacienda Atillo	1,007	1,494	21,00	67	22,3	24,0	24,0	41,76
CANTÓN CEVALLOS									
Parroquia Cevallos									
157	Vía España	1,574	1,532	11,80	103	18,5	20,8	20,8	32,50
158		1,523	1,521	15,20	100	11,2	10,4	11,2	38,96
159	Vía 13 de Mayo	1,600	1,618	10,60	99	15,0	16,4	16,4	33,21
160		1,530	1,728	12,20	89	29,7	35,9	35,9	20,76
161	Vía Pedro Fermín	1,513	1,681	12,70	90	22,7	19,9	22,7	21,95
162	Cevallos	1,697	1,679	12,10	101	6,1	7,6	7,6	38,90

Elaborado por: Gallegos Gabriela

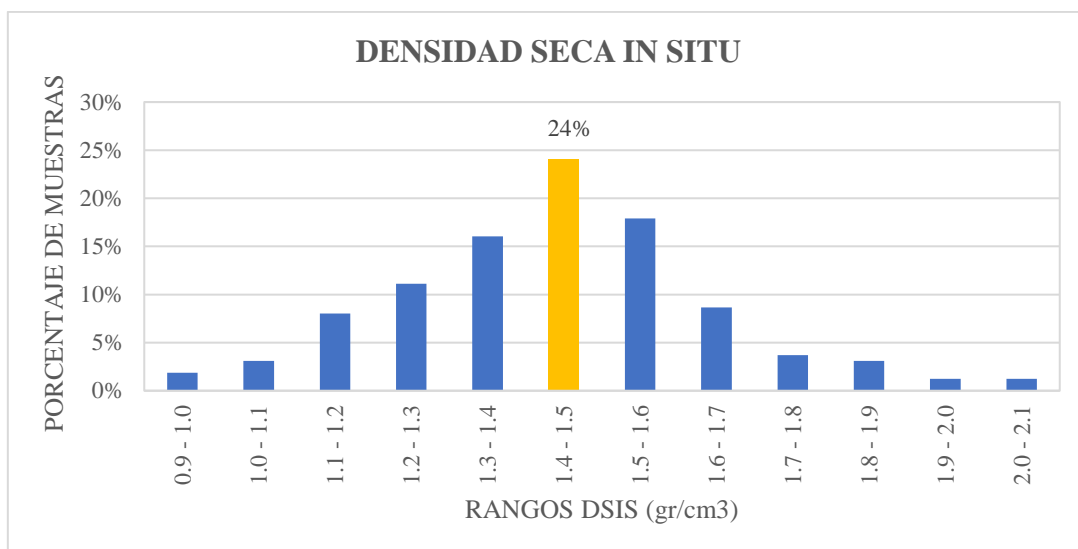


Figura 53. Número de muestras y Densidad Seca In Situ (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (24%), posee una densidad seca in situ entre 1.400 gr/cm³ y 1.500 gr/cm³. Teniendo en cuenta que los suelos estudiados son de naturaleza granular, estos valores son comunes para esta propiedad, además se encuentran cercanos a la densidad seca máxima.

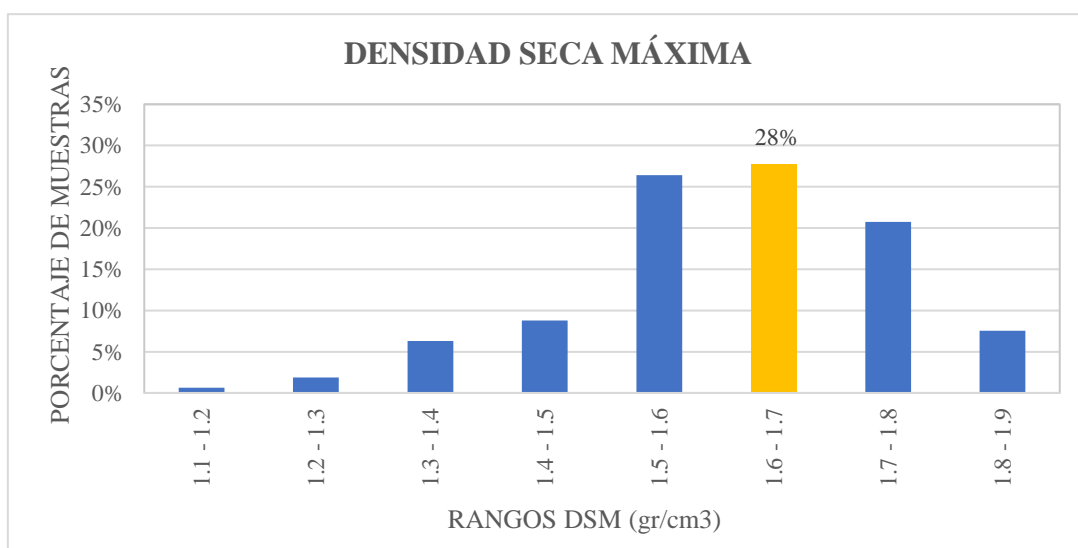


Figura 54. Número de muestras y Densidad Seca Máxima (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (28%), posee una densidad seca máxima entre 1.600 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³. Teniendo en cuenta que los suelos estudiados son de naturaleza granular, estos valores son comunes para esta propiedad.

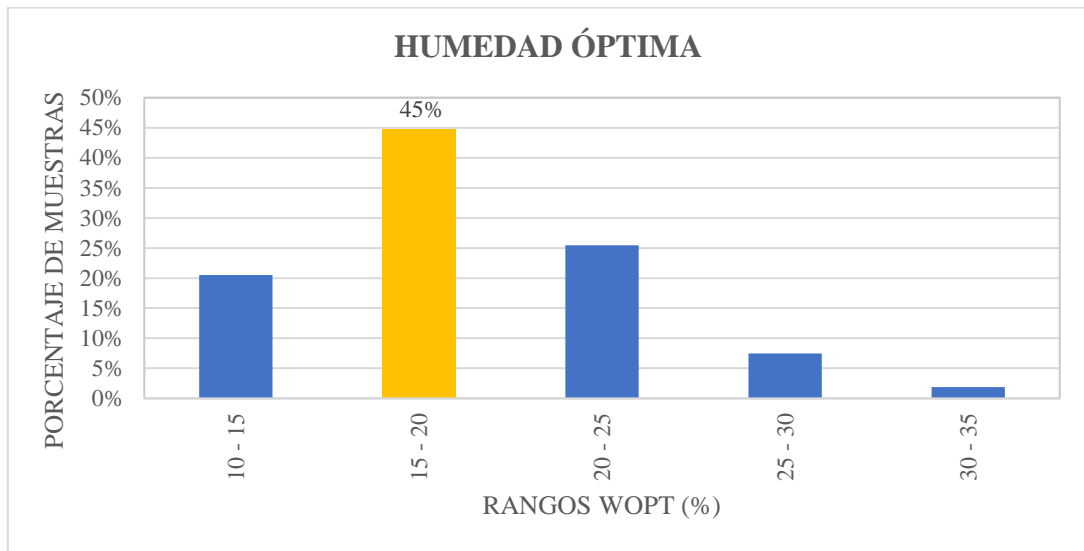


Figura 55. Número de muestras y Humedad Óptima (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras (45%), posee contenidos de humedad óptimos relativamente bajos ubicados dentro del rango de 15% a 20%, que son valores comunes para suelos granulares de subrasante.

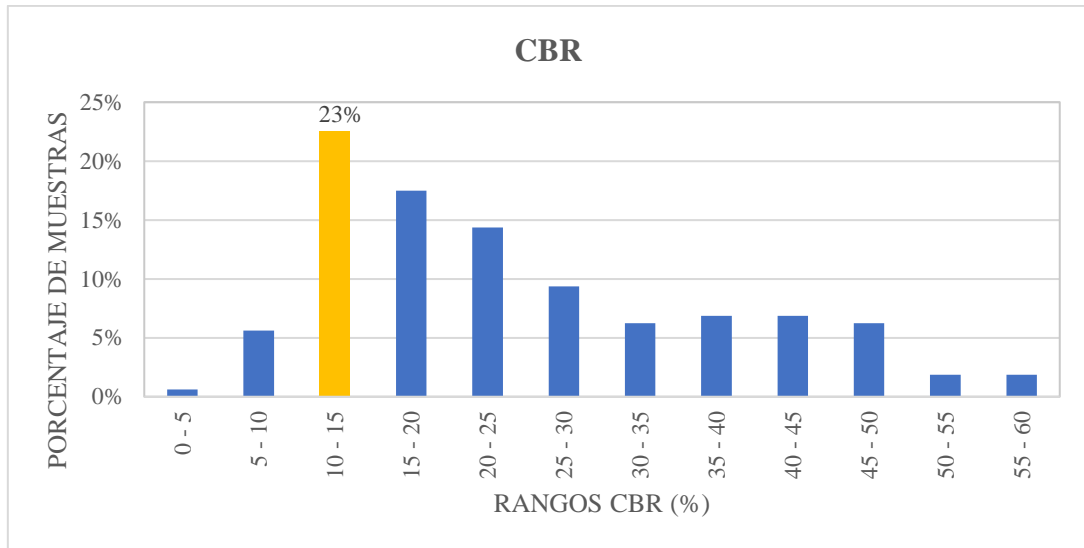


Figura 56. Número de muestras y CBR Mayor (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras analizadas (23%), presenta valores de CBR entre 10 al 15%, que superan al valor mínimo que establece la normativa (10%) para suelos de subrasante.

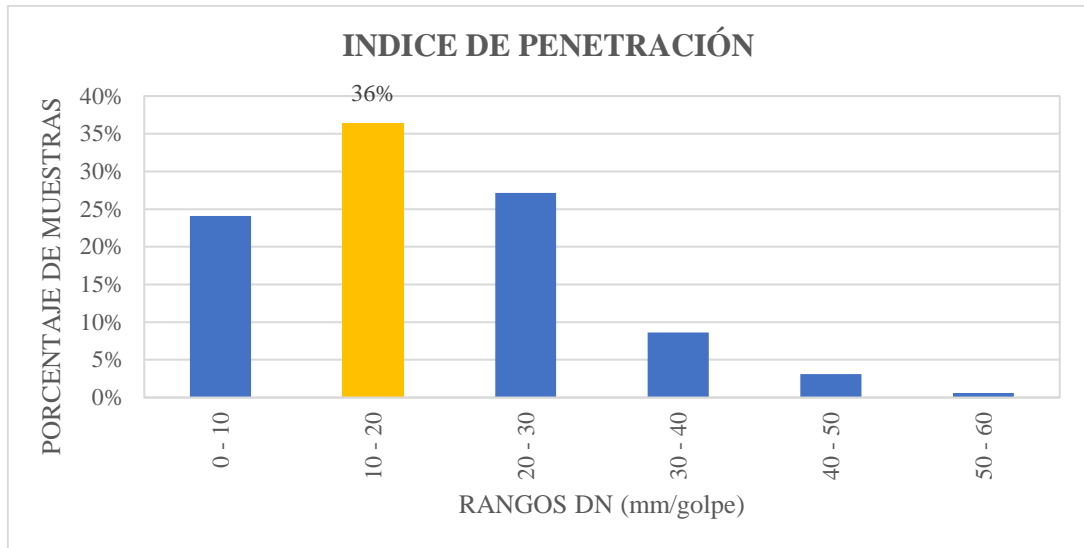


Figura 57. Número de muestras e Índice de Penetración (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Análisis:

El mayor porcentaje de muestras analizadas (36%), posee un Índice de penetración (DN) dentro del rango de 10 a 20 mm/golpe, indicando que los suelos evaluados poseen una elevada resistencia a la penetración dinámica de cono, característica en suelos granulares.

3.1.3. Correlaciones

Tabla 42. Cuadro resumen de correlaciones (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

RESUMEN CORRELACIONES 162 MUESTRAS			
N°	Correlación	Ecuación	R²
Correlaciones entre propiedades índice			
1	LL vs LP	$LP = 0,8214LL + 2,402$	0.68
2	Gw vs Wnat	$Gw = -0,0258Wnat^2 + 3,4162Wnat + 3,7235$	0.57
3	γ_{dmax} vs Wopt	$\gamma_{dmax} = -0,0004Wopt^2 - 0,0045Wopt + 1,8343$	0.50
4	Wopt vs LL	$Wopt = 0,5905LL + 2,7613$	0.54
5	γ_d vs e	$\gamma_d = 0,412e^2 - 1,4707e + 2,3943$	0.85
6	γ_{dmax} vs LP - LL	$\gamma_{dmax} = 0.589 * LL^{-0.324} * LP^{0.049}$	0.67
7	Wopt vs LP - Wnat	$Wopt = 0.439 * Wnat^{0.150} * LP^{0.464}$	0.98
Correlaciones entre DCP y propiedades índice			
8	DN vs LP	$DN = 0,0312 LP^2 - 2,0017 LP + 46,928$	0.06
9	DN vs N°200	$DN = 0,0028 N^{\circ}200^2 - 0,2209 N^{\circ}200 + 20,716$	0.02
10	DN vs LL	$DN = 0,0279 LL^2 - 1,972LL + 49,543$	0.06
11	DN vs γ_d	$DN = 18,296 \gamma_d^2 - 61,762 \gamma_d + 68,426$	0.05
12	DN vs γ_{dmax}	Correlación muy baja.	-
13	DN vs Wopt	$DN = 0,1065 Wopt^2 - 4,7647 Wopt + 68,07$	0.13
14	LP vs LL - DN	$LP = -0.014 + 0.565 \text{Log} (DN) + 0.894 LL$	0.70
Correlaciones entre CBR y propiedades índice			
15	CBR vs LP	$CBR = 0,0097 LP^2 - 1,2014 LP + 47,85$	0.09
16	CBR vs Wnat	$CBR = -0,0029 Wnat^2 - 0,3712 Wnat + 31,942$	0.08
17	CBR vs Wopt	$CBR = -0,045 Wopt^2 + 0,7408Wopt + 26,781$	0.13
18	CBR vs DN	$CBR = -0,0104 DN^2 + 0,362 DN + 22,296$	0.02
19	LP vs LL - CBR	$LP = -1.358 + 1.231 \text{Log} (CBR) + 0.908 LL$	0.70
20	CBR vs Wopt - DN	$CBR = 53.902 - 5.948 \text{Log} (DN) - 1.156 Wopt$	0.14
21	CBR vs γ_{dmax} - Wopt	$CBR = 1.637 * Wopt^{-0.425} * \gamma_{dmax}^{1.126}$	0.94
22	CBR vs Wnat - γ_d	$CBR = 1.491 * e^{-0.021 * \gamma_d} * e^{-0.008 * Wnat}$	0.94

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 43. Cuadro resumen de correlaciones (Cantón Cevallos)

RESUMEN CORRELACIONES (CEVALLOS)			
N°	Correlación	Ecuación	R²
Correlaciones entre propiedades índice			
1	LL vs LP	$LP = 0,0817LL^2 - 2,2436LL + 30,419$	0.96
2	Gw vs Wnat	$Gw = -0,3645Wnat^2 + 8,062Wnat - 11,914$	0.91
3	γd_{max} vs Wopt	$\gamma d_{max} = -0,0232Wopt^2 + 0,5757Wopt - 1,8809$	0.94
4	Wopt vs LL	$Wopt = 0,3053LL^2 - 12,767LL + 144,83$	0.60
5	γd vs e	$\gamma d = 4,7161e^2 - 8,5014e + 5,3475$	0.83
6	γd_{max} vs LP - LL	$\gamma d_{max} = 3.667 - 0.840 \text{ Log (LL)} - 0.040 LP$	0.68
7	Wopt vs LP - Wnat	$Wopt = 0.642 * Wnat^{0.123} * LP^{0.252}$	0.95
Correlaciones entre DCP y propiedades índice			
8	DN vs LP	$DN = 5,0947 LP - 84,544$	0.93
9	DN vs N°200	$DN = -0,0018 N^{\circ}200^2 - 0,0531 N^{\circ}200 + 33,808$	0.40
10	DN vs LL	$DN = 3,5688 LL^2 - 155,95LL + 1724$	0.84
11	DN vs γd	$DN = -566,94 \gamma d^2 + 1921,4 \gamma d - 1589$	0.94
12	DN vs γd_{max}	$DN = -179,12 \gamma d_{max}^2 + 500,63 \gamma d_{max} - 310,61$	0.86
13	DN vs Wopt	$DN = 2,4269 Wopt^2 - 61,779 Wopt + 416,92$	0.70
14	LP vs LL - DN	$LP = -8.843 + 0.036 DN + 1.300 LL$	0.97
15	γd vs DN - LL	$\gamma d = 3.061 - 1.207 \text{ Log (LL)} + 0.005 DN$	0.76
Correlaciones entre CBR y propiedades índice			
16	CBR vs LP	$CBR = 0,0037 LP^2 - 0,3251 LP + 27,395$	0.80
17	CBR vs Wnat	$CBR = 11,336 Wnat^2 - 229,33 Wnat + 1168,1$	0.65
18	CBR vs Wopt	$CBR = -0,6099 Wopt^2 + 14,844Wopt - 73,103$	0.14
19	CBR vs DN	$CBR = -32,42 \text{ Ln(DN)} + 129,48$	0.81
20	LP vs LL - CBR	$LP = -7.313 - 0.617 \text{ Log (CBR)} + 1.315 LL$	0.96
21	CBR vs Wopt - DN	$CBR = 55.093 - 1.128 DN - 0.078 Wopt$	0.82
22	CBR vs γd_{max} - Wopt	$CBR = 1.348 * Wopt^{-0.643} * \gamma d_{max}^{2.764}$	0.93
23	CBR vs Wnat - γd	$CBR = 68.747 - 220.062 \text{ Log}(\gamma d) - 1.055 Wnat$	0.64
24	CBR vs γd_{max} - γd	$CBR = 62.792 - 95.203 \gamma d + 65.199 \gamma d_{max}$	0.65
25	CBR vs Wopt - γd ($CBR = 159.99 - 461.165 \text{ Log}(\gamma d) - 4.049 Wopt$	0.65

Elaborado por: Gallegos Gabriela

3.1.3.1. Correlaciones entre propiedades índice

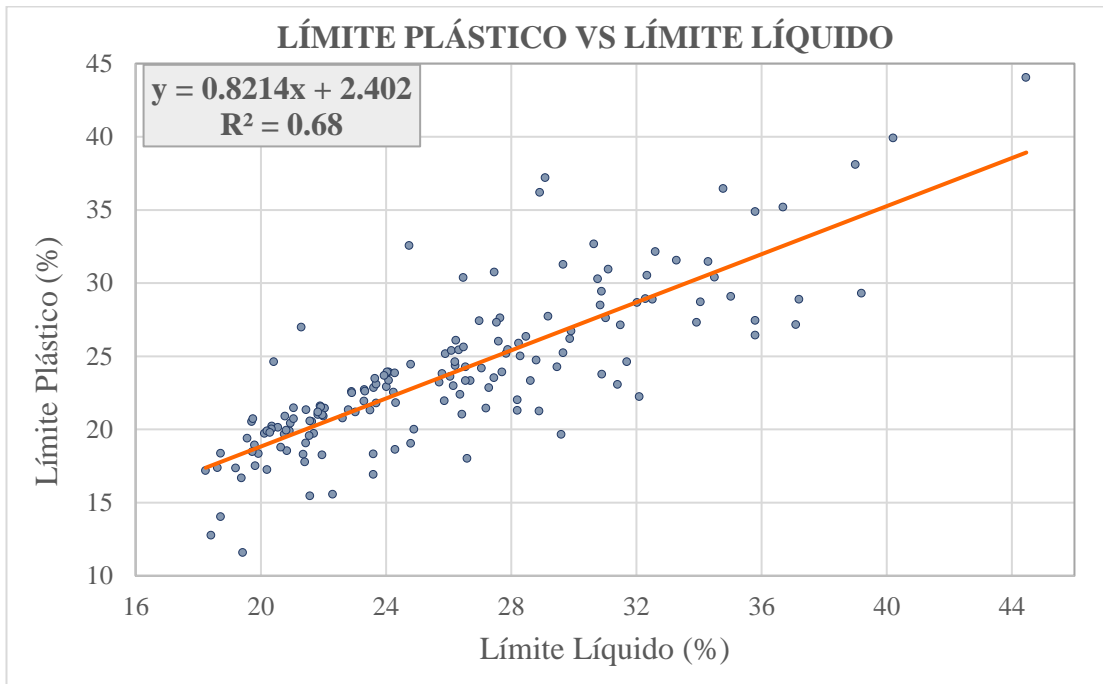


Figura 58. Correlación LL vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

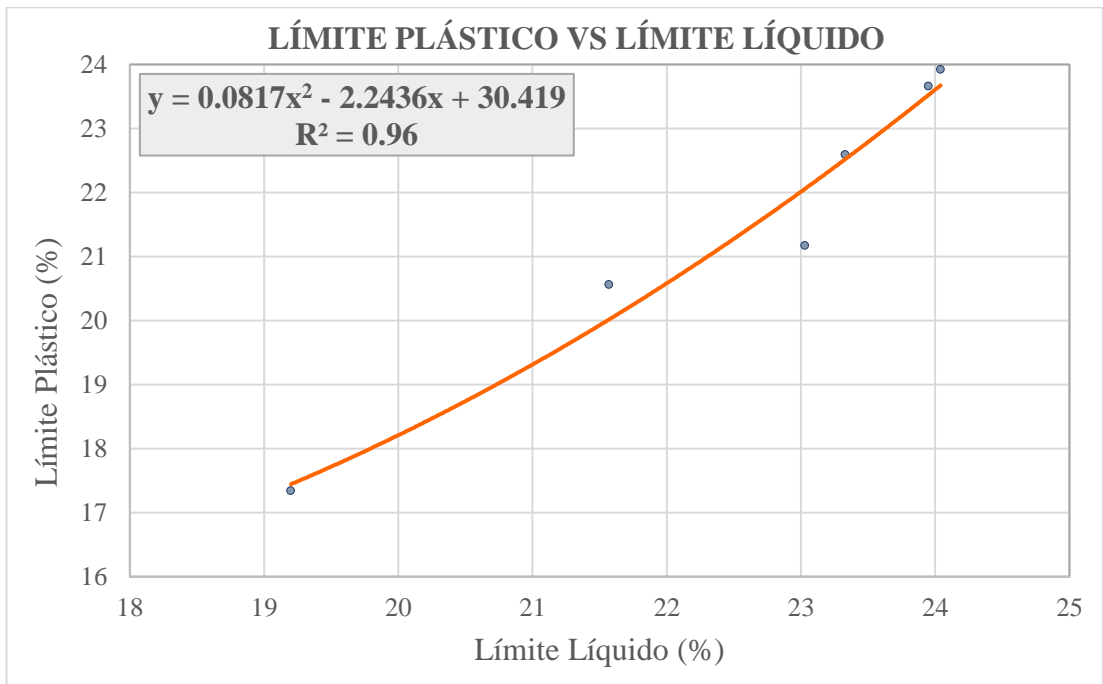


Figura 59. Correlación LL vs LP (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación LL vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $LP = 0,8214LL + 2,402$ **R²:** 0.68

Análisis:

La relación entre las variables límite plástico (LP) y límite líquido (LL) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.68. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 160 puntos con una ecuación de tipo lineal.

Teniendo en cuenta que los dos ensayos se realizan bajo condiciones controladas de humedad y con la fracción de suelos que pasa el tamiz #40, se esperaba una mejor correspondencia entre las variables. La gráfica indica una relación directamente proporcional, si la cantidad de agua que requiere el suelo para pasar de su estado líquido a plástico aumenta también se incrementará la cantidad de agua necesaria para pasar de su estado plástico a semisólido. El LP de las muestras analizadas oscila entre 10% y 45%, por otro lado, el LL entre 16% y 45%.

Correlación LL vs LP (Cantón Cevallos)

Ecuación: $LP = 0,0817LL^2 - 2,2436LL + 30,419$ **R²:** 0.96

Análisis:

La relación entre límite plástico (LP) y límite líquido (LL) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.96. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros.

La correlación entre las variables es directamente proporcional lo que indica que mientras mayor sea el porcentaje de límite líquido mayor será también el límite plástico. El LP de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 17% y 24%, por otro lado, el LL entre 19% y 24.5%.

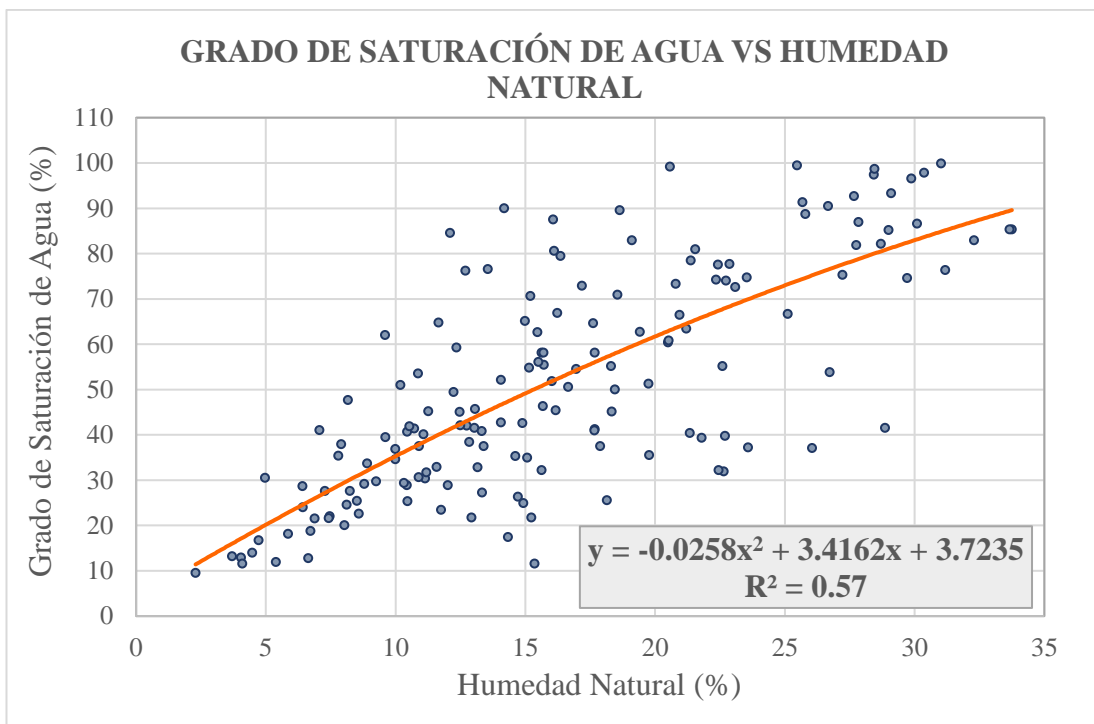


Figura 60. Correlación Gw vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

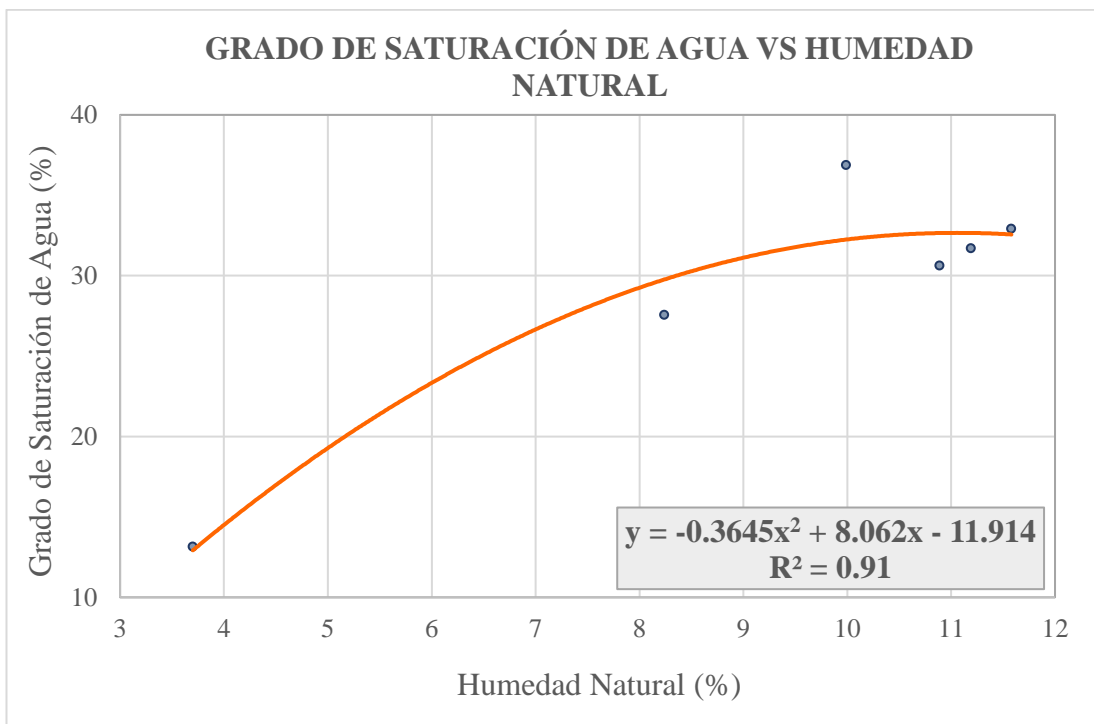


Figura 61. Correlación Gw vs Wnat (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación Gw vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $Gw = -0,0258Wnat^2 + 3,4162Wnat + 3,7235$ **R²:** 0.57

Análisis:

La relación entre las variables grado de saturación de agua (Gw) y humedad natural (Wnat) se define como mínima a partir de un coeficiente R² igual a 0.57. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica.

La correlación entre las variables es directamente proporcional lo que indica que mientras mayor sea el porcentaje de humedad natural que presente el suelo mayor será el porcentaje de vacíos de la masa de suelo saturados de agua. El Gw de las muestras analizadas oscila entre 9% y 100%, por otro lado, la Wnat entre 2% y 34%.

Correlación Gw vs Wnat (Cantón Cevallos)

Ecuación: $Gw = -0,3645Wnat^2 + 8,062Wnat - 11,914$ **R²:** 0.91

Análisis:

La relación entre las variables grado de saturación de agua (Gw) y humedad natural (Wnat) se define excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.91. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6) con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que, con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta y por lo tanto la correspondencia entre los parámetros es mejor.

La correlación entre las variables es directamente proporcional, lo que indica que mientras mayor sea el porcentaje de humedad natural que presente el suelo mayor será el porcentaje de vacíos de la masa de suelo saturados de agua. El Gw de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 13% y 37%, por otro lado, la Wnat entre 3% y 12%.

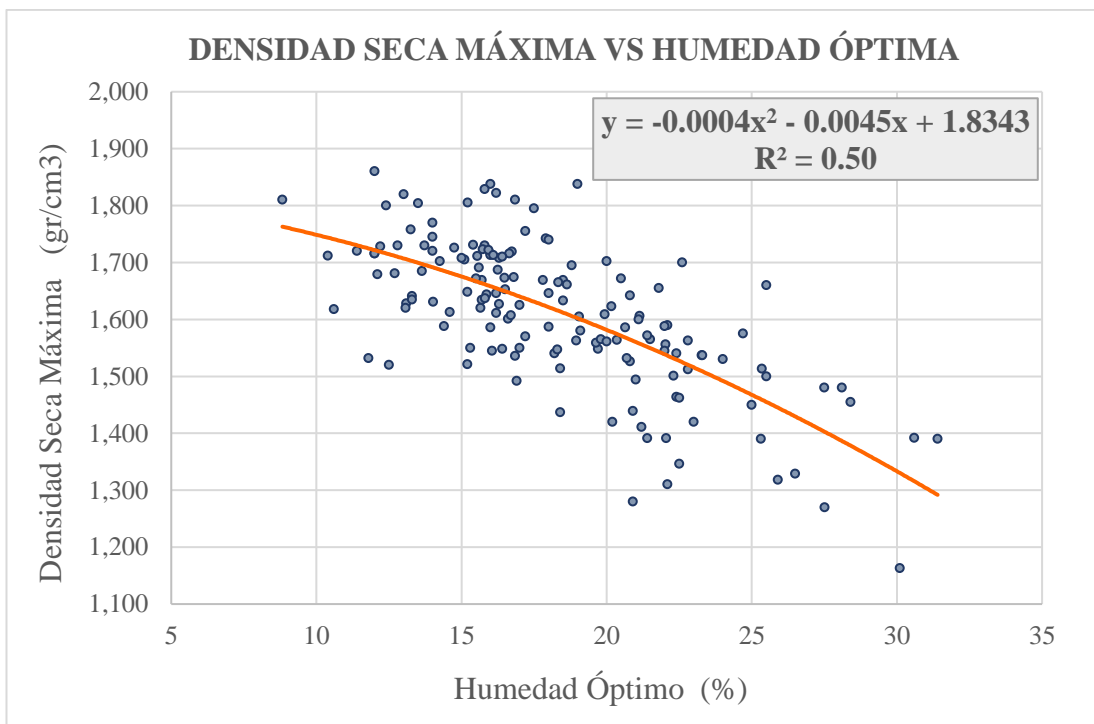


Figura 62. Correlación γ_{dmax} vs W_{opt} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

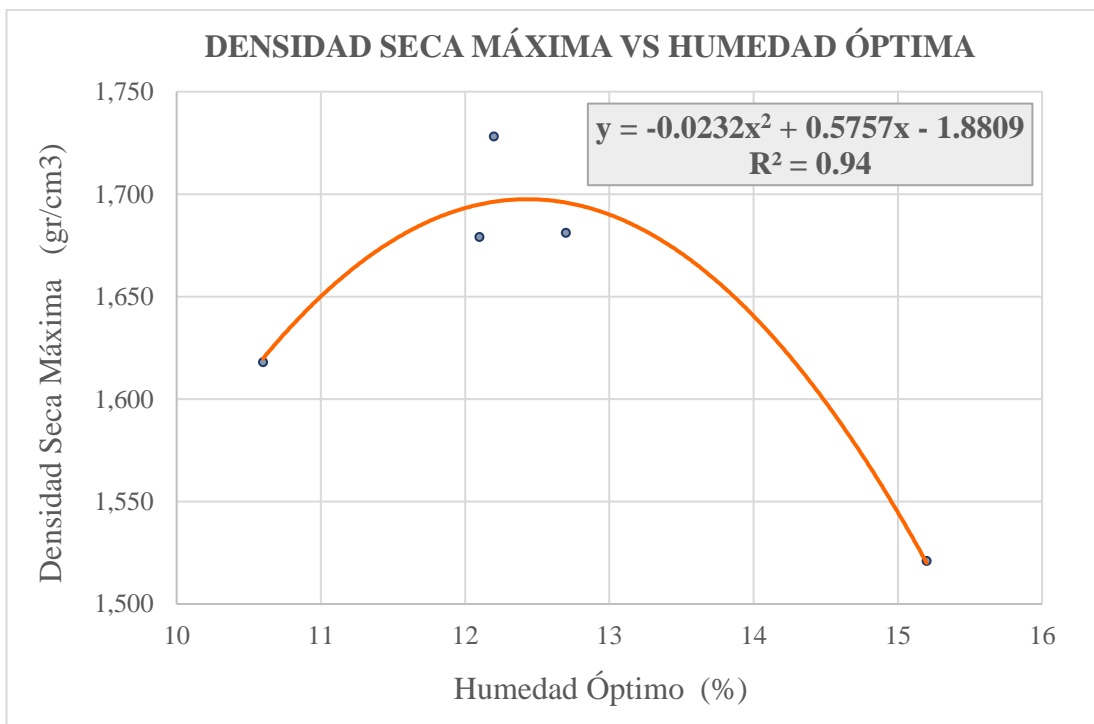


Figura 63. Correlación γ_{dmax} vs W_{opt} (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación $\gamma_{d_{max}}$ vs W_{opt} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $\gamma_{d_{max}} = -0,0004W_{opt}^2 - 0,0045W_{opt} + 1,8343$ **R²:** 0.50

Análisis:

La relación entre densidad seca máxima ($\gamma_{d_{max}}$) y humedad óptima (W_{opt}) se define como mínima a partir de un coeficiente R^2 igual a 0.50. Se esperaba obtener un mayor R^2 que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 154 puntos con una ecuación polinómica. Es importante mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permitiera descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

La correlación entre las variables es inversamente proporcional, mientras mayor sea la cantidad de agua que requiera el suelo para llegar a su contenido de humedad óptimo menor será la densidad seca máxima que este alcance. Cuanta más agua se sume a la masa de suelo, más partículas de la misma serán reemplazadas por el fluido y el suelo perderá densidad. La $\gamma_{d_{max}}$ de las muestras analizadas oscila entre 1.150 gr/cm³ y 1.900 gr/cm³, por otro lado, la W_{opt} entre 8% y 32%.

Correlación $\gamma_{d_{max}}$ vs W_{opt} (Cantón Cevallos)

Ecuación: $\gamma_{d_{max}} = -0,0232W_{opt}^2 + 0,5757W_{opt} - 1,8809$ **R²:** 0.94

Análisis:

La relación entre densidad seca máxima ($\gamma_{d_{max}}$) y humedad óptima (W_{opt}) se define como excelente a partir de un coeficiente R^2 igual a 0.94. El mayor R^2 fue determinado en base a 5 de 6 muestras con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R^2 se incrementa y por lo tanto, la correspondencia entre los parámetros es mejor. La correlación entre las variables es inversamente proporcional.

La $\gamma_{d_{max}}$ de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 1.500 gr/cm³ y 1.750 gr/cm³, por otro lado, la W_{opt} entre 10% y 13%.

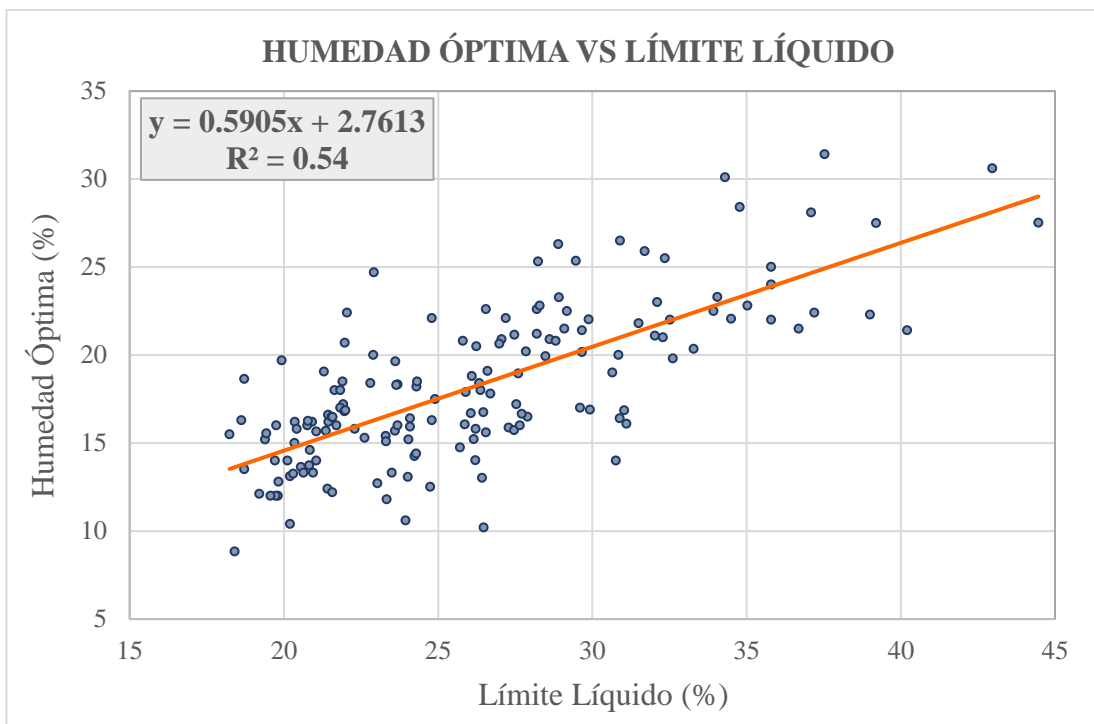


Figura 64. Correlación Wopt vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

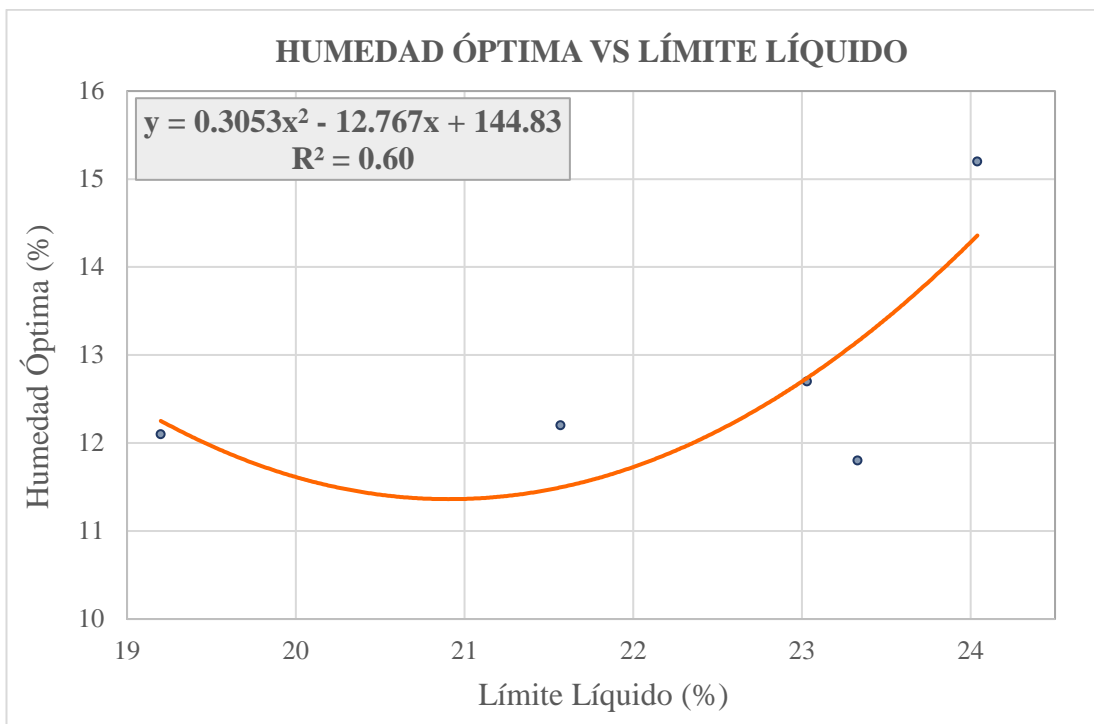


Figura 65. Correlación Wopt vs LL (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación Wopt vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $W_{opt} = 0,5905LL + 2,7613$ **R²:** 0.54

Análisis:

La relación entre las variables humedad óptima (Wopt) y Límite Líquido (LL) se define como mínima a partir de un coeficiente R² igual a 0.54. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor R² fue determinado en base a 160 puntos con una ecuación lineal. Es importante mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

La correlación entre las variables es directamente proporcional, mientras mayor sea la cantidad de agua que requiera el suelo para pasar de su estado líquido a plástico, mayor también será el porcentaje de agua que necesite el suelo para alcanzar el contenido de humedad que proporcione la densidad seca máxima del mismo. Los resultados reflejan que existe relación entre estas propiedades a pesar de que para la determinación de cada una se emplean tamaños de partículas diferentes, en el caso del Wopt lo que pasa el tamiz #4 y por otro lado la fracción que pasa el tamiz #40 para el LL. El LL de las muestras analizadas oscila entre 18% y 45%, por otro lado, la Wopt entre 8% y 32%.

Correlación Wopt vs LL (Cantón Cevallos)

Ecuación: $W_{opt} = 0,3053LL^2 - 12,767LL + 144,83$ **R²:** 0.60

Análisis:

La correlación entre humedad óptima (Wopt) y Límite Líquido (LL) se define como regular partir de un coeficiente R² igual a 0.60. El mayor R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² mejora mínimamente, entonces independientemente del número de muestras en análisis la correlación entre los parámetros no es relevante.

La correlación es directamente proporcional, mientras mayor sea el porcentaje de límite líquido, mayor será la cantidad de agua que necesite el suelo para alcanzar su humedad óptima. El LL de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 19% y 24.5%, por otro lado, la Wopt entre 11% y 15.5%.

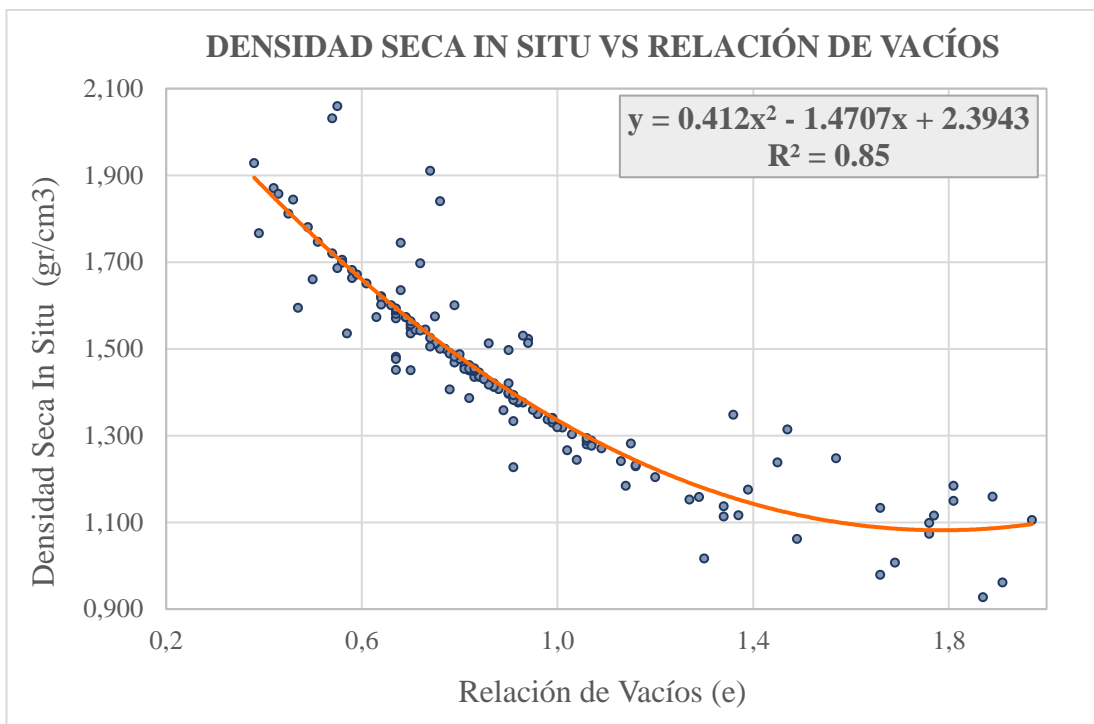


Figura 66. Correlación γ_d vs e (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

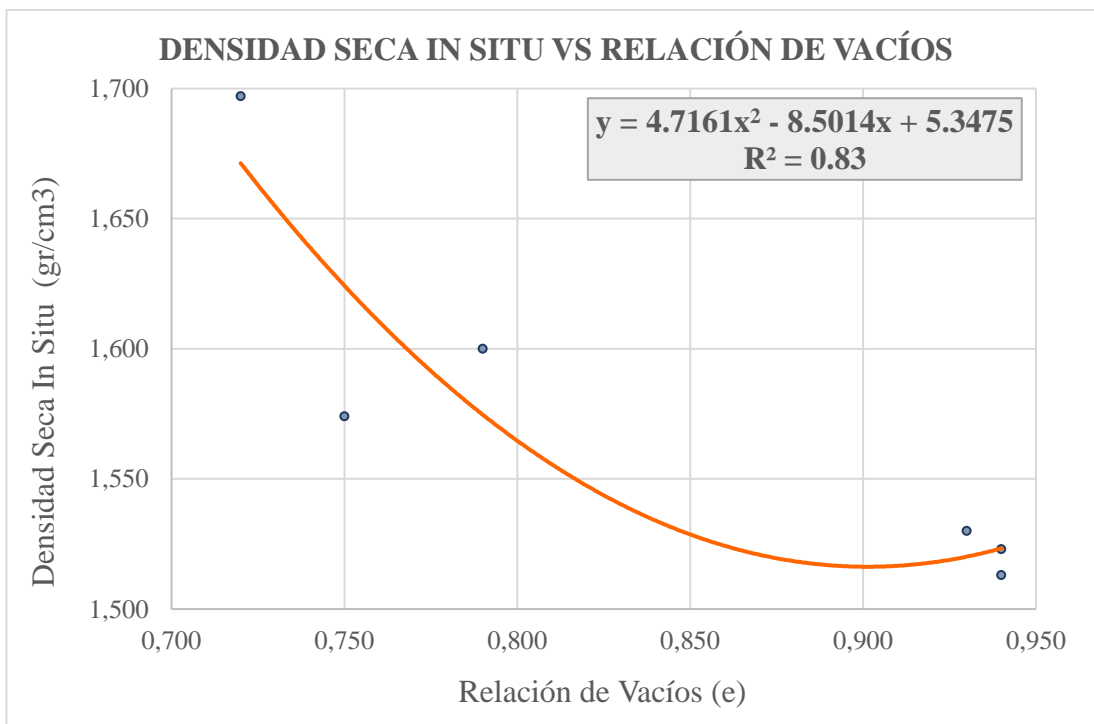


Figura 67. Correlación γ_d vs e (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación γ_d vs e (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $\gamma_d = 0,412e^2 - 1,4707e + 2,3943$ **R²:** 0.85

Análisis:

La relación entre las propiedades densidad seca in situ (γ_d) y relación de vacíos (e) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.85. El mayor coeficiente R² fue determinado en base a 160 muestras con una ecuación de tipo polinómica.

La correlación entre las variables es inversamente proporcional, es decir, mientras mayor sea la relación de vacíos o el volumen de masa de suelo no ocupado por partículas sólidas menor será la densidad seca de campo del suelo analizado. En otras palabras, cuantos más espacios intermoleculares vacíos tenga el suelo será menos denso. La γ_d de las muestras analizadas oscila entre 0.900 gr/cm³ y 2.100 gr/cm³, por otro lado, e entre 1.900 y 1.980.

Correlación γ_d vs e (Cantón Cevallos)

Ecuación: $\gamma_d = 4,7161e^2 - 8,5014e + 5,3475$ **R²:** 0.83

Análisis:

La relación entre densidad seca in situ (γ_d) y relación de vacíos (e) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.83. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) tomadas en el cantón Cevallos, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² disminuye mínimamente, entonces independientemente del número de muestras de análisis la correlación entre los parámetros es buena.

La correlación entre las variables es inversamente proporcional, es decir, mientras mayor sea la relación de vacíos o el volumen de masa de suelo no ocupado por partículas sólidas menor será la densidad seca de campo del suelo analizado. En otras palabras, cuantos más espacios intermoleculares vacíos tenga el suelo será menos denso. La γ_d de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 1.500 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³, por otro lado, e entre 0.700 y 0.950.

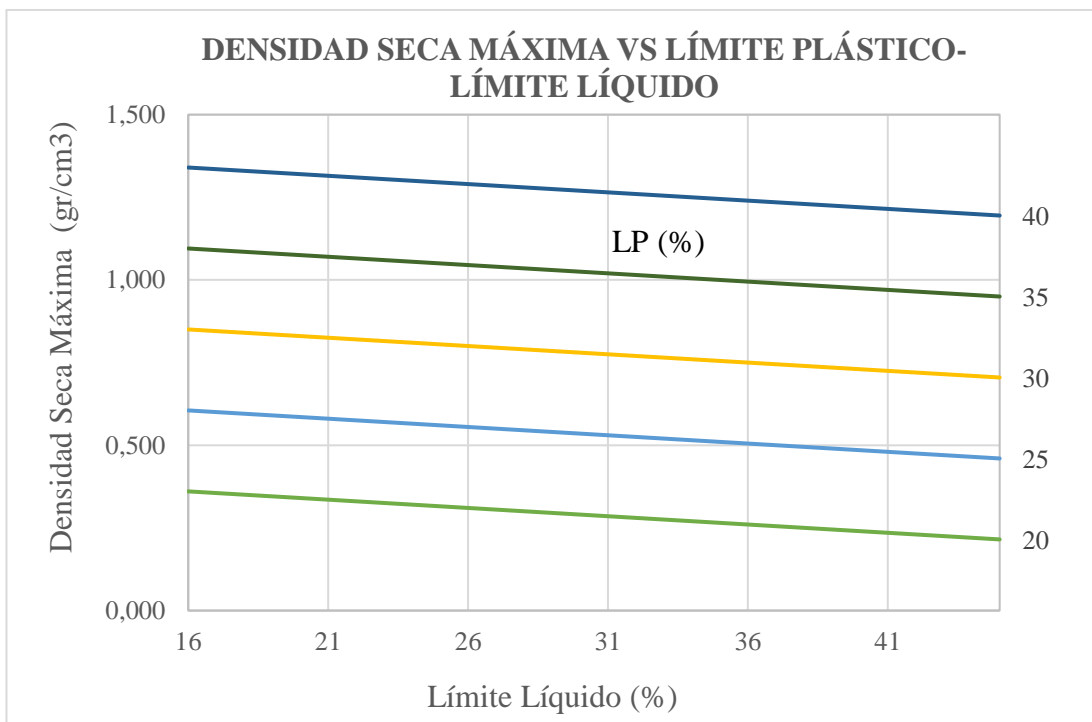


Figura 68. Correlación γ_{dmax} vs LP-LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

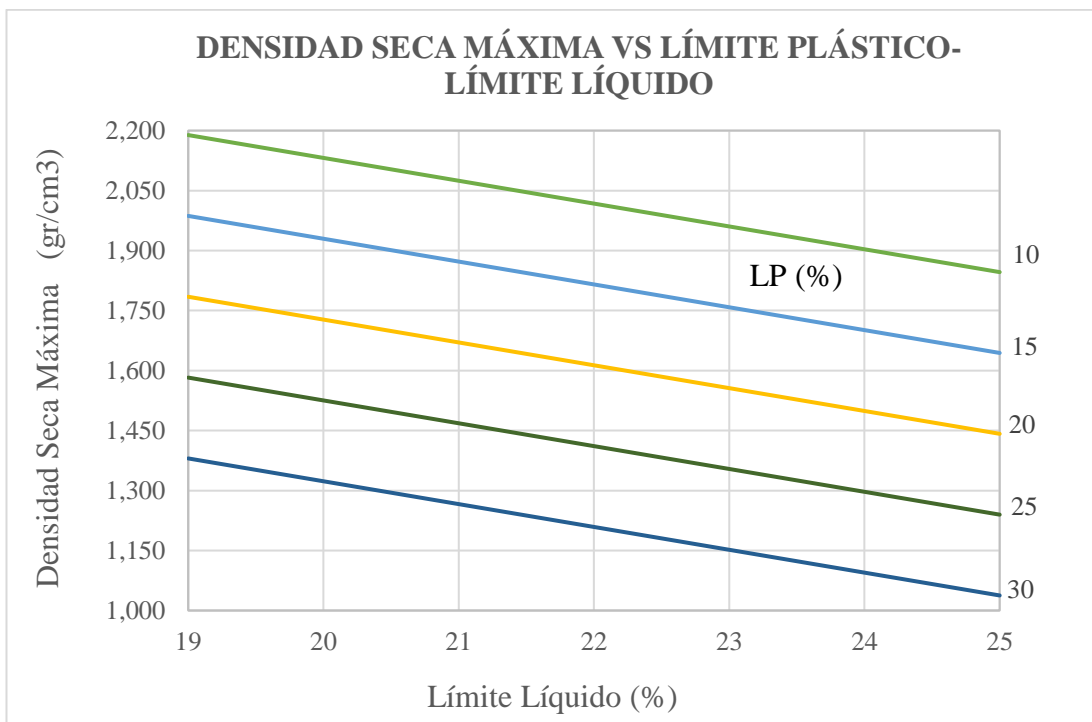


Figura 69. Correlación γ_{dmax} vs LP-LL (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación γ_{dmax} vs LP - LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $\gamma_{dmax} = 0.589 * LL^{-0.324} * LP^{0.049}$ **R²** 0.67

Análisis:

La relación entre las variables densidad seca máxima (γ_{dmax}), límite plástico (LP) y límite líquido (LL) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.67. El coeficiente de correlación R² se obtuvo a partir del 100% de las muestras (162 puntos) con una ecuación de tipo potencial. El LP de las muestras analizadas oscila entre 11.5% y 48%, por otro lado, el LL entre 18% y 45%, finalmente γ_{dmax} entre 0.580 gr/cm³ y 2.200 gr/cm³.

Los tres parámetros se obtienen bajo condiciones controladas de humedad, sin embargo, se diferencian en el tamaño de partículas que se emplea para cada uno. A pesar de esto la correlación es significativa entre las propiedades analizadas. Las variables γ_{dmax} y LL se relacionan de forma inversa, el suelo será más suelto mientras más agua necesite para cambiar de su estado líquido a plástico, por otro lado, la relación entre γ_{dmax} y LP es directamente proporcional, si el suelo necesita más agua para cambiar de estado plástico a semisólido, mayor será su densidad logrando su densidad seca máxima a partir de un contenido de humedad óptimo. También se puede mencionar que si la cantidad de agua supera la humedad óptima las partículas de suelo serán reemplazadas por el fluido disminuyendo su densidad.

Correlación γ_{dmax} vs LP - LL (Cantón Cevallos)

Ecuación: $\gamma_{dmax} = 3.667 - 0.840 \text{ Log (LL)} - 0.040 \text{ LP}$ **R²:** 0.68

Análisis:

La relación entre las variables densidad seca máxima (γ_{dmax}), límite plástico (LP) y límite líquido (LL) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.68. El mejor coeficiente de correlación R² se obtuvo a partir de 5 de 6 muestras con una ecuación de tipo logarítmica. La comparativa con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta, pero no significativamente.

El LP de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 20.5% y 24%, por otro lado, el LL entre 21.5% y 24.5% y γ_{dmax} entre 1.520 gr/cm³ y 1.730 gr/cm³.

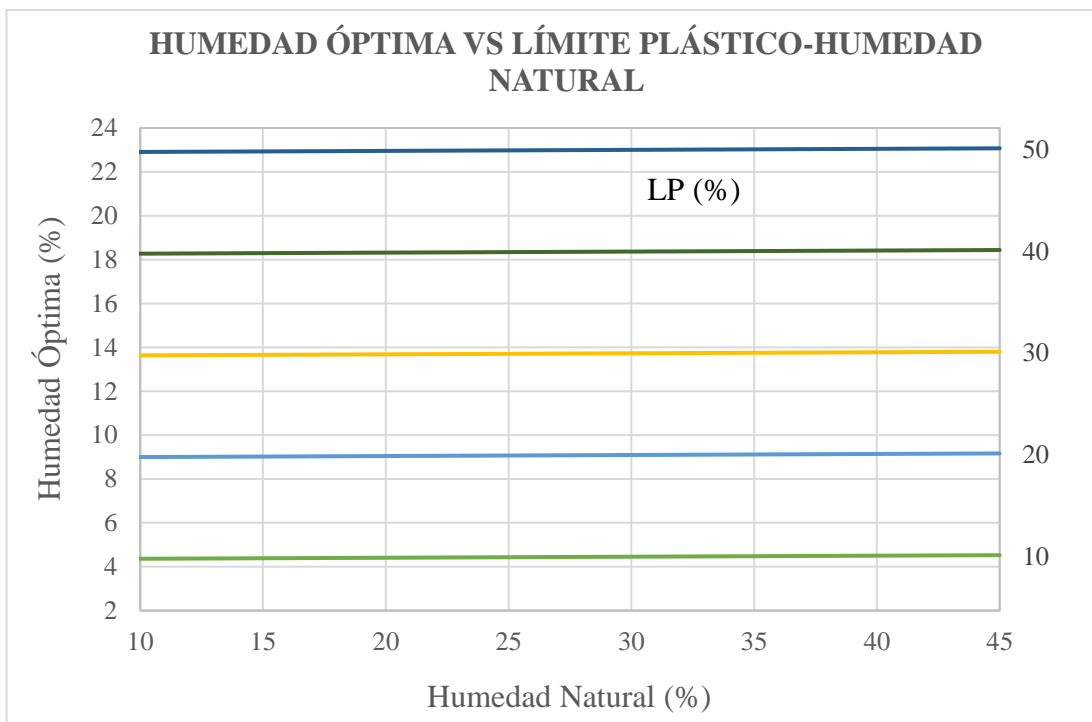


Figura 70. Correlación Wopt vs LP-Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

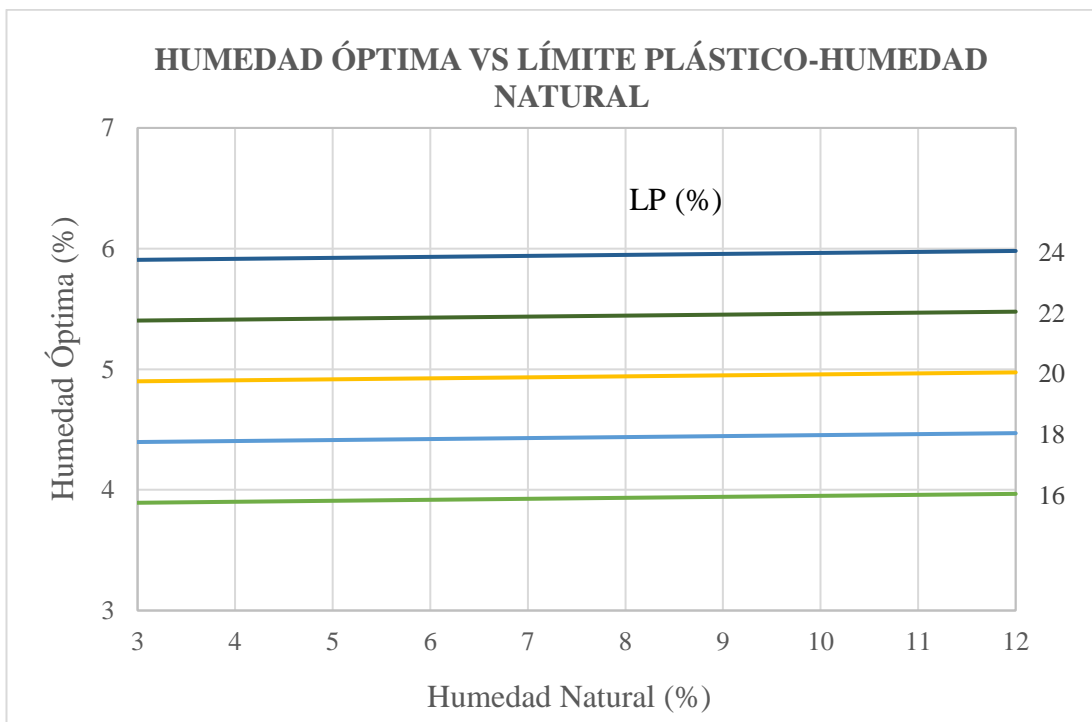


Figura 71. Correlación Wopt vs LP-Wnat (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación Wopt vs LP - Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $W_{opt} = 0.439 * W_{nat}^{0.150} * LP^{0.464}$ **R²** 0.98

Análisis:

La relación entre las variables humedad óptima (Wopt), límite plástico (LP) y humedad natural (Wnat) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.98. El coeficiente de correlación R² se determinó a partir del 100% de datos analizados (162 calicatas) con una ecuación de tipo potencial. Teniendo en cuenta que la humedad óptima y el límite plástico se obtienen en laboratorio bajo condiciones controladas, pero diferentes, de humedad y tamaño de partículas a diferencia de la humedad natural, la relación entre los parámetros es alta.

La correspondencia entre las tres propiedades es directamente proporcional. Dado que los suelos analizados son de tipo granular y por lo tanto menos plásticos, entonces si el porcentaje de humedad necesario para cambiar de estado semisólido a plástico es mayor, el contenido de humedad requerido para que el suelo alcance su densidad seca máxima será menor. La Wnat de las muestras analizadas oscila entre 2% y 45%, por otro lado, el LP entre 11.5% y 48%, finalmente Wopt entre 8.5% y 31.5%.

Correlación Wopt vs LP - Wnat (Cantón Cevallos)

Ecuación: $W_{opt} = 0.642 * W_{nat}^{0.123} * LP^{0.252}$ **R²:** 0.95

Análisis:

La relación entre las variables humedad óptima (Wopt), límite plástico (LP) y humedad natural (Wnat) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.95. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo potencial. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² disminuye, pero no significativamente.

La Wnat de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 3.5% y 12%, por otro lado, el LP entre 17% y 24%, finalmente Wopt entre 10.5% y 15.5%.

3.1.3.2. Correlaciones entre DCP y propiedades índice

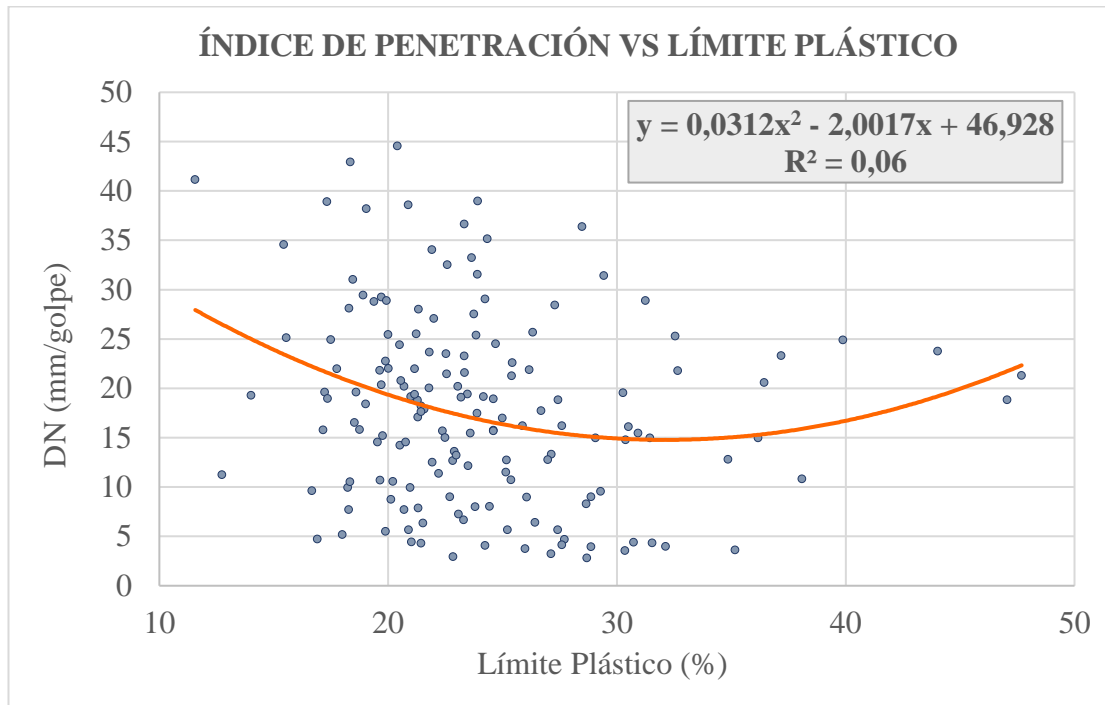


Figura 72. Correlación DN vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

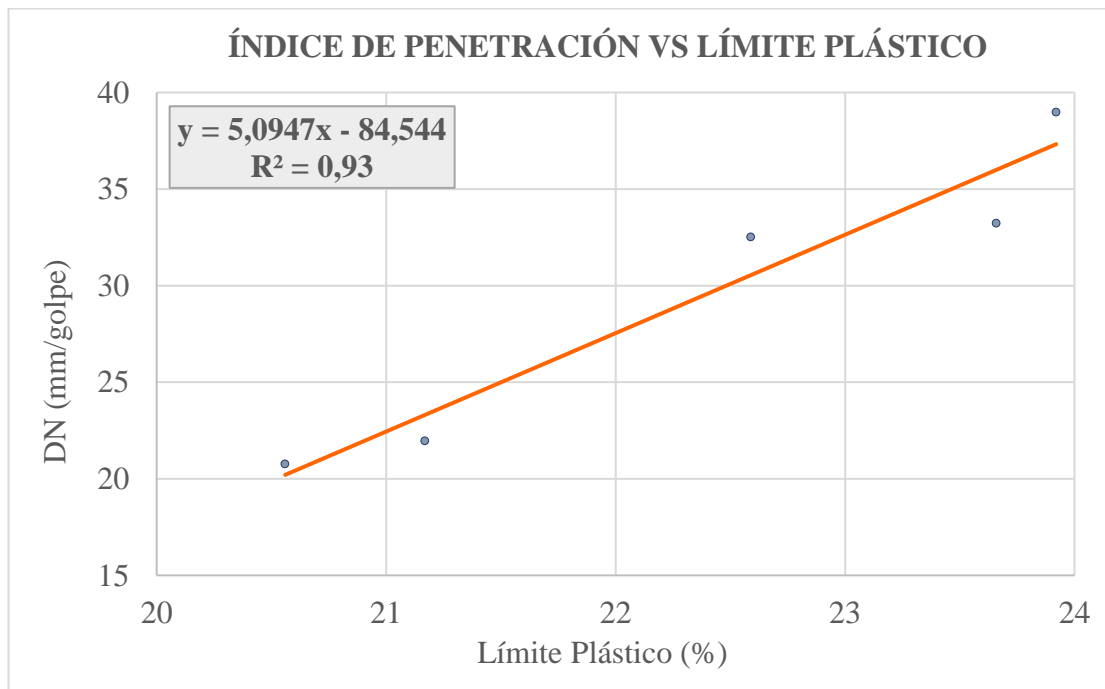


Figura 73. Correlación DN vs LP (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $DN = 0,0312 LP^2 - 2,0017 LP + 46,928$ **R²:** 0.06

Análisis:

La relación entre índice de penetración (DN) y límite plástico (LP) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.06. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Es importante mencionar que si se emplea un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil definir una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas. El ensayo DCP fue realizado en campo bajo condiciones de humedad natural por otro lado el límite plástico se realiza en laboratorio bajo humedad controlada y con un tamaño de partículas definido, es posible que por esta razón las dos propiedades no presentan relación significativa. El DN de las muestras oscila entre 2.5 mm/golpe y 45 mm/golpe, por otro lado, el LP entre 11% y 48%.

Correlación DN vs LP (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = 5,0947 LP - 84,544$ **R²:** 0.93

Análisis:

La correlación entre índice de penetración (DN) y límite plástico (LP) es excelente a con un coeficiente R² igual a 0.93. El R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras y con ecuación lineal. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que, con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta notablemente y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros.

La correlación es directamente proporcional entre las variables, por lo tanto, el índice de penetración aumentará mientras mayor sea la cantidad de agua necesaria para que el suelo pase de su estado plástico a semisólido. El DN de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 20 mm/golpe y 40 mm/golpe, por otro lado, el LP entre 20% y 24%.

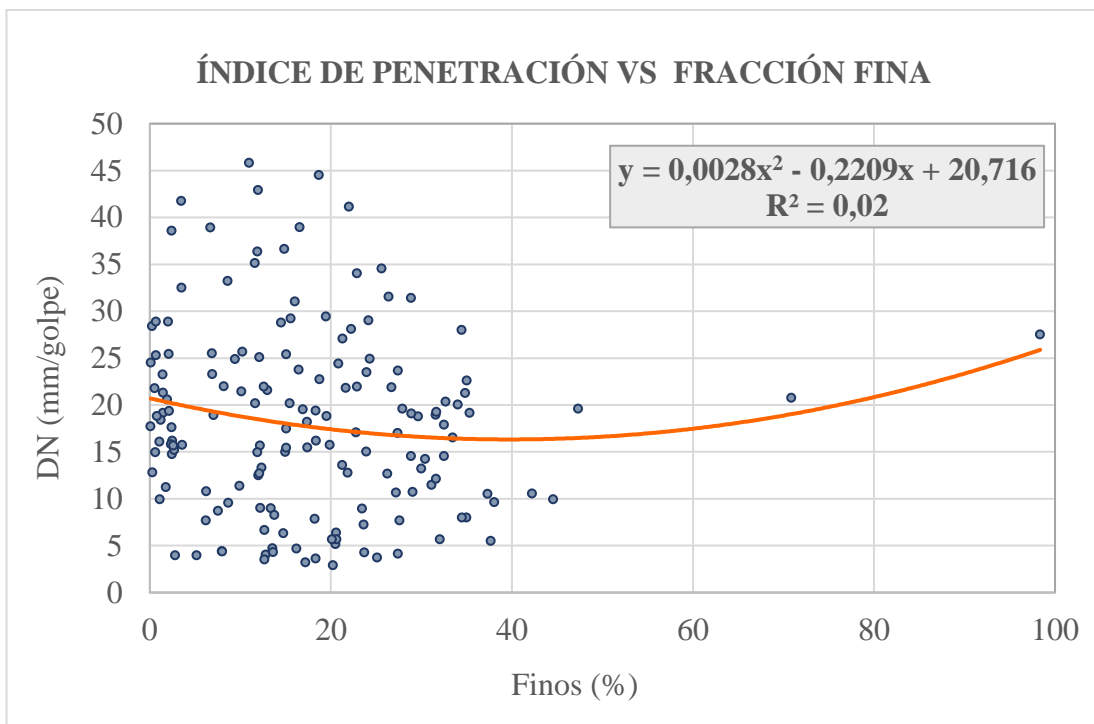


Figura 74. Correlación DN vs N°200 (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

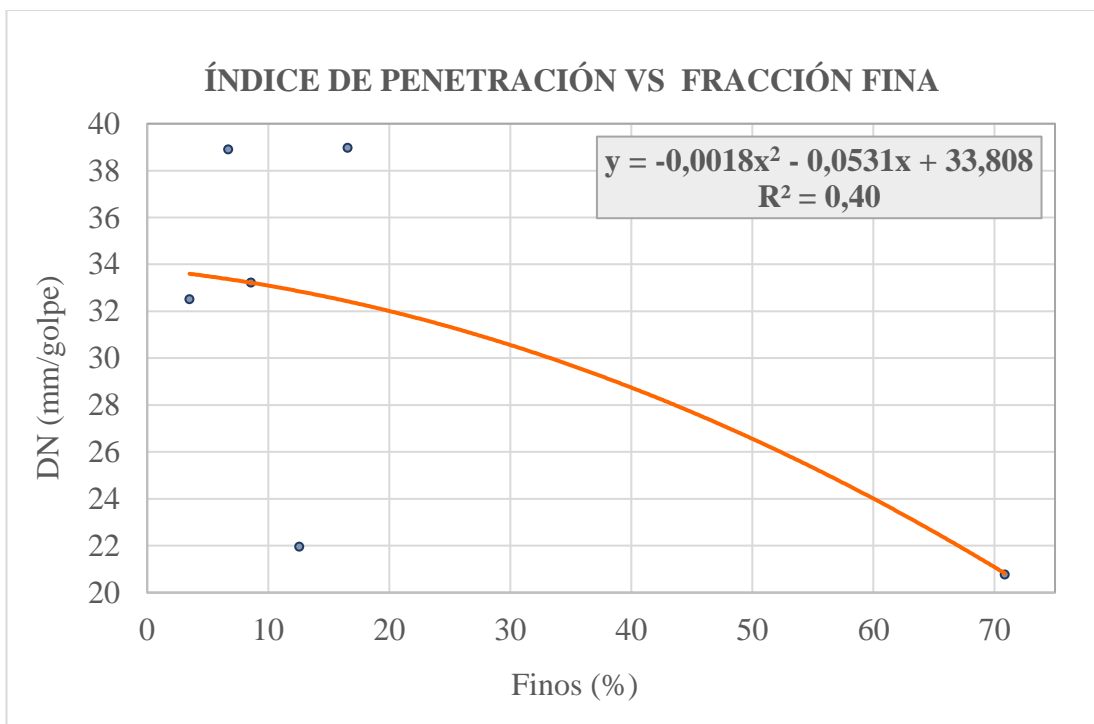


Figura 75. Correlación DN vs N°200 (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs N°200 (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $DN = 0,0028 N^{\circ}200^2 - 0,2209 N^{\circ}200 + 20,716$ **R²:** 0.02

Análisis:

La relación entre las variables índice de penetración (DN) y fracción fina (N°200) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.02. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 160 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Es importante mencionar que si se emplea un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil definir una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas. El DN de las muestras analizadas oscila entre 2.5 mm/golpe y 46 mm/golpe, por otro lado, el N°200 entre 0% y 100%.

Correlación DN vs N°200 (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = -0,0018 N^{\circ}200^2 - 0,0531 N^{\circ}200 + 33,808$ **R²:** 0.40

Análisis:

La correlación entre índice de penetración (DN) y fracción fina (N°200) se define como mínima con un coeficiente R² igual a 0.40. El R² fue determinado con el número total de muestras (6) con una ecuación polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que, con un número de muestras menor el coeficiente R² se incrementa y por lo tanto, indica una mayor pero no significativa correspondencia entre los parámetros.

La línea de tendencia muestra que mientras mayor sea la cantidad de finos presente en el suelo será más fácil penetrarlo. El DN de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 20 mm/golpe y 40 mm/golpe, por otro lado, el N°200 entre 3.5% y 71%.

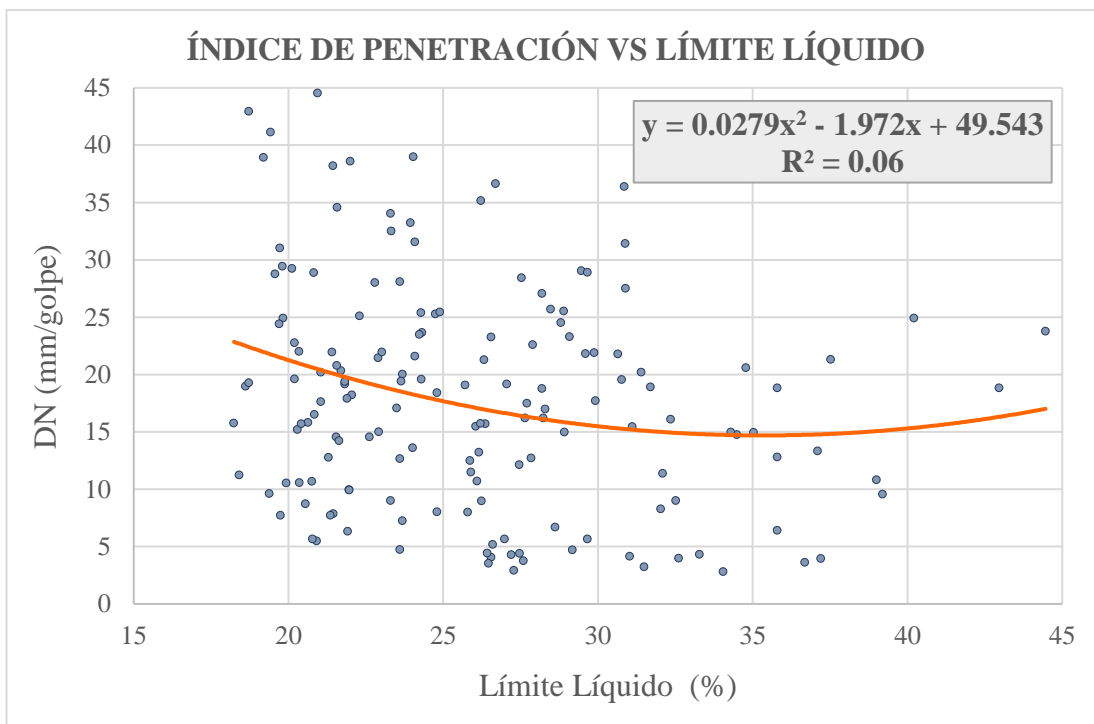


Figura 76. Correlación DN vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

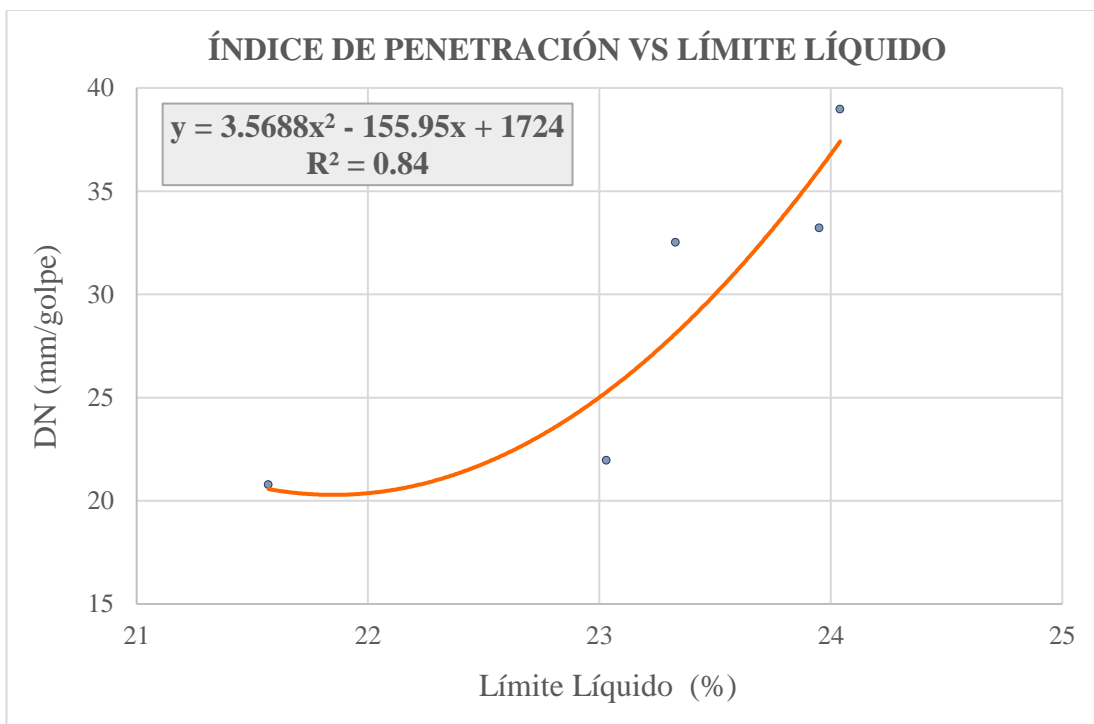


Figura 77. Correlación DN vs LL (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs LL (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $DN = 0,0279 LL^2 - 1,972LL + 49,543$ **R²:** 0.06

Análisis:

La relación entre las variables índice de penetración (DN) y límite líquido (LL) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.06. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar. Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil definir una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas.

El ensayo DCP de campo se realiza bajo condiciones de humedad natural por otro el límite líquido se obtiene en laboratorio bajo humedad controlada y con un tamaño de partículas definido, es posible que por esta razón las dos propiedades no presenten una relación significativa. El DN de las muestras oscila entre 2.5 mm/golpe y 45 mm/golpe, por otro lado, el LL entre 18% y 45%.

Correlación DN vs LL (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = 3,5688 LL^2 - 155,95LL + 1724$ **R²:** 0.84

Análisis:

La correlación entre índice de penetración (DN) y límite plástico (LP) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.84. El R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras con una ecuación polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que, con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta notablemente y por lo tanto indica mayor correspondencia entre los parámetros.

La correlación es directamente proporcional entre las variables, el índice de penetración aumentará mientras mayor sea la cantidad de agua necesaria para que el suelo cambie de estado líquido a plástico. El DN de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 20 mm/golpe y 40 mm/golpe, por otro lado, el LL entre 21% y 24%.

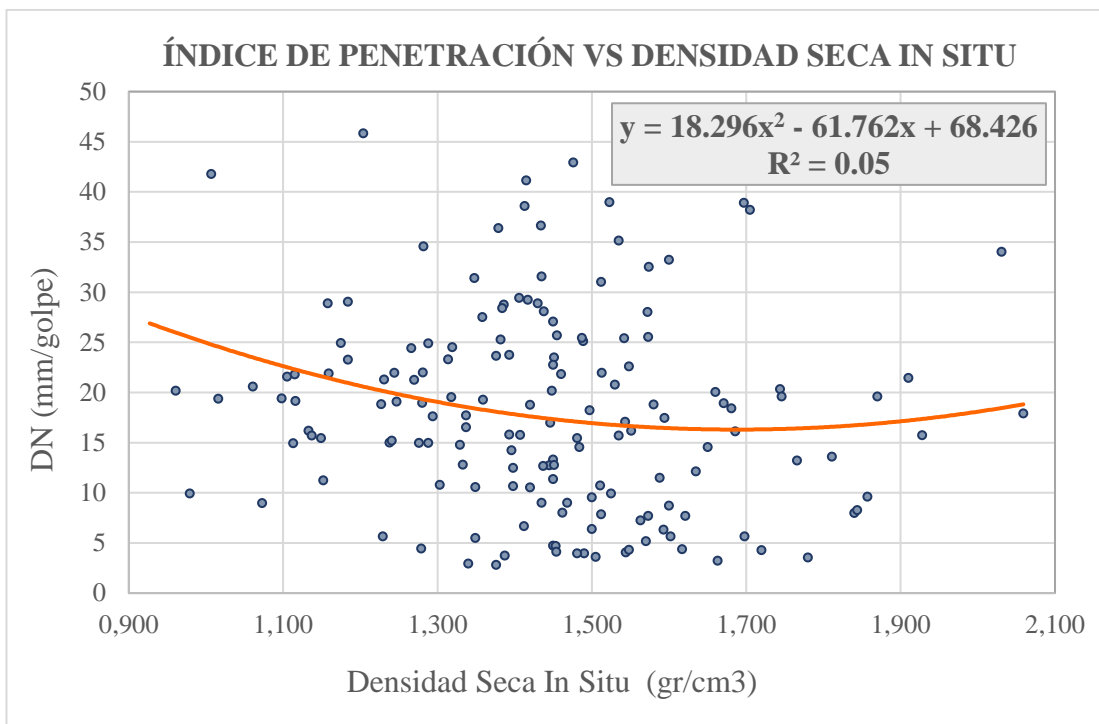


Figura 78. Correlación DN vs γ_d (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

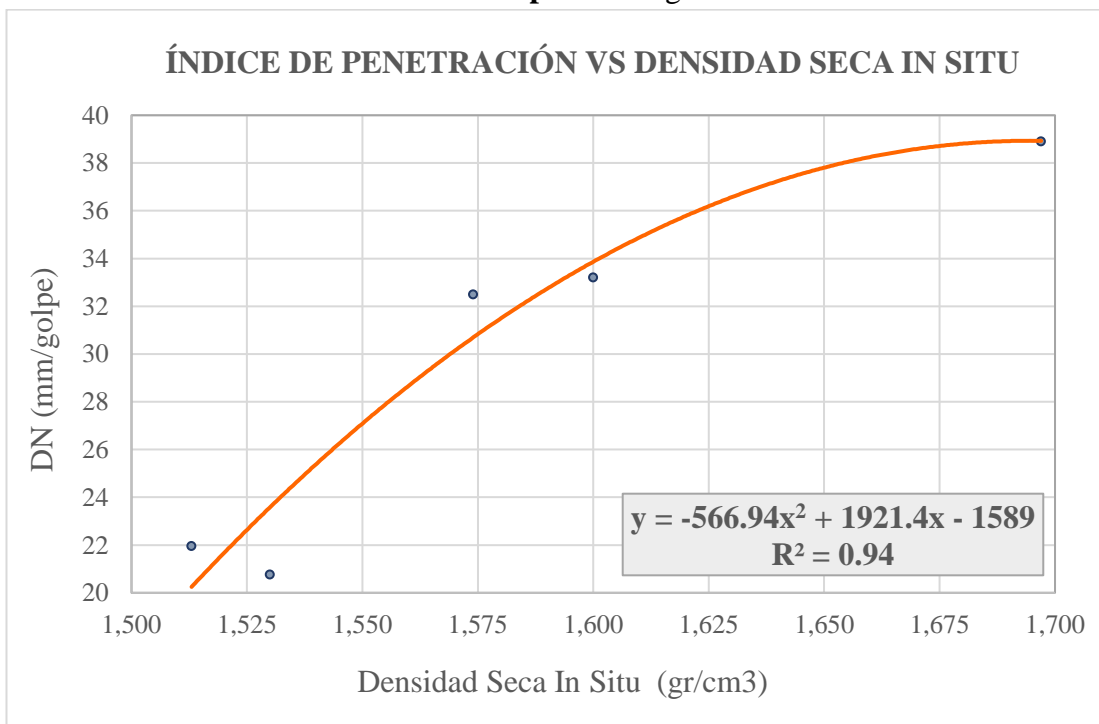


Figura 79. Correlación DN vs γ_d (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs γ_d (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $DN = 18,296 \gamma_d^2 - 61,762 \gamma_d + 68,426$ **R²:** 0.05

Análisis:

La relación entre las propiedades índice de penetración (DN) y densidad seca in situ (γ_d) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.05. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil definir una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas. La γ_d de las muestras analizadas oscila entre 0.900 gr/cm³ y 2.100 gr/cm³, por otro lado, el DN entre 2.5 mm/golpe y 45 mm/golpe.

Correlación DN vs γ_d (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = -566,94 \gamma_d^2 + 1921,4 \gamma_d - 1589$ **R²:** 0.94

Análisis:

La relación entre las variables índice de penetración (DN) y densidad seca in situ (γ_d) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.94. El mayor R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta notablemente y por lo tanto indica mayor correspondencia entre los parámetros.

La correlación entre las variables es directamente proporcional, es decir, mientras más denso sea el suelo más difícil será penetrarlo. La γ_d de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 1.500 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³, por otro lado, el DN entre 20 mm/golpe y 40 mm/golpe.

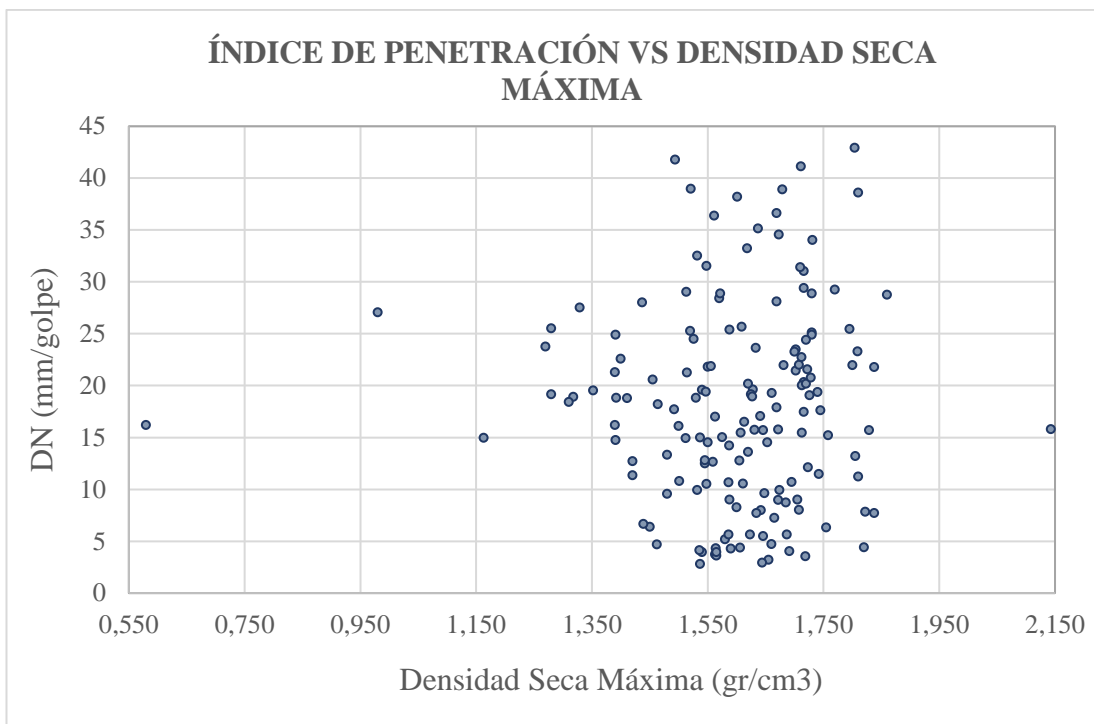


Figura 80. Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

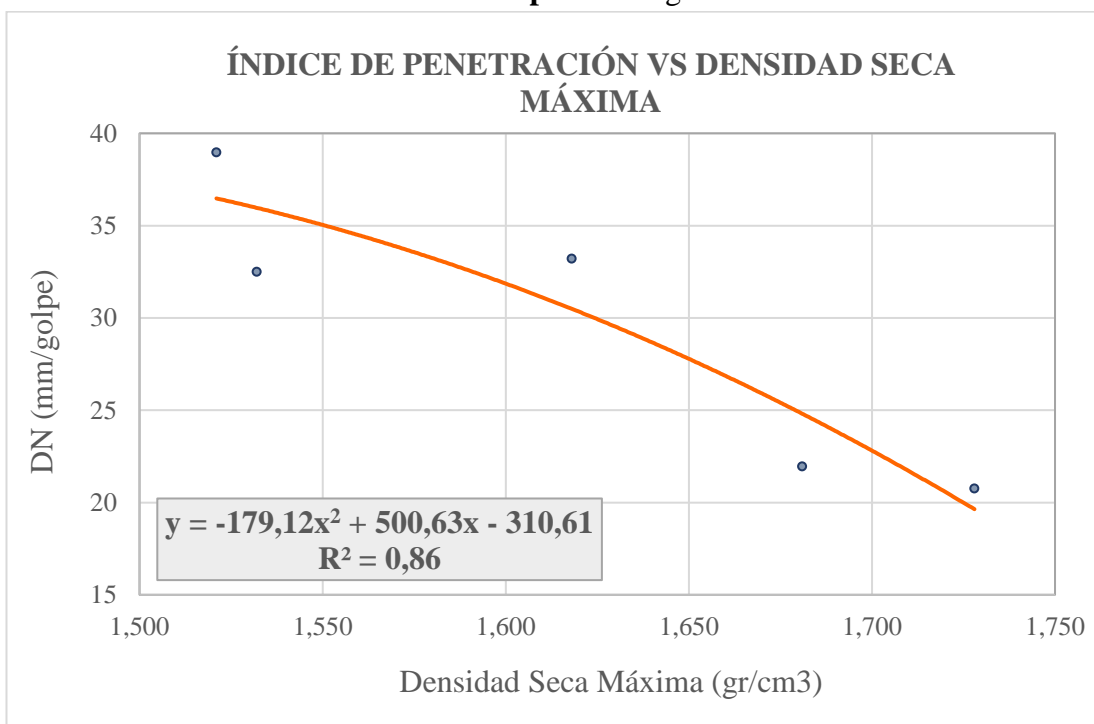


Figura 81. Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Análisis:

El nivel de dependencia entre las propiedades índice de penetración (DN) y densidad seca máxima (γ_{dmax}) expresado con el coeficiente de correlación R^2 es menor al 1% por lo tanto no existe una correspondencia entre las variables. Se esperaba obtener un mayor R^2 que indique mejor relación entre los parámetros ya que se empleó el 100% de las muestras, 162. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil establecer una ecuación que defina una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas. La γ_{dmax} de las muestras analizadas oscila entre 0.550 gr/cm^3 y 2.150 gr/cm^3 , por otro lado, el DN entre 2.5 mm/golpe y 45 mm/golpe.

Correlación DN vs γ_{dmax} (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = -179,12 \gamma_{dmax}^2 + 500,63 \gamma_{dmax} - 310,61$ **R^2 :** 0.86

Análisis:

La relación entre las propiedades índice de penetración (DN) y densidad seca máxima (γ_{dmax}) se define como aceptable a partir de un coeficiente R^2 igual a 0.86. El mayor R^2 fue determinado en base a 5 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R^2 aumenta notablemente y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros.

La correlación entre las variables es inversamente proporcional, es decir, mientras mayor sea la densidad seca máxima del suelo menor será la penetración por golpe del mismo. La γ_d de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 1.500 gr/cm^3 y 1.700 gr/cm^3 , por otro lado, el DN entre 20 mm/golpe y 40 mm/golpe.

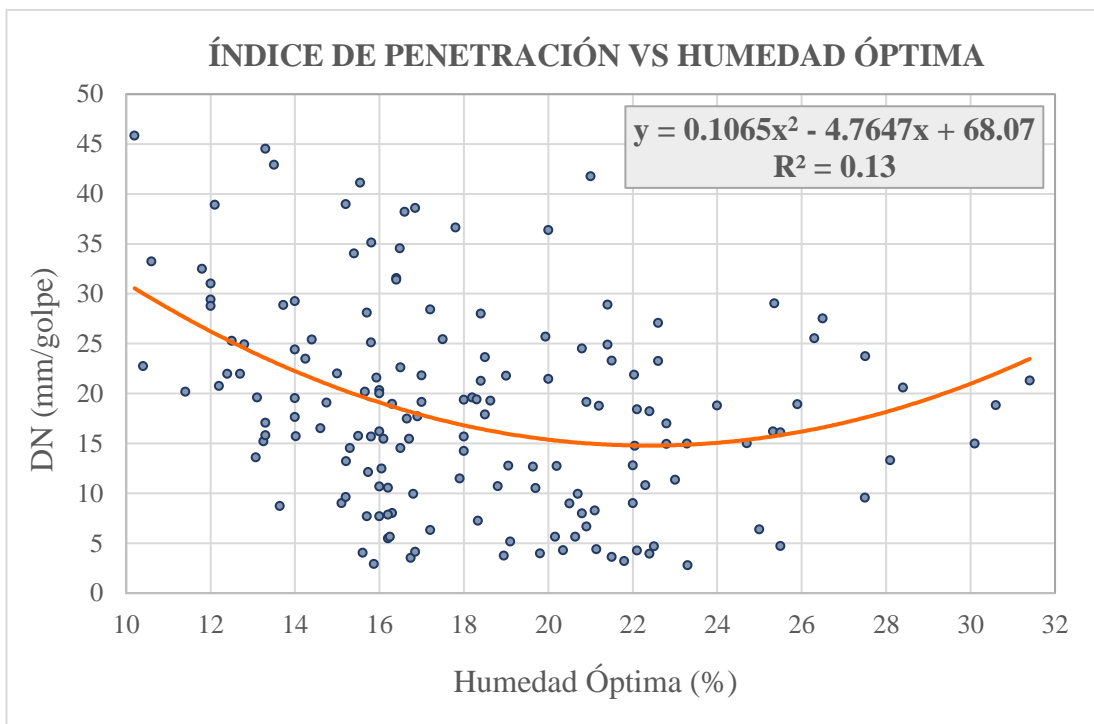


Figura 82. Correlación DN vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

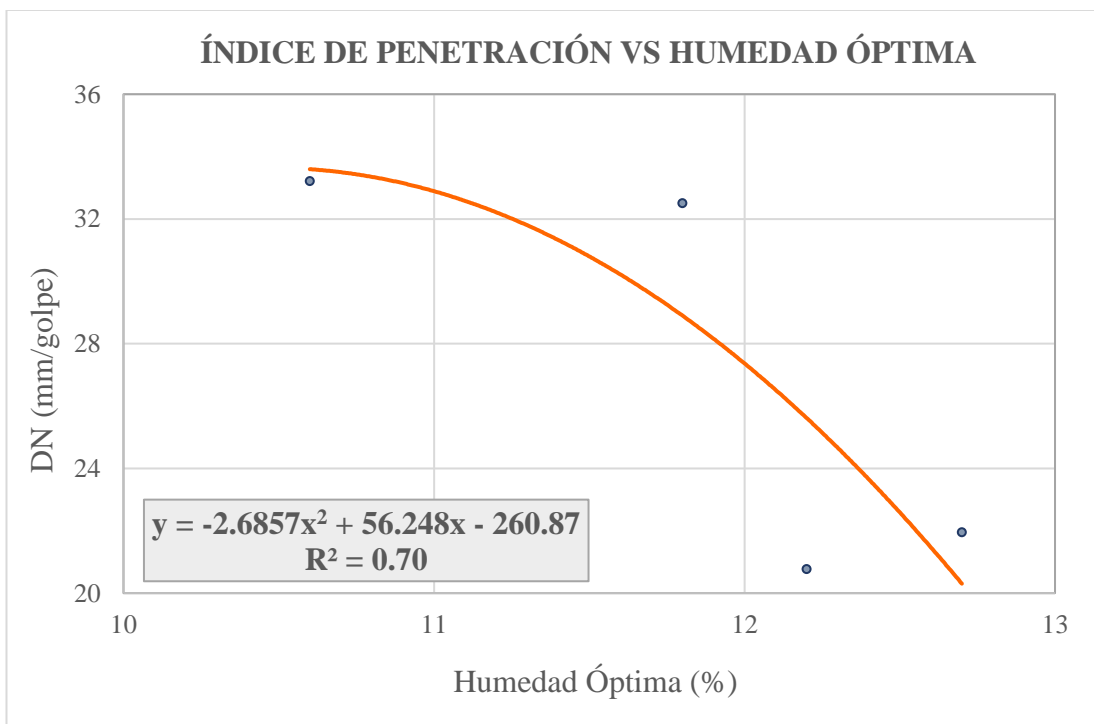


Figura 83. Correlación DN vs Wopt (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación DN vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $DN = 0,1065 Wopt^2 - 4,7647 Wopt + 68,07$ **R²:** 0.13

Análisis:

La relación entre las propiedades índice de penetración (DN) y humedad óptima (Wopt) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.13. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 160 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Ya que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil definir una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables analizadas. El DN de las muestras analizadas oscila entre 2.5 mm/golpe y 45 mm/golpe, por otro lado, el Wopt se encuentra entre 10% y 32%.

Correlación DN vs Wopt (Cantón Cevallos)

Ecuación: $DN = 2,4269 Wopt^2 - 61,779 Wopt + 416,92$ **R²:** 0.70

Análisis:

La relación entre las propiedades índice de penetración (DN) y humedad óptima (Wopt) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.70. El mayor R² fue determinado en base a 4 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta notablemente y por lo tanto indica mayor correspondencia entre los parámetros, sin embargo, la dependencia no es la mejor.

La línea de tendencia indica una relación inversamente proporcional entre las variables. Mientras mayor sea el porcentaje de humedad óptima del suelo será menor el índice de penetración. Para el cantón Cevallos el DN de las muestras analizadas oscila entre 20 mm/golpe y 36 mm/golpe, por otro lado, el Wopt se encuentra entre 10% y 13%.

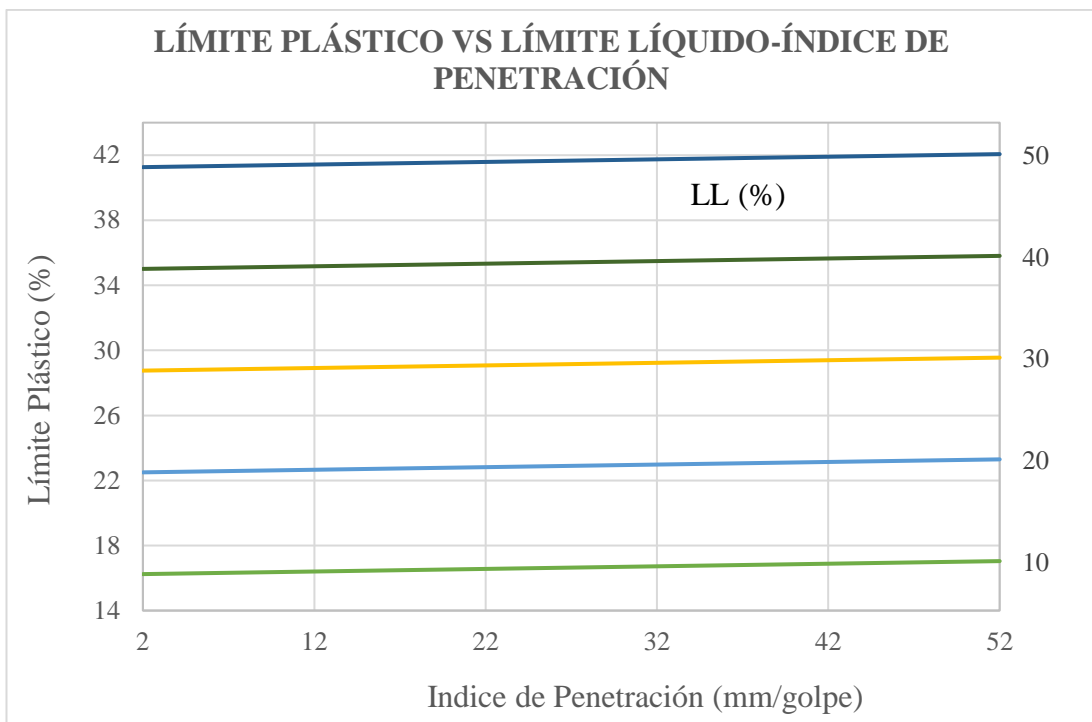


Figura 84. Correlación LP vs LL-DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

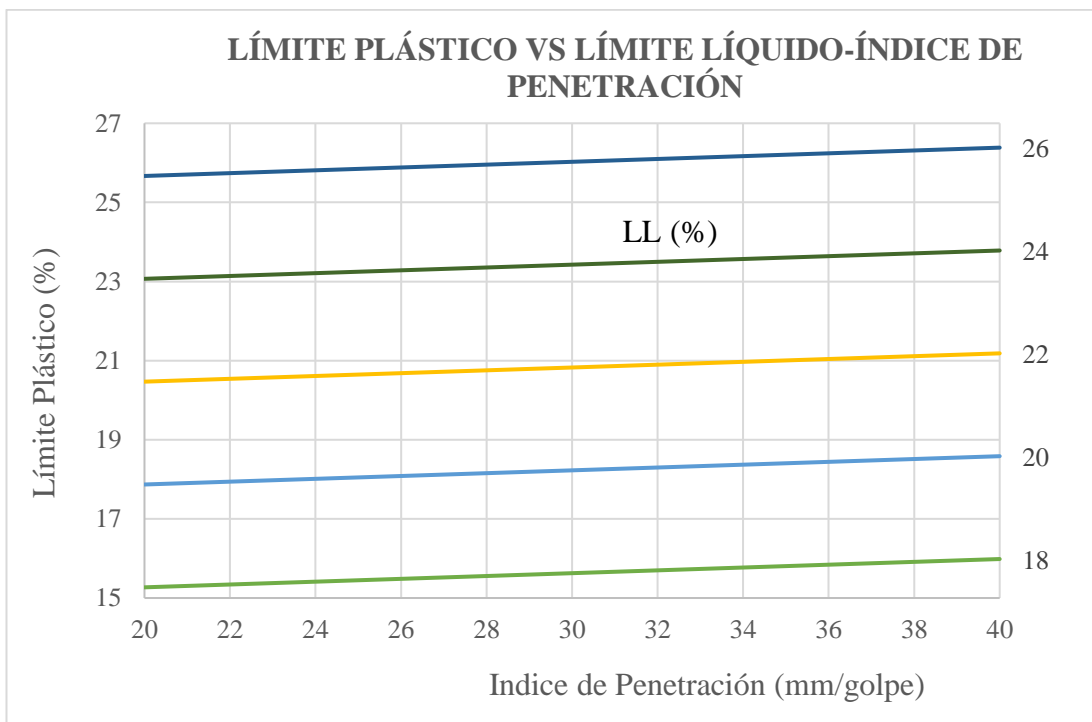


Figura 85. Correlación LP vs LL-DN (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación LP vs LL - DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $LP = -0.014 + 0.565 \text{ Log (DN)} + 0.894 \text{ LL}$ **R²** 0.70

Análisis:

La relación entre las variables límite plástico (LP), índice de penetración (DN) y límite líquido (LL) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.70. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162 calicatas) con una ecuación logarítmica.

La correspondencia entre los parámetros LP y DN es directamente proporcional. Teniendo en cuenta que el DCP se realiza en campo y por otro lado el LL y LP se obtienen en laboratorio bajo condiciones controladas de humedad y con un tamaño definido de partículas (Pasa el tamiz #40), la correlación entre las variables es alta. Si la cantidad de agua necesaria para que el suelo pase de estado semisólido a plástico aumenta (LP), lo mismo sucederá para el cambio de estado plástico a líquido (LL), por lo tanto, la relación entre LP y LL es directamente proporcional.

El LP de las muestras analizadas oscila entre 11.5% y 48%, por otro lado, el LL entre 18% y 45%, finalmente el DN entre 2.5 mm/golpe y 51 mm/golpe.

Correlación LP vs LL- DN (Cantón Cevallos)

Ecuación: $LP = -8.843 + 0.036 \text{ DN} + 1.300 \text{ LL}$ **R²:** 0.97

Análisis:

La relación entre las variables límite plástico (LP), índice de penetración (DN) y límite líquido (LL) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.97. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo lineal. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros. El LP de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 17% y 24%, por otro lado, el LL entre 19% y 24.5%, finalmente el DN entre 20.5 mm/golpe y 39 mm/golpe.

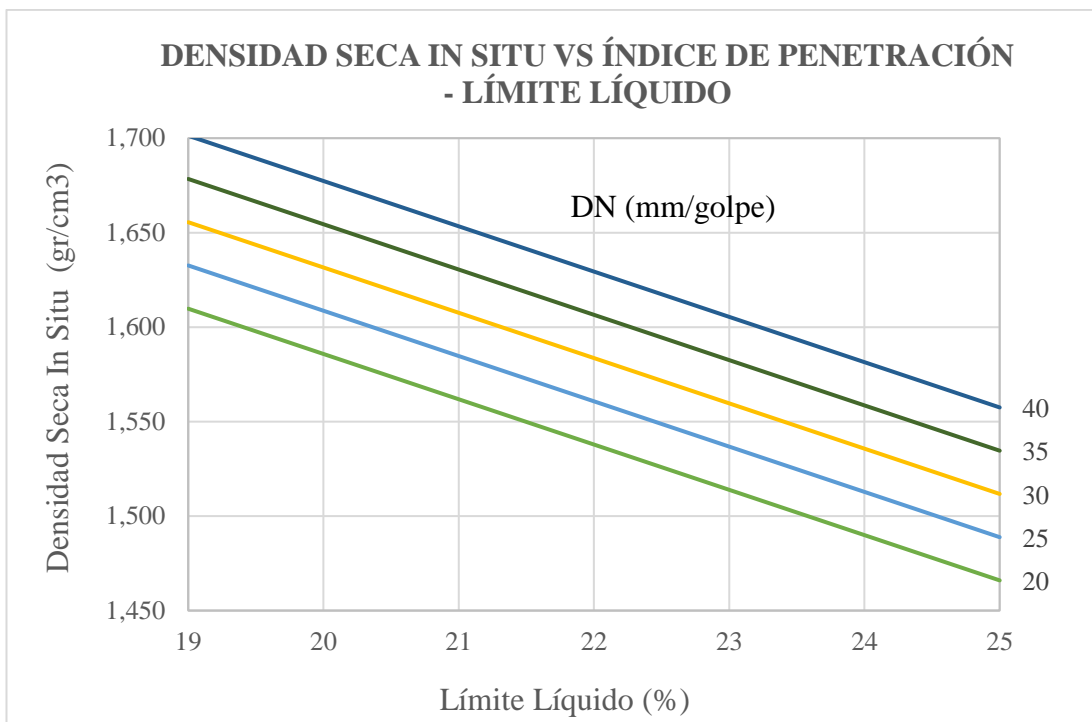


Figura 86. Correlación γ_d vs DN – LL (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación γ_d vs DN - LL (Cantón Cevallos)

Ecuación: $\gamma_d = 3.061 - 1.207 \text{ Log (LL)} + 0.005 \text{ DN}$ **R²:** 0.76

Análisis:

La relación entre las variables densidad seca in situ (γ_d), límite líquido (LL) e índice de penetración (DN) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.76. El coeficiente de correlación R² fue determinado en base al 100% de muestras (6 calicatas) con una ecuación logarítmica.

La correspondencia entre las variables γ_d y LL es inversamente proporcional, mientras la cantidad de agua necesaria para que el suelo alcance su límite líquido aumente mayor cantidad de partículas serán reemplazadas por el fluido por lo tanto perderá densidad. Las variables γ_d y DN poseen una relación inversamente proporcional. La γ_d de las muestras analizadas para el cantón Cevallos esta entre 1.500 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³, el LL entre 19% y 24%, finalmente DN entre 20.5 mm/golpe y 39 mm/golpe.

3.1.3.3. Correlaciones entre CBR y propiedades índice

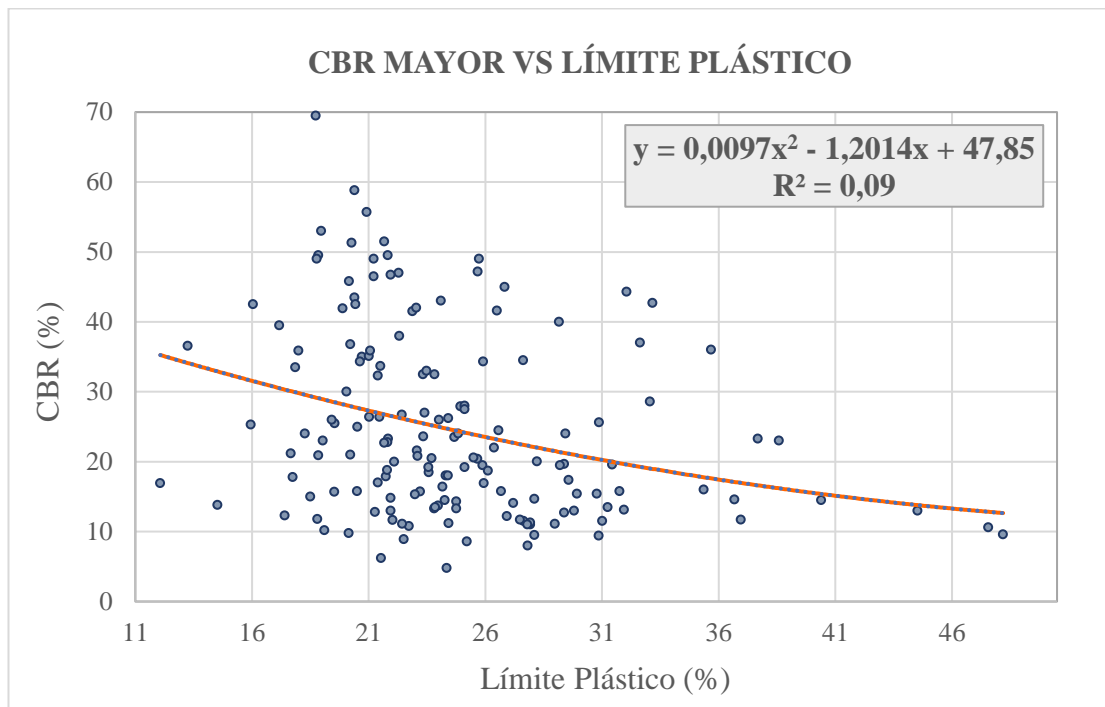


Figura 87. Correlación CBR vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

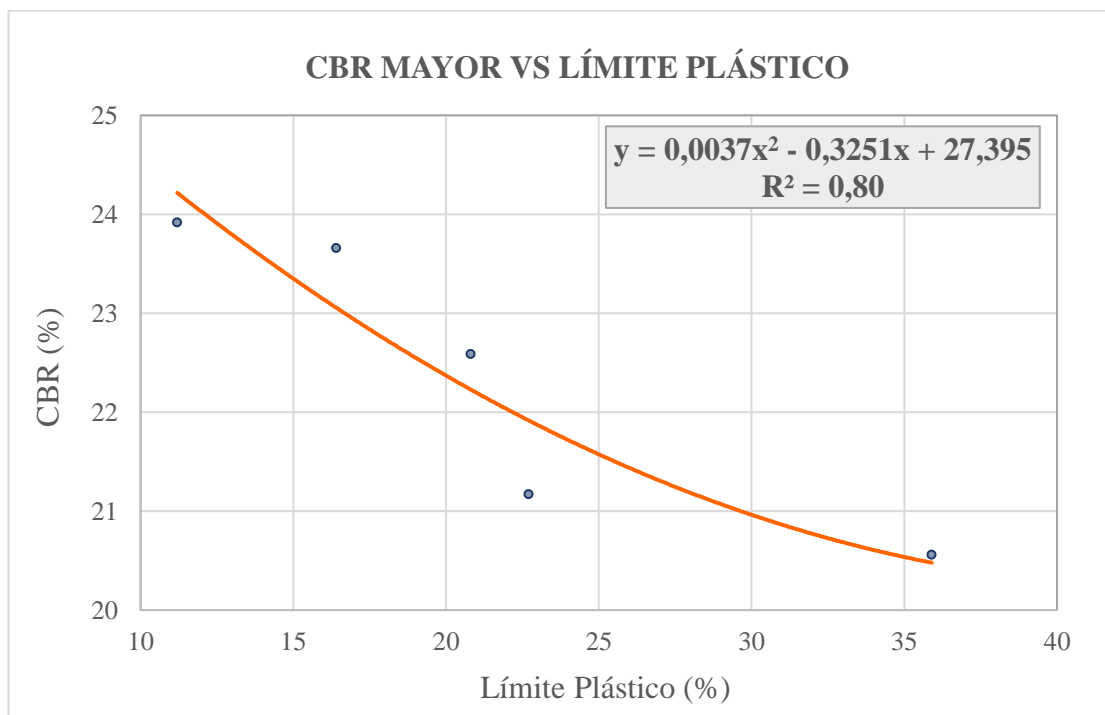


Figura 88. Correlación CBR vs LP (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs LP (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = 0,0097 LP^2 - 1,2014 LP + 47,85$ **R²:** 0.09

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y límite plástico (LP) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.09. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

La línea de tendencia indica una relación inversamente proporcional entre las variables analizadas. El CBR de las muestras analizadas oscila entre 10% y 70%, por otro lado, el LP se encuentra entre 11% y 48%.

Correlación CBR vs LP (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 0,0037 LP^2 - 0,3251 LP + 27,395$ **R²:** 0.80

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y límite plástico (LP) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.87. El mayor R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta notablemente y por lo tanto indica mayor correspondencia entre los parámetros.

La dependencia de los parámetros es inversamente proporcional, es decir mientras mayor sea el porcentaje de agua necesario para que el suelo cambie de estado plástico a semisólido, su capacidad de resistir las cargas impuestas será menor. Para el cantón Cevallos el CBR de las muestras analizadas oscila entre 20% y 25%, por otro lado, el LP se encuentra entre 11% y 48%.

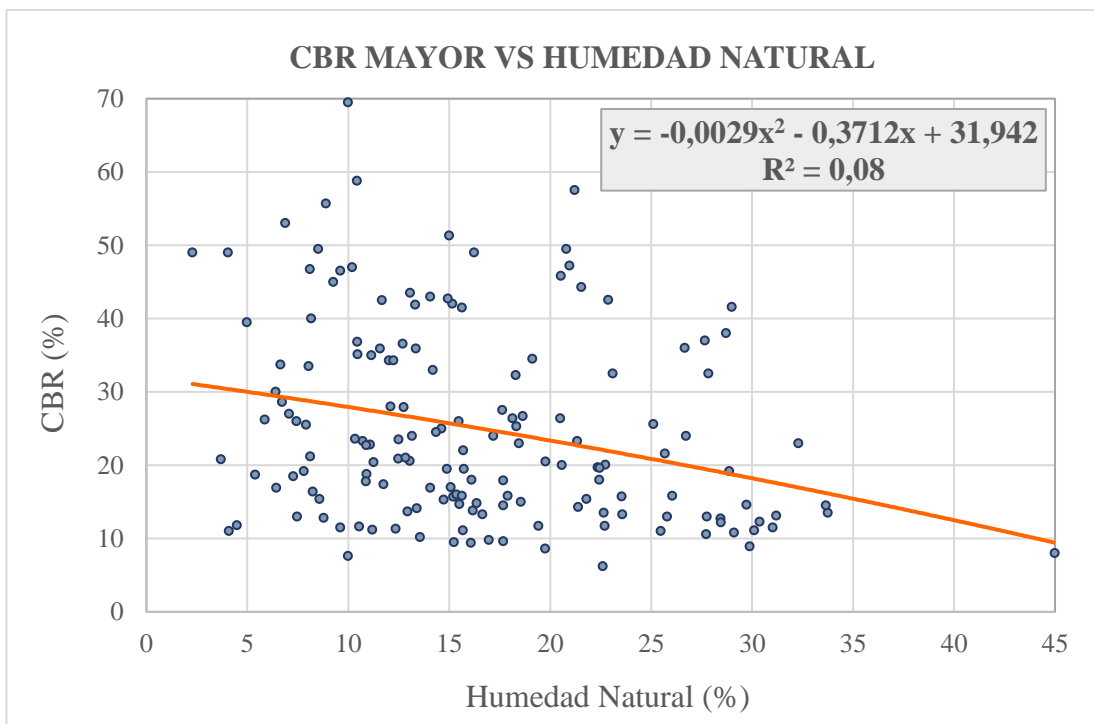


Figura 89. Correlación CBR vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

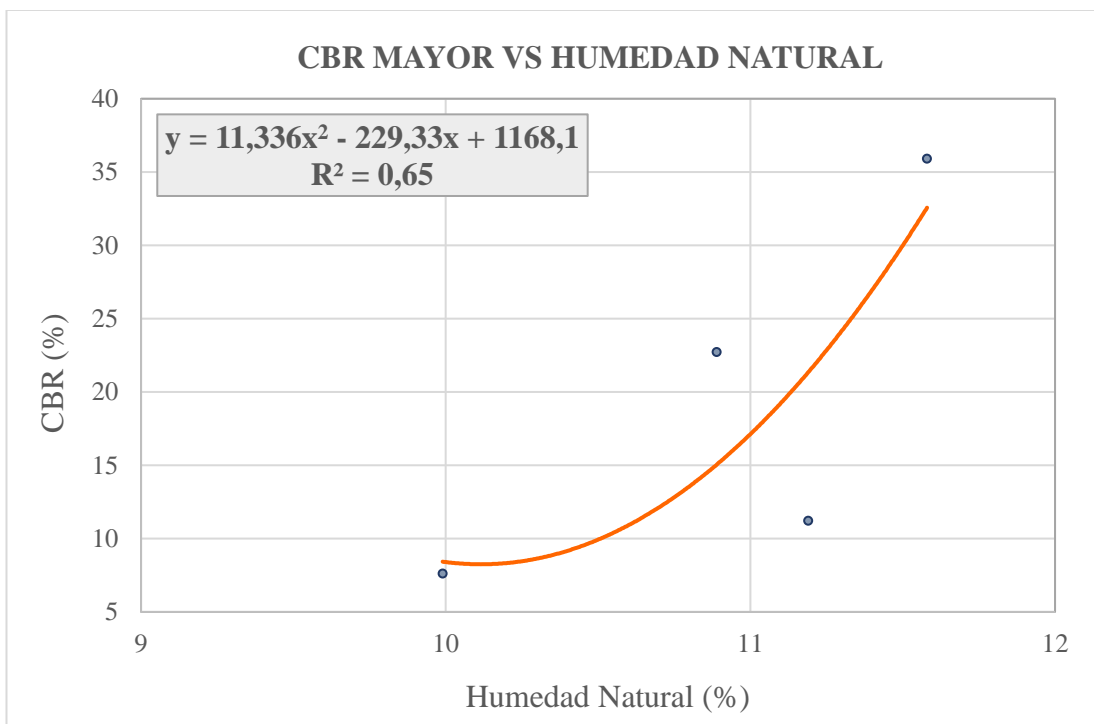


Figura 90. Correlación CBR vs Wnat (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs Wnat (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = -0,0029 Wnat^2 - 0,3712 Wnat + 31,942$ **R²:** 0.08

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y humedad natural (Wnat) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.08. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Dado que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil determinar una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables. El CBR de las muestras analizadas oscila entre 10% y 70%, por otro lado, el Wnat se encuentra entre 2% y 45%.

Correlación CBR vs Wnat (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 11,336 Wnat^2 - 229,33 Wnat + 1168,1$ **R²:** 0.65

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y límite plástico (Wnat) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.65. El mayor R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta notablemente, por lo tanto, la correlación entre los parámetros es mejor pero no significativa.

La relación entre las variables es directamente proporcional, es decir, mientras mayor sea contenido de humedad que presente el suelo en condiciones naturales, su capacidad de resistir las cargas impuestas será mayor. Sin embargo, esta correlación no es relevante dado que la obtención de CBR se realiza bajo condiciones controladas de humedad. Para el cantón Cevallos el CBR de las muestras analizadas oscila entre 7.5% y 36%, por otro lado, el Wnat se encuentra entre 9.5% y 11.6%.

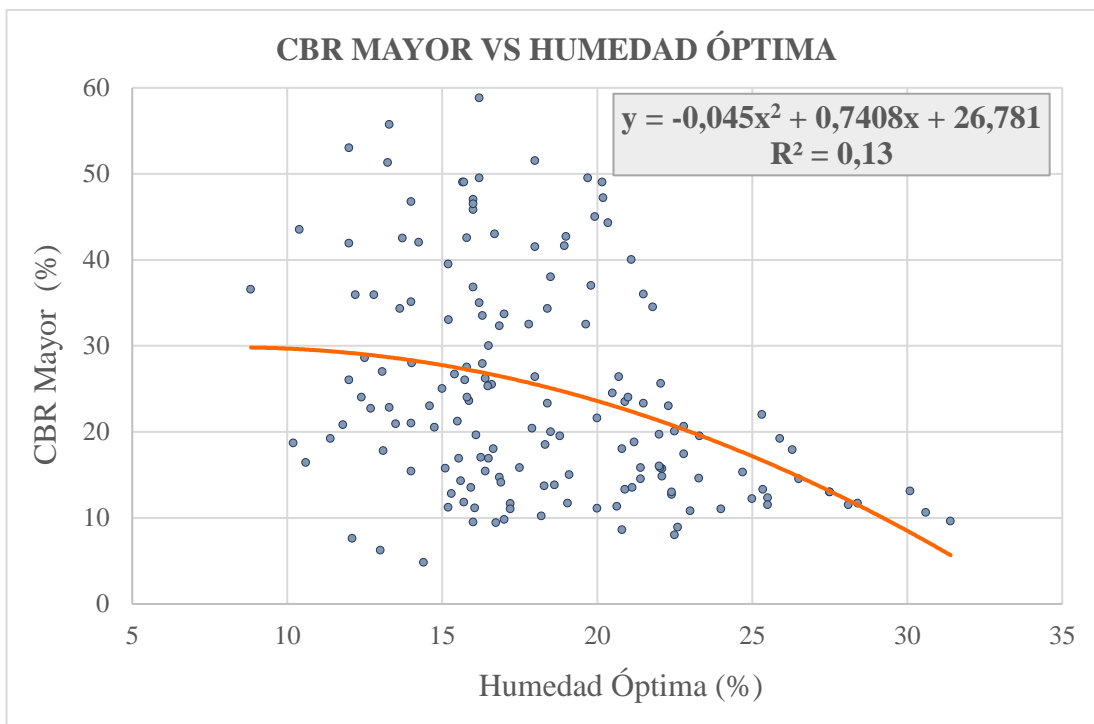


Figura 91. Correlación CBR vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

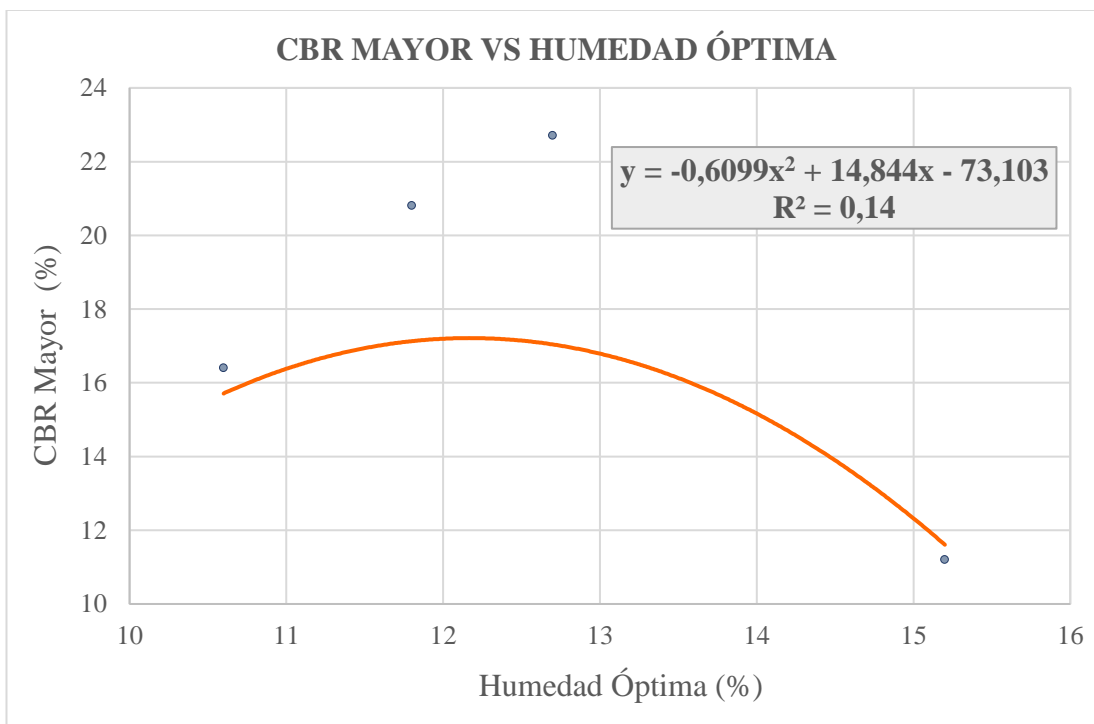


Figura 92. Correlación CBR vs Wopt (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = -0,045 Wopt^2 + 0,7408Wopt + 26,781$ **R²:** 0.13

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y humedad natural (Wnat) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.13. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 159 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Dado que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil determinar una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables. El CBR de las muestras analizadas oscila entre 10% y 70%, por otro lado, el Wopt se encuentra entre 8% y 32%.

Correlación CBR vs Wopt (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = -0,6099 Wopt^2 + 14,844Wopt - 73,103$ **R²:** 0.14

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y humedad (Wnat) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.14. El mayor R² fue determinado en base a 4 de 6 muestras, con una ecuación de tipo polinómica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta mínimamente, sin embargo, esto contradice a la teoría ya que el CBR depende de la humedad óptima determinada con el ensayo Proctor para el suelo, dado que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica se debería ensayar y evaluar mayor cantidad de muestras en el cantón Cevallos.

La relación entre las variables es inversamente proporcional, es decir, mientras mayor sea la cantidad de agua necesaria para que el suelo alcance su máxima densidad, su resistencia a las cargas que se le apliquen será menor. Para el cantón Cevallos el CBR de las muestras analizadas oscila entre 11% y 23%, por otro lado, el Wopt se encuentra entre 10.5% y 15.5%.

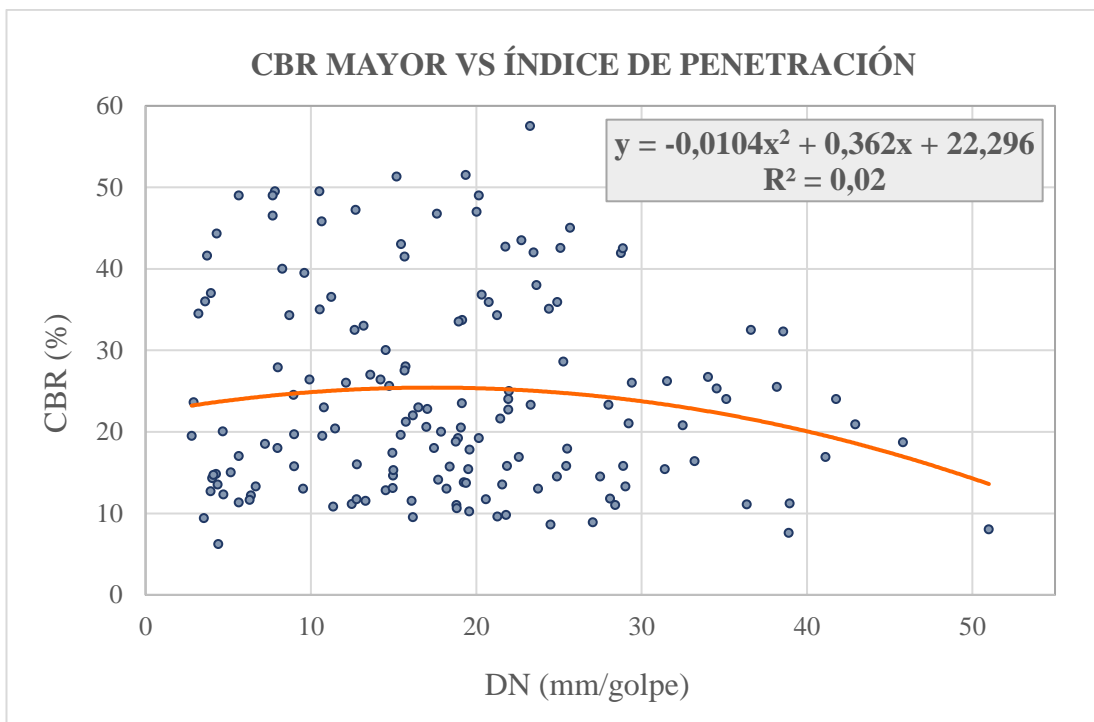


Figura 93. Correlación CBR vs DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

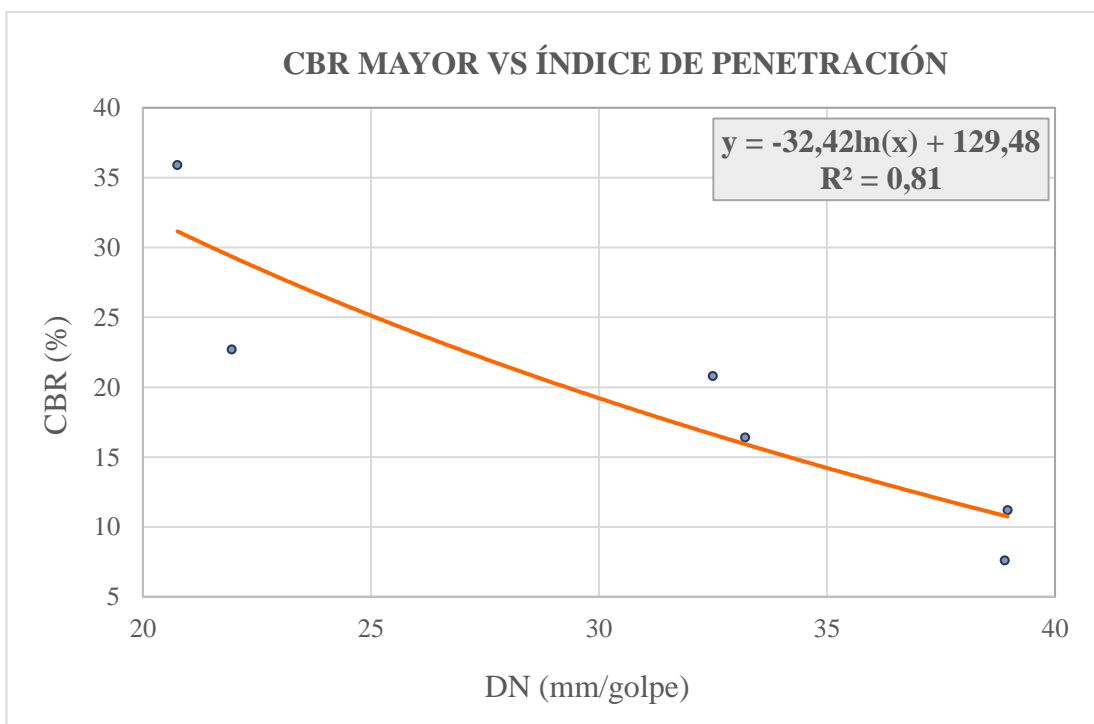


Figura 94. Correlación CBR vs DN (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = -0,0104 DN^2 + 0,362 DN + 22,296$ **R²:** 0.02

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y índice de penetración (DN) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.02. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 157 puntos con una ecuación de tipo polinómica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico diferente que permita descartar mayor cantidad de muestras el nivel de correlación podría mejorar.

Dado que los datos se encuentran bastante dispersos en la gráfica es difícil determinar una dependencia directa o inversamente proporcional entre las variables. El CBR de las muestras analizadas oscila entre 10% y 60%, por otro lado, el DN se encuentra entre 3% y 51%.

Correlación CBR vs DN (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = -32,42 \ln(DN) + 129,48$ **R²:** 0.81

Análisis:

La relación entre las propiedades CBR mayor (CBR) y índice de penetración (DN) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.81. El mayor R² fue determinado en base al 100% de las muestras (6 calicatas), con una ecuación de tipo logarítmica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el valor de R² aumenta notablemente, indicando que la correspondencia entre las variables es mejor.

La relación entre los parámetros es inversamente proporcional, es decir, mientras mayor sea la penetración por golpe en el suelo, menor será su resistencia que brinde el mismo en condiciones naturales. Para el cantón Cevallos el CBR de las muestras analizadas oscila entre 7.5% y 36%, por otro lado, el Wopt se encuentra entre 20.5% y 39%.

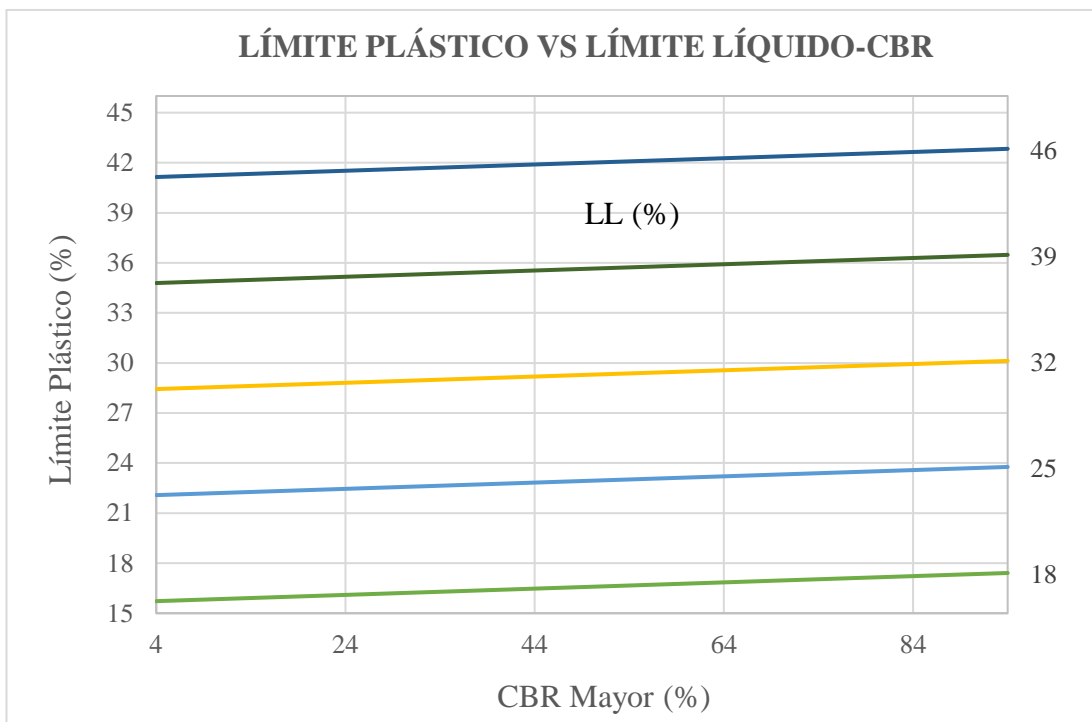


Figura 95. Correlación LP vs LL - CBR (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

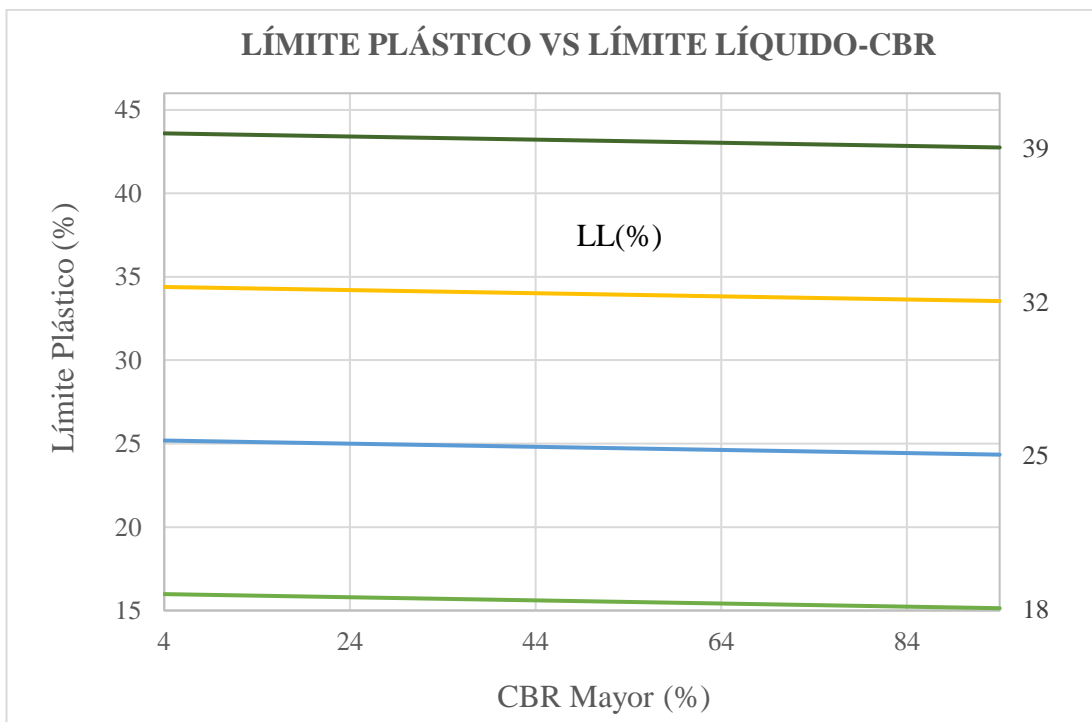


Figura 96. Correlación LP vs LL - CBR (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación LP vs LL - CBR (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $LP = -1.358 + 1.231 \text{ Log (CBR)} + 0.908 \text{ LL}$ **R²** 0.70

Análisis:

La relación entre las variables límite plástico (LP), límite líquido (LL) y CBR se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.70. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162 calicatas) con una ecuación logarítmica.

La correspondencia entre los parámetros LP y CBR es directamente proporcional. Teniendo en cuenta que el CBR se determina con la fracción de material que pasa el tamiz #4 y por otro lado el LL y LP se obtienen bajo condiciones controladas de humedad y con un tamaño definido de partículas (Pasa el tamiz #40), la correlación entre las variables es considerable. Si la cantidad de agua necesaria para que el suelo pase de estado semisólido a plástico aumenta (LP), lo mismo sucederá para el cambio de estado plástico a líquido (LL), por lo tanto, la relación entre LP y LL es directamente proporcional.

El LP de las muestras analizadas oscila entre 11.5% y 48%, por otro lado, el LL entre 18% y 45%, finalmente el CBR entre 4% y 70%.

Correlación LP vs LL - CBR (Cantón Cevallos)

Ecuación: $LP = -7.313 -0.617 \text{ Log (CBR)} + 1.315 \text{ LL}$ **R²:** 0.96

Análisis:

La relación entre las variables límite plástico (LP), límite líquido (LL) y CBR se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.96. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo logarítmica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros. El LP de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 17% y 24%, por otro lado, el LL entre 19% y 24.5%, finalmente el CBR entre 7.5 % y 36%.

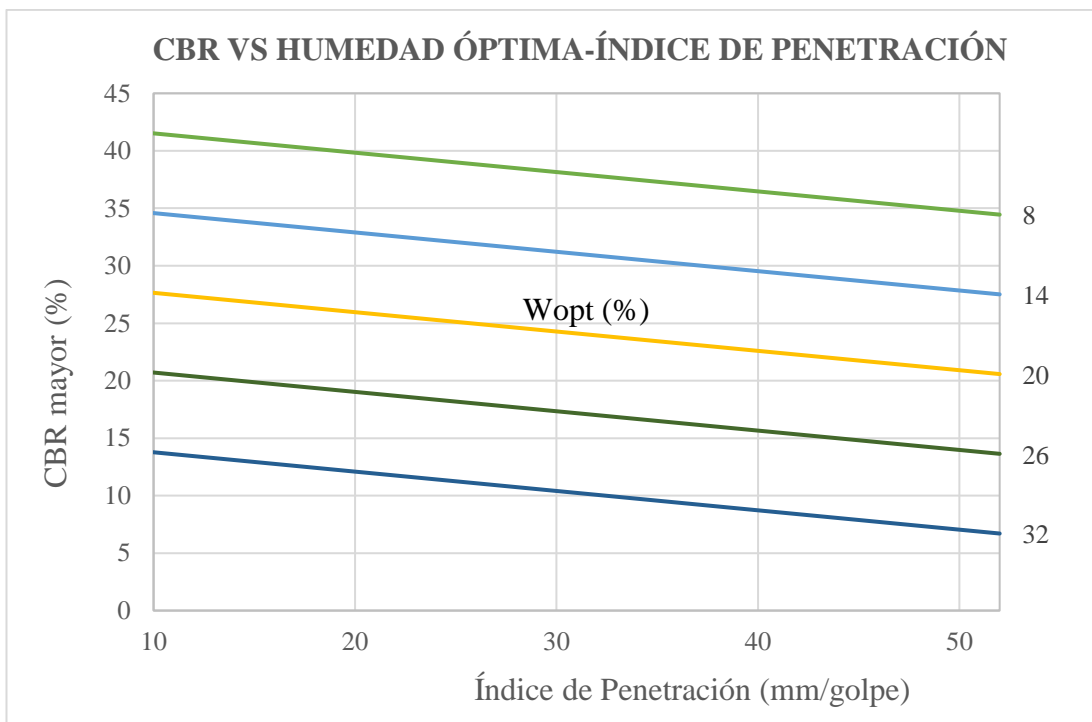


Figura 97. Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

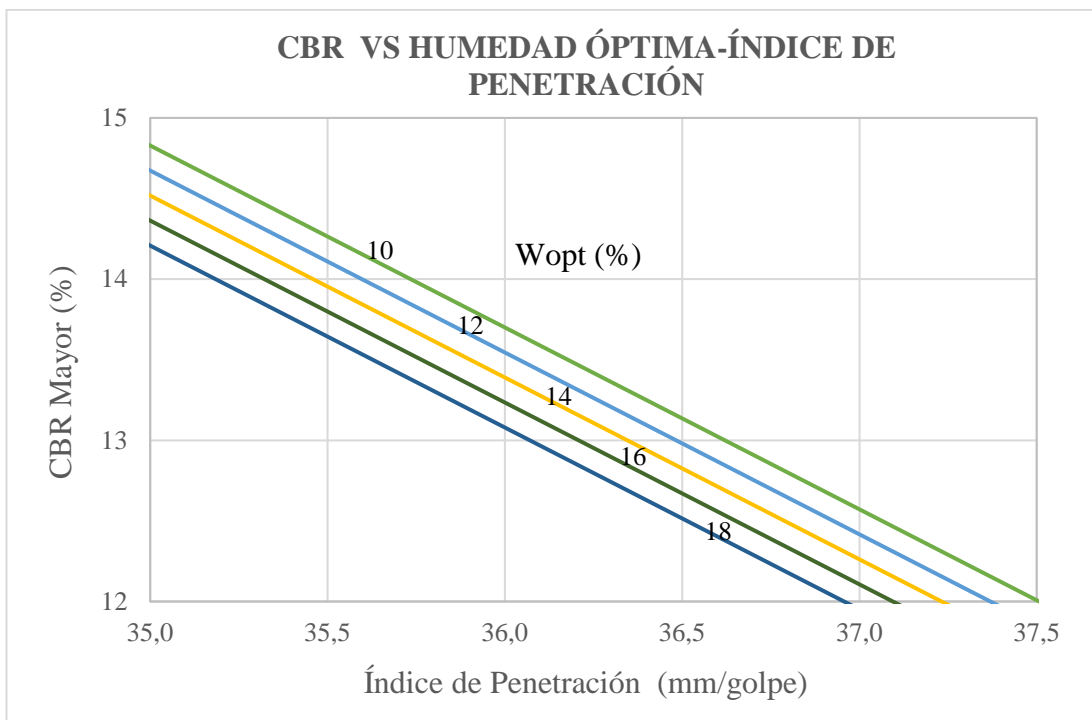


Figura 98. Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = 53.902 - 5.948 \text{ Log (DN)} - 1.156 \text{ Wopt}$ **R²** 0.14

Análisis:

La relación entre las variables CBR, humedad óptima (Wopt) e índice de penetración (DN) se define como nula a partir de un coeficiente R² igual a 0.14. Se esperaba obtener un mayor R² que indique mejor correspondencia entre los parámetros ya que se empleó un número de muestras mayor (162), sin embargo, el mayor coeficiente de correlación fue determinado en base a 153 puntos con una ecuación logarítmica. Cabe mencionar que de emplearse un método estadístico que permita disminuir el número de datos de análisis, la correlación podría mejor. La Wopt de las muestras analizadas oscila entre 8.5% y 31%, por otro lado, el DN entre 2.5 mm/golpe y 46 mm/golpe, finalmente el CBR entre 8.5% y 70%.

Correlación CBR vs Wopt - DN (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 55.093 - 1.128 \text{ DN} - 0.078 \text{ Wopt}$ **R²:** 0.82

Análisis:

La relación entre las variables CBR, humedad óptima (Wopt) e índice de penetración (DN) se define como aceptable a partir de un coeficiente R² igual a 0.82. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo lineal. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² aumenta y por lo tanto indica mejor correspondencia entre los parámetros.

La correlación entre CBR y DN es inversamente proporcional, mientras más grande sea el índice de penetración del suelo menor resistencia a corte tendrá entonces el valor de CBR será menor lo que indica que el suelo no tendrá buena resistencia a las cargas que se le apliquen. La dependencia entre las variables CBR y Wopt es inversamente proporcional, mientras mayor sea el porcentaje de agua que permita que el suelo alcance su densidad seca máxima menor será su capacidad de resistencia de cargas. La Wopt de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 10.5% y 15.5%, por otro lado, el DN entre 20.5 mm/golpe y 40 mm/golpe, finalmente el CBR entre 7.5% y 36%.

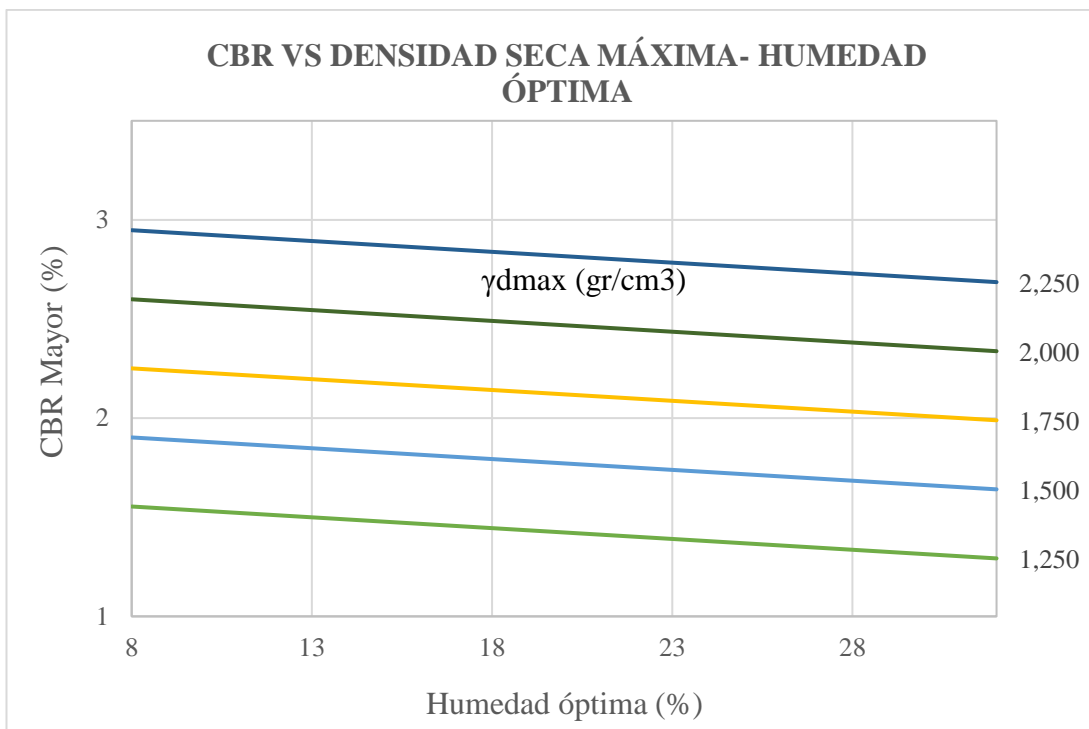


Figura 99. Correlación CBR vs γ_{dmax} – W_{opt} (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

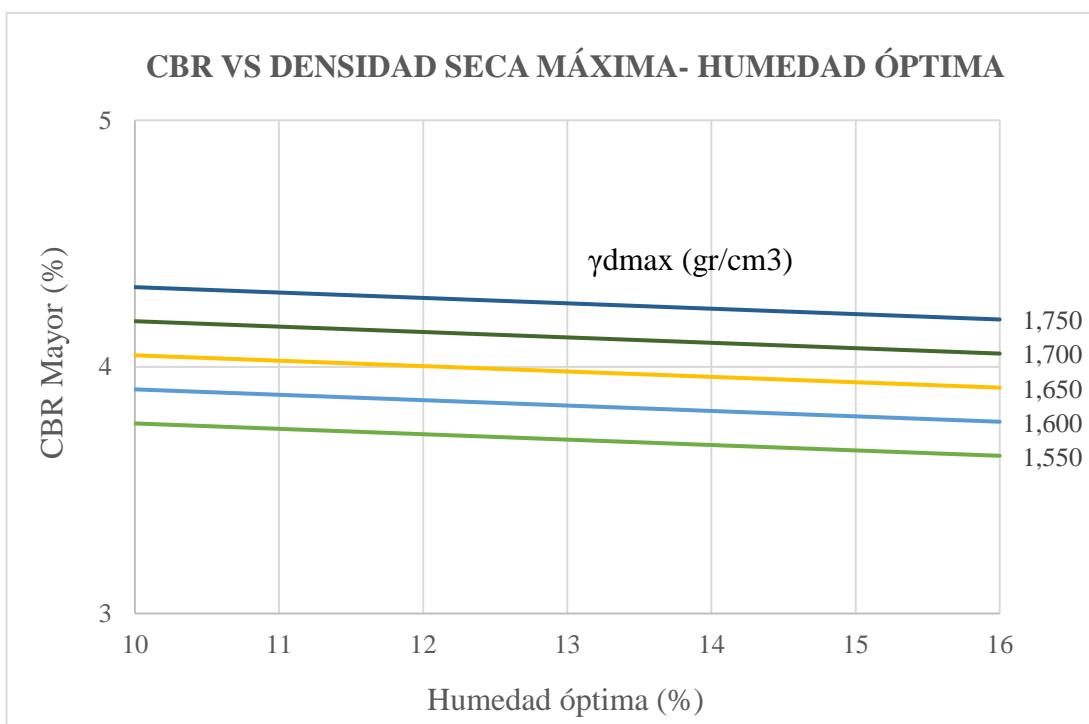


Figura 100. Correlación CBR vs γ_{dmax} – W_{opt} (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs γ_{dmax} – Wopt (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = 1.637 * Wopt^{-0.425} * \gamma_{dmax}^{1.126}$ **R²** 0.94

Análisis:

La relación entre las variables CBR, densidad seca máxima (γ_{dmax}) y humedad óptima (Wopt) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.94. El coeficiente de correlación R² fue determinado en base a 162 muestras con una ecuación de tipo potencial.

La relación entre los tres parámetros es alta dado que para la obtención del CBR en laboratorio es necesario conocer la humedad óptima y densidad seca máxima que arroja el ensayo Proctor. Se aprecia una correspondencia inversamente proporcional entre el CBR y Wopt, por otro lado, la relación entre CBR y γ_{dmax} es directamente proporcional, de esta manera mientras mayor sea el porcentaje de agua que permita que el suelo alcance su densidad seca máxima menor será su capacidad de resistencia de cargas.

Para esta correlación los valores de CBR oscilan entre 4.5% y 70%, γ_{dmax} entre 0.550 gr/cm³ y 2.200 gr/cm³, finalmente Wopt entre 8.5% y 31.5%.

Correlación CBR vs γ_{dmax} – Wopt (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 1.348 * Wopt^{-0.643} * \gamma_{dmax}^{2.764}$ **R²:** 0.93

Análisis:

La relación entre las variables CBR, densidad seca máxima (γ_{dmax}) y humedad óptima (Wopt) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.93. El mayor R² fue determinado en base al número total de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo potencial. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² disminuye, pero no significativamente.

Para esta correlación los valores de CBR oscilan entre 7.5% y 36%, γ_{dmax} entre 1.500 gr/cm³ y 1.750 gr/cm³, finalmente Wopt entre 10.5% y 15.5%.

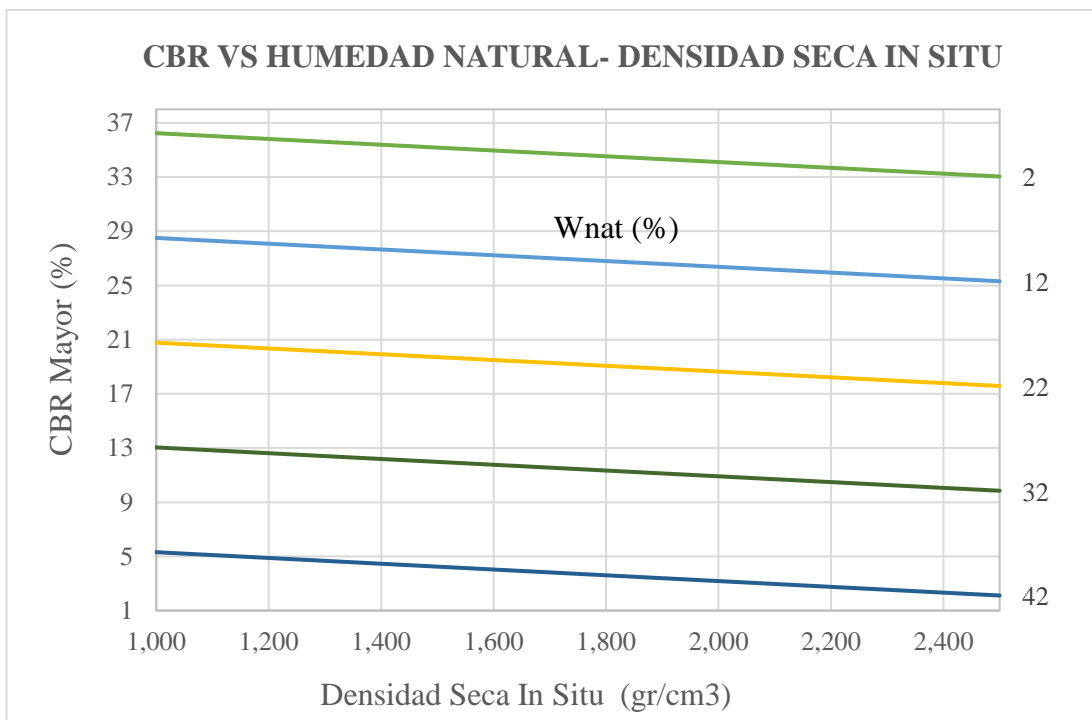


Figura 101. Correlación CBR vs Wnat - γ_d (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

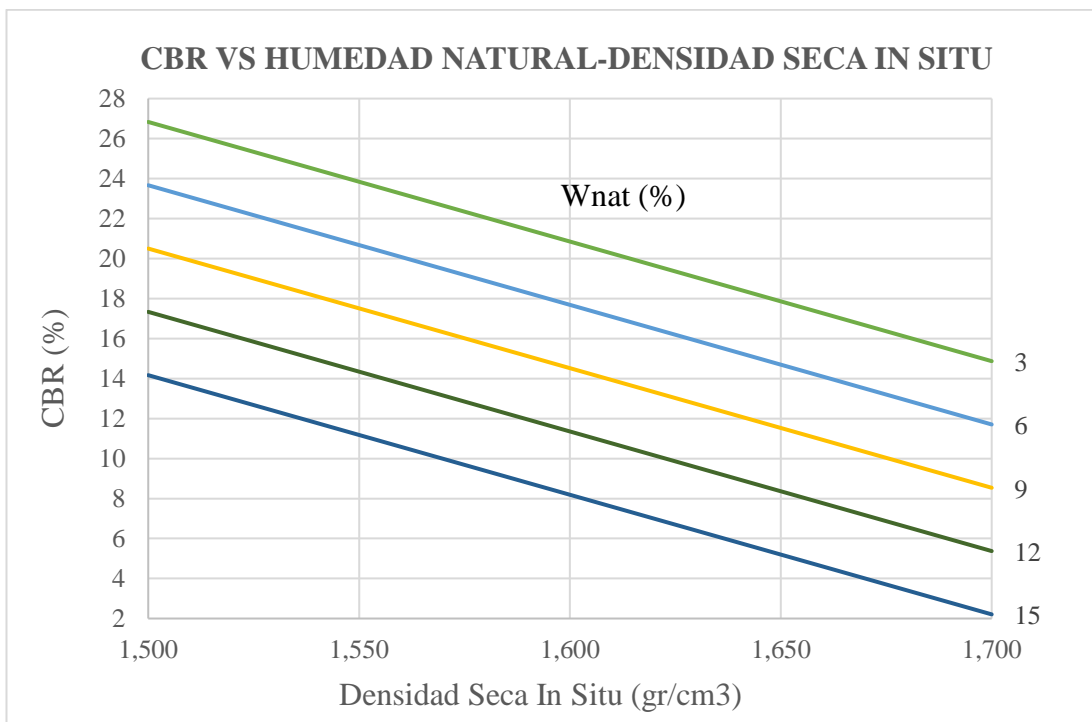


Figura 102. Correlación CBR vs Wnat - γ_d (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs Wnat - γ_d (Cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos)

Ecuación: $CBR = 1,491 * e^{-0.021 * \gamma_d} * e^{-0.008 * Wnat}$ **R²** 0.94

Análisis:

La relación entre las variables CBR, densidad seca in situ (γ_d) y humedad natural (Wnat) se define como excelente a partir de un coeficiente R² igual a 0.94. El coeficiente de correlación R² fue determinado en base a 162 muestras con una ecuación de tipo exponencial.

La dependencia entre los parámetros es alta, teniendo en cuenta que el CBR de laboratorio se obtiene bajo condiciones controladas de humedad y depende del contenido de humedad óptimo que es diferente a la humedad de suelo en su estado natural. El CBR de las muestras analizadas oscila entre 4.5% y 70%, γ_d entre 0.900 gr/cm³ y 2.100 gr/cm³, finalmente Wnat entre 2 % y 45%.

Correlación CBR vs Wnat - γ_d (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 68.747 - 220.062 \text{ Log}(\gamma_d) - 1.055 Wnat$ **R²:** 0.64

Análisis:

La relación entre las variables CBR, densidad seca in situ (γ_d) y humedad natural (Wnat) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.64. El mayor R² fue determinado en base a 5 de 6 muestras con una ecuación logarítmica. Realizando una comparación con la gráfica anterior se puede mencionar que con un número de muestras menor el coeficiente R² disminuye y por lo tanto indica menor nivel de correspondencia entre los parámetros.

La correlación indica una relación inversamente proporcional entre las variables CBR y Wnat, mientras mayor sea la humedad natural presente en el suelo este será menos denso, por lo tanto, su capacidad para resistir cargas será inferior (CBR menor). Para el cantón Cevallos el CBR oscila entre 7.5% y 23%, γ_d entre 1.500 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³, finalmente Wnat entre 3.5 % y 11.5%.

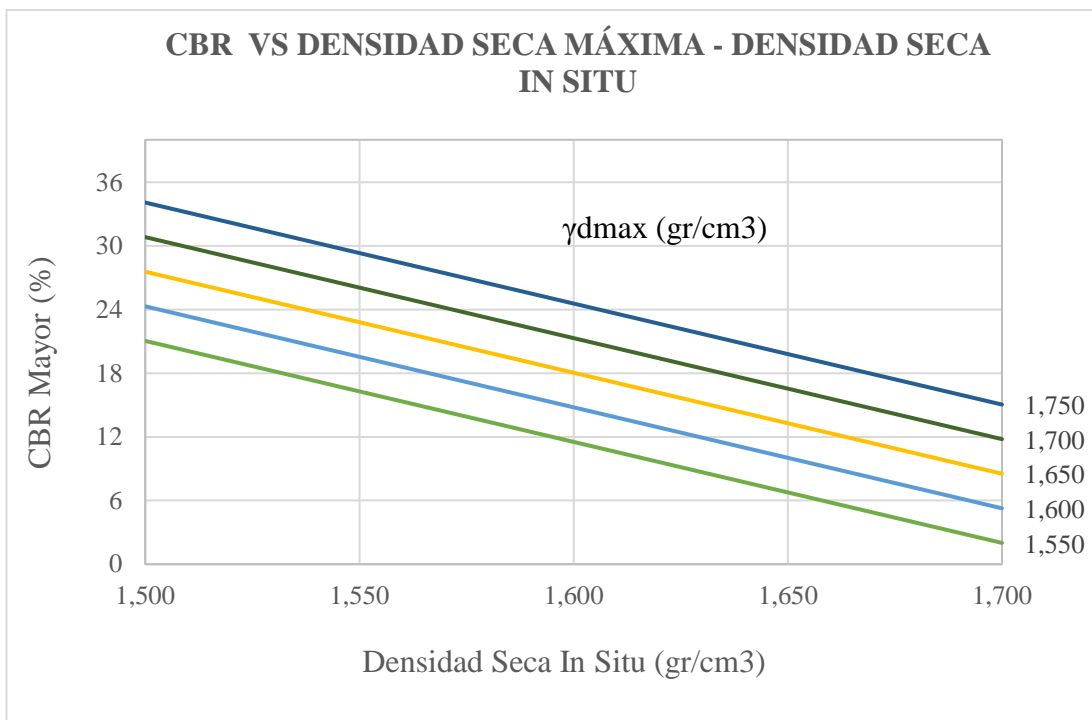


Figura 103. Correlación CBR vs γ_{dmax} - γ_d (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs γ_{dmax} - γ_d (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 62.792 - 95.203 \gamma_d + 65.199 \gamma_{dmax}$ **R²:** 0.65

Análisis:

La relación entre las variables CBR, densidad seca máxima (γ_{dmax}) y densidad seca in situ (γ_d) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.65. El coeficiente de correlación R² fue determinado en base al 100% de muestras (6 calicatas) con una ecuación de tipo lineal.

La dependencia entre los parámetros CBR y γ_d es inversamente proporcional, por otro lado, es directamente proporcional entre CBR y γ_{dmax} . Mientras más cerca de la humedad óptima se encuentre la humedad natural del suelo, más cerca estará este de la densidad seca máxima que le permitirá brindar mayor resistencia a las cargas.

El CBR de las muestras analizadas para el cantón Cevallos oscila entre 7.5% y 36%, γ_{dmax} en el rango de 1.520 gr/cm³ y 1.730 gr/cm³, finalmente γ_d entre 1.510 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³

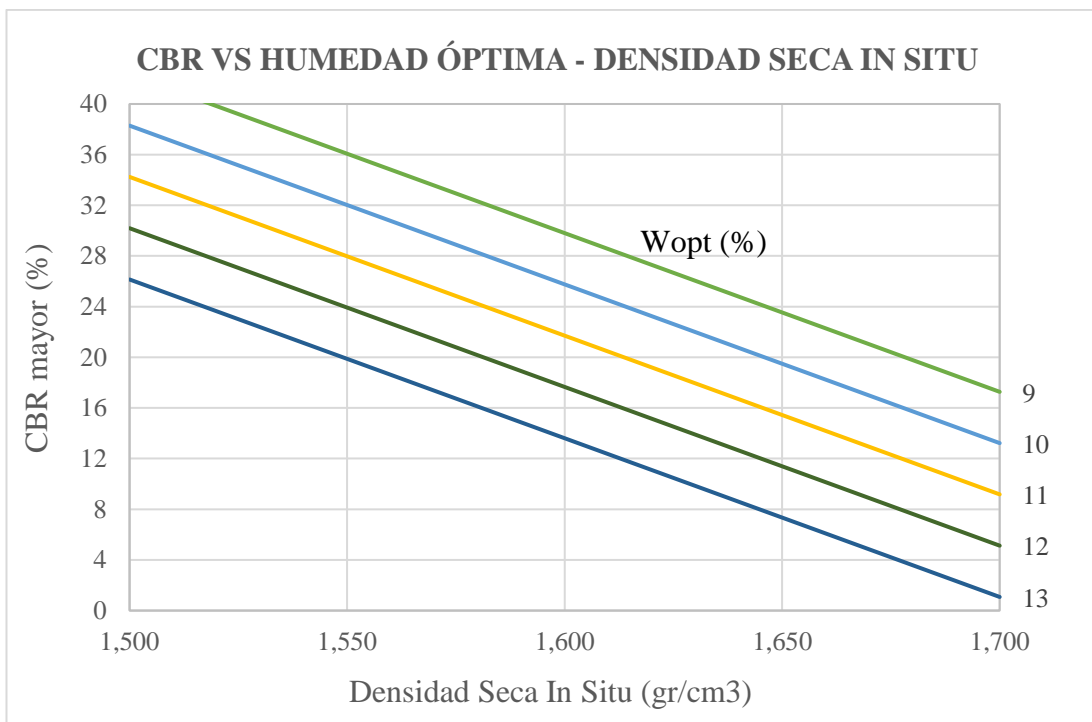


Figura 104. Correlación CBR vs Wopt - γ_d (Cantón Cevallos)

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Correlación CBR vs Wopt - γ_d (Cantón Cevallos)

Ecuación: $CBR = 159.99 - 461.165 \text{ Log}(\gamma_d) - 4.049 \text{ Wopt}$ **R²:** 0.65

Análisis:

La relación entre las variables CBR, humedad óptima (Wopt) y densidad seca in situ (γ_d) se define como regular a partir de un coeficiente R² igual a 0.65. El coeficiente de correlación R² fue determinado en base al 100% de muestras (6 calicatas) con una ecuación logarítmica.

La relación entre los parámetros CBR y γ_d , CBR y Wopt es inversamente proporcional. Mientras más cerca de la humedad óptima se encuentre la humedad natural del suelo, más cerca estará este de la densidad seca máxima que le permitirá brindar mayor resistencia a las cargas.

El CBR de las muestras analizadas oscila entre 7.5% y 36%, γ_d entre 1.500 gr/cm³ y 1.700 gr/cm³, finalmente Wopt entre 10.5% y 15.5%.

3.1.4. Diseño de pavimento flexible método AASHTO 93 (Cantón Cevallos)

Con la finalidad de realizar una comparación entre el CBR de laboratorio, los CBR obtenidos a partir de las correlaciones CBR vs. DN y el CBR vs Wopt - γ_{dmax} , se realizó el diseño de pavimento flexible para el cantón Cevallos.

Las correlaciones seleccionadas para la obtención de CBR son aquellas que presentan los mayores valores de coeficiente de correlación R^2 , entre 2 y 3 variables.

Tabla 44. CBR de diseño

CBR DE DISEÑO (CEVALLOS)		
CBR de laboratorio	Muestra 6	7.60%
Correlación de 2 variables: CBR vs DN	$CBR = -32.42 \ln(DN_{C2}) + 129.48$ $R^2 = 81\%$ $DN_{C2} = 38.96 \text{ mm/golpe}$	10.74%
Correlación de 3 variables: CBR vs Wopt - γ_{dmax}	$CBR = 1.348 * (Wopt_{C2})^{-0.643} * (\gamma_{dmax_{C2}})^{2.764}$ $R^2 = 94\%$ $Wopt_{C2} = 15.20\%$ $\gamma_{dmax_{C2}} = 1.521 \text{ gr/cm}^3$	7.47%

Elaborado por: Gallegos Gabriela

El conteo de tránsito vehicular para la vía “Pedro Fermín Cevallos” fue realizado el 25/04/2022 en el horario de 6:00 am. a 18:00 pm. (12 horas en intervalos de 15 minutos). El TPDA de trabajo corresponde al de la hora pico (8:00 am a 9:00 am)

Tabla 45. TPDA hora pico cantón Cevallos, vía “Pedro Fermín Cevallos”

Hora	Livianos	Buses	Pesados			Total
			2DA (Camión de 2 ejes medianos)	2DB (Camión de 2 ejes grande)	3A (Camión de 3 ejes)	
8:00 - 8:15	18	0	0	1	0	19

8:15 - 8:30	15	1	1	1	0	18
8:30 - 8:45	13	1	2	0	0	16
8:45 - 9:00	11	1	1	1	0	14
Total	57	3	4	3	0	67
Total (%)	85.07	4.48	5.97	4.48	0.00	100.00

Elaborado por: Gallegos Gabriela

En resume, el volumen vehicular total corresponde a 85.07% (Vehículos livianos), 4.48% (Buses) y 10,45% (Vehículos pesados).

Factor de Hora Pico

Hora pico 8:00 am- 9:00 am Factor de hora pico (FHP) = $\frac{\text{Promedio de vehículos}}{\text{Mayor tráfico en 15 minutos}}$

$$\text{Factor de hora pico} = \frac{\left(\frac{19 + 18 + 16 + 14}{4}\right)}{19 \text{ Vehículos}_{8:00-8:15}}$$

Factor de hora pico (FHP) = 0.88

Porcentaje de la trigésima hora

Teniendo en cuenta que la vía es rural se utilizará 15%, recomendación del MOP. Se asume un FHP=1 con el fin de conseguir un TPDA uniforme.

Tabla 46. Determinación de Porcentaje de la trigésima hora

TPDA	FÓRMULA
TPDA vehículos livianos	$57*(100/15) = 380 \text{ vehículos/día}$
TPDA buses	$3*(100/15) = 20 \text{ vehículos/día}$
TPDA vehículos pesados	$7*(100/15) = 47 \text{ vehículos/día}$
TPDA total actual	$67*(100/15) = 447 \text{ vehículos/día}$

Elaborado por: Gallegos Gabriela

$$TPDA_{Actual} = 447 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$$

TPDA para 1 a\u00f1o

$$TPDA_{Primer \ a\u00f1o} = Ta * (1+i)^1$$

Tabla 47. Tasas de crecimiento Vehicular

PERIODO	VEH\u00cdCULOS LIVIANOS	BUSES	VEH\u00cdCULOS PESADOS
2019-2020	3.97	1.97	1.94
2021-2025	3.57	1.78	1.74
2026-2039	3.25	1.62	1.58

Fuente: “Normas de Dise\u00f1o Geom\u00e9trico de Carreteras”, MOP 2003

Tabla 48. Determinaci\u00f3n de TPDA para el primer a\u00f1o

TPDA veh\u00edculos livianos Primer a\u00f1o	$380 * (1+0.0357)^1 = 394 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$
TPDA buses Primer a\u00f1o	$20 * (1+0.0178)^1 = 21 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$
TPDA veh\u00edculos pesados Primer a\u00f1o	$47 * (1+0.0174)^1 = 48 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$
TPDA total actual Primer a\u00f1o	$394 + 21 + 48 = 463 \text{ veh\u00edculos/d\u00eda}$

Elaborado por: Gallegos Gabriela

TPDA futuro

Periodo de dise\u00f1o 20 a\u00f1os

Tabla 49. Determinaci\u00f3n de TPDA para el primer a\u00f1o

A\u00d1O	\u00cdNDICE DE CRECIMIENTO (i%)			TPDA FUTURO			TOTAL
	Veh\u00edculos Livianos	Buses	Veh\u00edculos pesados	Veh\u00edculos Livianos	Buses	Veh\u00edculos pesados	
2022	3,57	1,78	1,74	380	20	47	447
2023	3,57	1,78	1,74	394	21	48	463
2024	3,57	1,78	1,74	408	21	49	478
2025	3,57	1,78	1,74	423	22	50	494
2026	3,25	1,62	1,58	436	22	50	509

2027	3,25	1,62	1,58	451	22	51	524
2028	3,25	1,62	1,58	465	23	52	540
2029	3,25	1,62	1,58	480	23	53	556
2030	3,25	1,62	1,58	496	24	54	573
2031	3,25	1,62	1,58	512	24	55	591
2032	3,25	1,62	1,58	529	24	55	608
2033	3,25	1,62	1,58	546	25	56	627
2034	3,25	1,62	1,58	564	25	57	646
2035	3,25	1,62	1,58	582	26	58	666
2036	3,25	1,62	1,58	601	26	59	686
2037	3,25	1,62	1,58	620	26	60	707
2038	3,25	1,62	1,58	641	27	61	728
2039	3,25	1,62	1,58	661	27	62	750
2040	3,25	1,62	1,58	683	28	63	773
2041	3,25	1,62	1,58	705	28	64	797
2042	3,25	1,62	1,58	728	29	65	821

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Con un tránsito promedio diario anual igual a 821 vehículos/día, según la normativa MOP la carretera se clasifica como vía colectora clase III.

Cálculo de Ejes Equivalentes (W18)

Tabla 50. Periodos de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30-50
Rural de alto volumen de tráfico	20-50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15-25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10-20

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras”, MOP 2003

Tabla 51. Porcentaje de tránsito equivalente

Nº DE CARRILES EN UNA SOLA DIRECCIÓN	%W ₁₈ , PARA EL CARRIL DE DISEÑO, D _L
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Factor de daño

Tabla 52. Factor de daño (FD)

TIPO	SIMPLE		SIMPLE DOBLE		TÁNDEM		TRIDEM		FACTOR DE DAÑO
	Ton	$(\frac{P}{6.6})^4$	Ton	$(\frac{P}{8.2})^4$	Ton	$(\frac{P}{15})^4$	Ton	$(\frac{P}{23})^4$	
Livianos	3	0.04							0.04
Buses	4	0.13	8	0.91					1.04
C-2P	2.5	0.02							1.29
	7	1.27							
C-2G	6	0.68	11	3.24	18	2.07			5.99
C-4									0
C-5									0
C-6									0

Fuente: “Normas de Diseño Geométrico de Carreteras”, MOP 2003

Número de ejes equivalentes

$$W_{10\text{Total}} = 365 * TPDA_{\text{Final}} * FD$$

$$W_{10\text{Total}} = (365 * TPDA_{\text{Final Livianos}} * FD) + (365 * TPDA_{\text{Final Buses}} * FD) + (365 * TPDA_{\text{Final Pesados}} * FD)$$

Tabla 53. Determinación W18 de Diseño

AÑO	ÍNDICE DE CRECIMIENTO (i%)			TPDA FUTURO			TOTAL	W18 PARCIAL	W18 ACUMULADO	W18 CARRIL DE DISEÑO
	Vehículos Livianos	Buses	Vehículos pesados	Vehículos Livianos	Buses	Vehículos pesados				
2022	3,57	1,78	1,74	380	20	47	447	35270	35270	17635
2023	3,57	1,78	1,74	394	21	48	463	36325	71595	35797
2024	3,57	1,78	1,74	408	21	49	478	37065	108660	54330
2025	3,57	1,78	1,74	423	22	50	494	37823	146483	73241
2026	3,25	1,62	1,58	436	22	50	509	38526	185009	92505
2027	3,25	1,62	1,58	451	22	51	524	39245	224254	112127
2028	3,25	1,62	1,58	465	23	52	540	39978	264232	132116
2029	3,25	1,62	1,58	480	23	53	556	40727	304959	152480
2030	3,25	1,62	1,58	496	24	54	573	41491	346450	173225
2031	3,25	1,62	1,58	512	24	55	591	42271	388721	194360
2032	3,25	1,62	1,58	529	24	55	608	43067	431788	215894
2033	3,25	1,62	1,58	546	25	56	627	43880	475669	237834
2034	3,25	1,62	1,58	564	25	57	646	44711	520379	260190
2035	3,25	1,62	1,58	582	26	58	666	45558	565938	282969
2036	3,25	1,62	1,58	601	26	59	686	46424	612361	306181
2037	3,25	1,62	1,58	620	26	60	707	47308	659669	329835
2038	3,25	1,62	1,58	641	27	61	728	48210	707880	353940
2039	3,25	1,62	1,58	661	27	62	750	49132	757012	378506
2040	3,25	1,62	1,58	683	28	63	773	50074	807086	403543
2041	3,25	1,62	1,58	705	28	64	797	51036	858122	429061
2042	3,25	1,62	1,58	728	29	65	821	52019	910141	455070

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Ejes equivalentes para el año 2042 = 455070

Tabla 54. Espesores por capa (D1 y D2)

TRÁFICO (W18)	CARPETA ASFÁLTICA (D1)	CAPA BASE (D2)
< 5000	1.0 (o Trata. Superficial)	4.0''
50001 a 150000	2.0''	4.0''
150001 a 500000	2.5''	4.0''
500001 a 2000000	3.0''	6.0''
2000001 a 7000000	3.5''	6.0''
>7000000	4.0''	6.0''

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Carpeta asfáltica $D1_{\text{Mínimo}}=2.5$ pulgadas = 6.35 cm

Capa base granular $D2_{\text{Mínimo}}=4.0$ pulgadas = 10.16 cm

Confiabilidad (R)

Tabla 55. Grado de confiabilidad (R)

CLASIFICACIÓN SEGÚN FUNCIONALIDAD	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Autopistas	85-99.9	80-99.9
Carreteras de 1er Orden	80-99	75-95
Carreteras de 2do Orden	80-95	75-95
Caminos vecinales o locales	50-80	50-80

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

R = 85%

Desviación estándar Normal (Z_r)

Tabla 56. Desviación estándar normal (Z_r) para (R)

CONFIABILIDAD R (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z_r)
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

$$Z_r = -1.037$$

Desviación estándar global S_o

Para el diseño de pavimentos flexibles se recomienda emplear $S_o = 0.45$

Índice de serviciabilidad (PSI)

PSI inicial, toma el valor de 4.2 para pavimento flexible. PSI final, para este indicador AASHTO toma los valores de 2.5 - 3.00 en el caso de caminos principales y 2.00 para los secundarios.

$$\Delta\text{PSI} = \text{PSI inicial} - \text{PSI final}$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2$$

$$\Delta\text{PSI} = 2.2$$

Coefficientes estructurales a_1, a_2, a_3

Coefficiente estructural de carpeta asfáltica (a_1)

La normativa AASHTO 93 indica que la estabilidad mínima asumida es 1800 Lb.

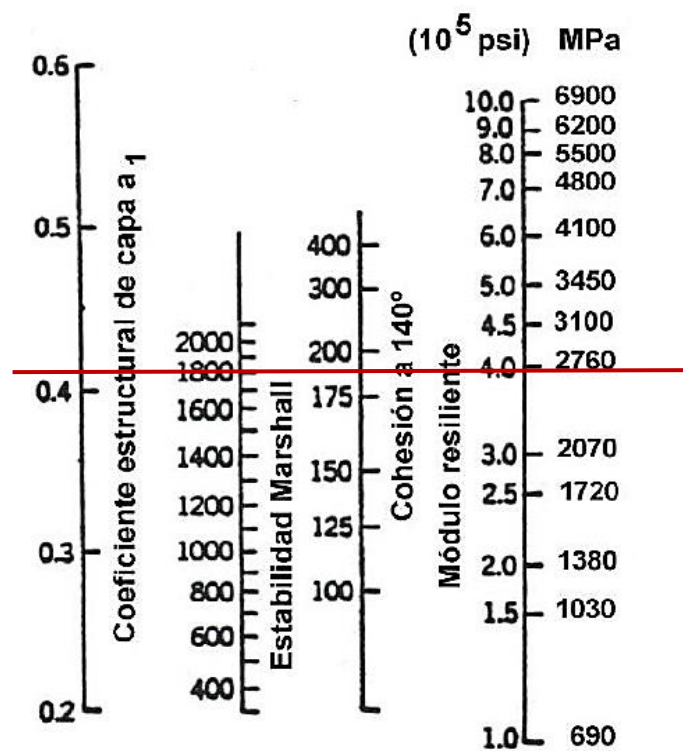


Figura 105. Nomograma para determinación de a_1

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Tabla 57. Determinación de coeficiente estructural de carpeta asfáltica (a_1)

MÓDULO DE ELASTICIDAD		a_1
PSI	Mpa	
125000	875	0.220
15000	1050	0.250
175000	1225	0.280
200000	1400	0.295
225000	1575	0.320
250000	1750	0.330
275000	1925	0.350
300000	2100	0.360
325000	2275	0.375
350000	2450	0.850
375000	2625	0.405
400000	2800	0.420
425000	2975	0.435
45000	3150	0.440

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

$$a_1 = 0.405 \quad M_{E-Carp. \text{ Asfáltica}} = 37500 \text{ Ksi} = 2625 \text{ Mpa}$$

Coeficiente estructural de base (a_2)

La normativa de Diseño Geométrico de Carreteras MOP 2003 indica que el CBR mínimo para base granular es superior a 80%.

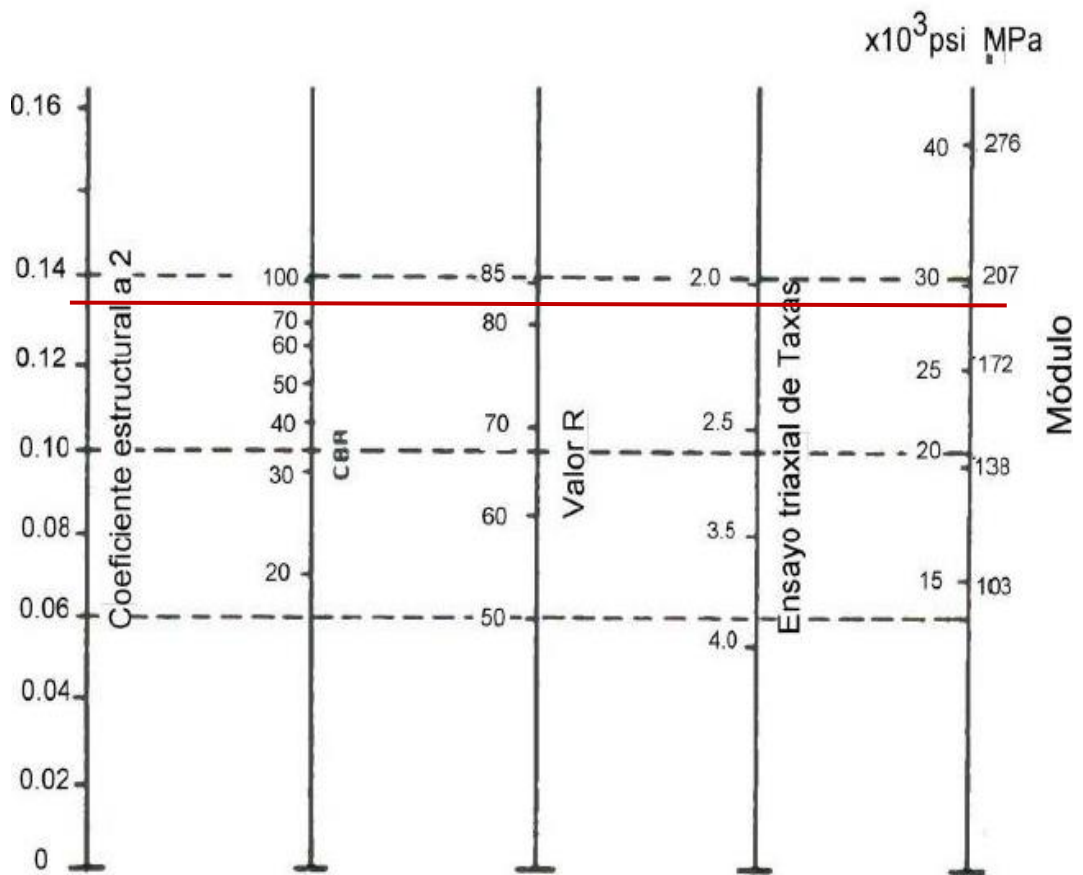


Figura 106. Ábaco para determinación de a_2

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Tabla 58. Determinación de coeficiente estructural de base (a_2)

BASE GRANULAR	
CBR	a_2
50	0.115
55	0.120
60	0.125
70	0.130
80	0.133
90	0.137
100	0.140

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

$$CBR_{\text{Mínimo}} = 80\% \quad a_2 = 0.133 \quad M_{E\text{-Base}} = 28 \text{ Ksi} = 28000 \text{ psi}$$

Coefficiente estructural de subbase (a_3)

La normativa de Diseño Geométrico de Carreteras MOP 2003 indica que el CBR mínimo para subbase granular es superior a 30%.

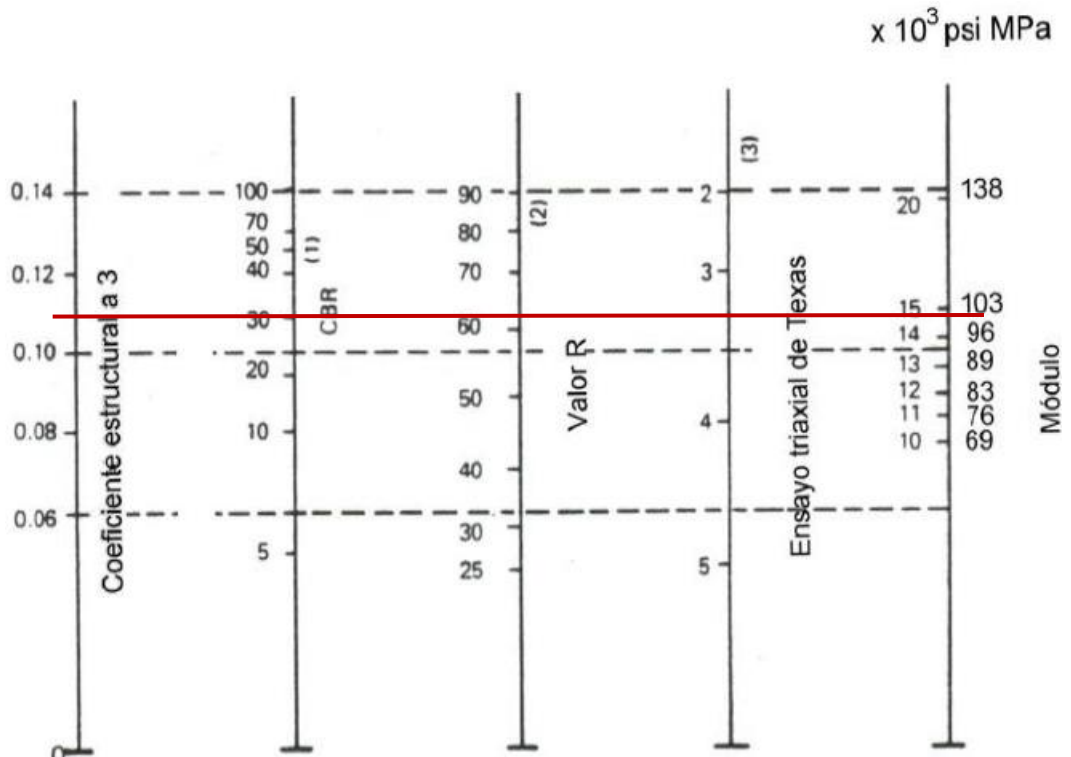


Figura 107. Ábaco para determinación de a_3

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Tabla 59. Determinación de coeficiente estructural de subbase (a_3)

SUBBASE GRANULAR	
CBR	a_3
10	0.080
15	0.090
20	0.093
25	0.102
30	0.108
35	0.115

40	0.120
45	0.125
50	0.128
55	0.130
60	0.135
65	0.138
70	0.14

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

$$CBR_{\text{Mínimo}} = 30\% \quad a_3 = 0.108 \quad M_{E\text{-Subbase}} = 14.8 \text{ Ksi} = 14800 \text{ psi}$$

Coefficientes drenaje m_2 , m_3

Tabla 60. Capacidad y tiempo de drenaje

CAPACIDAD DE DRENAJE	TIEMPO PARA ELIMINAR AGUA
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Deficiente	Agua no drena

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Tabla 61. Capacidad y tiempo de drenaje para coeficientes de drenaje

CAPACIDAD DE DRENAJE	% TIEMPO DE ESTRUCTURA EXPUESTA A HUMEDAD			
	< 1%	Entre 1% - 5%	Entre 5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1,20
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1,00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0,80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0,60
Deficiente	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0,40

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO 93

Diseño de pavimento Flexible con CBR de Calita N°6

Módulo de resiliencia (Mr)

Tabla 62. Módulo de resiliencia a partir de CBR

FÓRMULA	OBSERVACIÓN
$Mr(\text{psi}) = 1500 * \text{CBR}$ para $\text{CBR} < 10\%$	Sugerida por AASHTO
$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$ para CBR entre $7.2\% - 20\%$	Originaria en Sudáfrica
$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln\text{CBR} + 241$	Sugerida por AASHTO para suelos granulares

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO

CBR=7.60%

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$$

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * 7.60^{0.65}$$

$$Mr = 11211.148 \text{ psi} \approx 11211 \text{ psi}$$

$$M_{R-\text{Subrasante}} = 11.21 \text{ Ksi}$$

Tabla 63. Datos de diseño pavimento flexible

DATOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	
Datos de tráfico	
TPDA para el año 2042	821 vehículos
Periodo de diseño	20 años
Número de ejes equivalentes	455070
Tipo de vía	Colectora (Clase III)
Datos para estructura de pavimento flexible	
Índice de servicio inicial ($PSI_{Inicial}$)	4.2
Índice de servicio final (PSI_{Final})	2.0
CBR Subrasante	7.60%
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Z_r)	-1.037
Desviación estándar global (S_o)	0.45
Módulo de resiliencia subrasante ($M_{R-Subrasante}$)	11211 psi = 11.21ksi
Módulo de elasticidad carpeta asfáltica ($M_{E-Carp. Asfáltica}$)	375000 psi = 375 ksi
Módulo de elasticidad base (M_{E-Base})	28000 psi = 28 ksi
Módulo de elasticidad subbase ($M_{E-Subbase}$)	14800 psi = 14.8 ksi
Coefficiente estructural carpeta asfáltica (a_1)	0.405
Coefficiente estructural base (a_2)	0.133
Coefficiente estructural subbase (a_3)	0.108
Coefficientes de drenaje base granular (m_2)	1
Coefficientes de drenaje subbase (m_3)	1

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Para el cálculo del número estructural (SN) correspondiente a la subrasante, se empleó el software “AASHTO 93” para pavimento flexible.

Programa AASHTO 93 (Pavimento flexible)

Ecuación AASHTO 93	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 85 % $Z_r = -1.037$ S_o 0.45
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2	Módulo resiliente de la subrasante Mr 11211 psi
Información adicional para pavimentos rígidos	
Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)	Coficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)	Coficiente de drenaje - (Cd)
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN <input type="radio"/> Calcular W18	Número Estructural
W18 = 455070	SN = 2.46
<input type="button" value="Calcular"/>	<input type="button" value="Salir"/>

Fuente: AASHTO 93

Tabla 64. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: TESIS DE GRADO	TRAMO	: Vía Pedro Fermín Cevallos
SECCION	: km 01+500 a km 3+500	FECHA	: 24/05/2022
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14,80
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			455.070
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			11,21
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,405
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1,000
Subbase (m ₃)			1,000
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})	2,46		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})	1,74		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})	0,48		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})	0,24		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10,9 cm	7,5 cm	1,20
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	9,2 cm	10,0 cm	0,52
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	5,6 cm	18,0 cm	0,77
ESPESOR TOTAL (cm)		35,5 cm	2,48

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Diseño de pavimento Flexible con correlación CBR VS DN

Módulo de resiliencia (Mr)

Tabla 65. Módulo de resiliencia a partir de CBR

FÓRMULA	OBSERVACIÓN
$Mr(\text{psi}) = 1500 * \text{CBR}$ para $\text{CBR} < 10\%$	Sugerida por AASHTO
$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$ para CBR entre $7.2\% - 20\%$	Originaria en Sudáfrica
$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln\text{CBR} + 241$	Sugerida por AASHTO para suelos granulares

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO

CBR = 10.74%

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$$

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * 10.74^{0.65}$$

$$Mr = 14036.99 \text{ psi} \approx 14037 \text{ psi}$$

$$M_{R-\text{Subrasante}} = 14.04 \text{ Ksi}$$

Tabla 66. Datos de diseño pavimento flexible

DATOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	
Datos de tráfico	
TPDA para el año 2042	821 vehículos
Periodo de diseño	20 años
Número de ejes equivalentes	455070
Tipo de vía	Colectora (Clase III)
Datos para estructura de pavimento flexible	
Índice de servicio inicial ($PSI_{Inicial}$)	4.2
Índice de servicio final (PSI_{Final})	2.0
CBR Subrasante	9.74%
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Z_r)	-1.037
Desviación estándar global (S_o)	0.45
Módulo de resiliencia subrasante ($M_{R-Subrasante}$)	14037 psi = 14.037 ksi
Módulo de elasticidad carpeta asfáltica ($M_{E-Carp. Asfáltica}$)	375000 psi = 375 ksi
Módulo de elasticidad base (M_{E-Base})	28000 psi = 28 ksi
Módulo de elasticidad subbase ($M_{E-Subbase}$)	14800 psi = 14.8 ksi
Coefficiente estructural carpeta asfáltica (a_1)	0.405
Coefficiente estructural base (a_2)	0.133
Coefficiente estructural subbase (a_3)	0.108
Coefficientes de drenaje base granular (m_2)	1
Coefficientes de drenaje subbase (m_3)	1

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Para el cálculo del número estructural (SN) correspondiente a la subrasante, se empleó el software “AASHTO 93” para pavimento flexible.

Programa AASHTO 93 (Pavimento flexible)

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
85 % $Z_r = -1.037$ So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo resiliente de la subrasante
Mr 14037 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
 Calcular SN **W18 =**
 Calcular W18

Número Estructural
SN =

Fuente: AASHTO 93

Tabla 67. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993				
PROYECTO	: TESIS DE GRADO		TRAMO	: Vía Pedro Fermín Cevallos
SECCION	: km 01+500 a km 3+500		FECHA	: 24/05/2022
DATOS DE ENTRADA :				
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS	
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375,00	
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00	
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14,80	
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE				
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			455,070	
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%	
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037	
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45	
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			14,04	
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2	
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0	
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20	
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO				
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA				
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,405	
Base granular (a ₂)			0,133	
Subbase (a ₃)			0,108	
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA				
Base granular (m ₂)			1,000	
Subbase (m ₃)			1,000	
DATOS DE SALIDA :				
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REG})		2,27		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,74		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,48		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0,05		
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO				
		PROPUESTA		
	TEORICO	ESPESOR	SN*	
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10,9 cm	7,5 cm	1,20	
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	9,2 cm	10,0 cm	0,52	
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	1,2 cm	13,0 cm	0,55	
ESPESOR TOTAL (cm)		30,5 cm	2,27	

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Diseño de pavimento Flexible con correlación CBR vs Wopt - γ_{dmax}

Módulo de resiliencia (Mr)

Tabla 68. Módulo de resiliencia a partir de CBR

FÓRMULA	OBSERVACIÓN
$Mr(\text{psi}) = 1500 * \text{CBR}$ para $\text{CBR} < 10\%$	Sugerida por AASHTO
$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$ para CBR entre $7.2\% - 20\%$	Originaria en Sudáfrica
$Mr(\text{psi}) = 4326 * \ln\text{CBR} + 241$	Sugerida por AASHTO para suelos granulares

Fuente: Guía para el diseño de pavimento flexible, AASHTO

$$\text{CBR} = 7.47\%$$

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * \text{CBR}^{0.65}$$

$$Mr(\text{psi}) = 3000 * 7.47^{0.65}$$

$$Mr = 11086.122 \text{ psi} \approx 11086 \text{ psi}$$

$$M_{R-\text{Subrasante}} = 11.086 \text{ Ksi}$$

Tabla 69. Datos de diseño pavimento flexible

DATOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE	
Datos de tráfico	
TPDA para el año 2042	821 vehículos
Periodo de diseño	20 años
Número de ejes equivalentes	455070
Tipo de vía	Colectora (Clase III)
Datos para estructura de pavimento flexible	
Índice de servicio inicial ($PSI_{Inicial}$)	4.2
Índice de servicio final (PSI_{Final})	2.0
CBR Subrasante	7.47%
Nivel de confiabilidad (R)	85%
Desviación estándar normal (Z_r)	-1.037
Desviación estándar global (S_o)	0.45
Módulo de resiliencia subrasante ($M_{R-Subrasante}$)	11086 psi = 11.086 ksi
Módulo de elasticidad carpeta asfáltica ($M_{E-Carp. Asfáltica}$)	375000 psi = 375 ksi
Módulo de elasticidad base (M_{E-Base})	28000 psi = 28 ksi
Módulo de elasticidad subbase ($M_{E-Subbase}$)	14800 psi = 14.8 ksi
Coefficiente estructural carpeta asfáltica (a_1)	0.405
Coefficiente estructural base (a_2)	0.133
Coefficiente estructural subbase (a_3)	0.108
Coefficientes de drenaje base granular (m_2)	1
Coefficientes de drenaje subbase (m_3)	1

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Para el cálculo del número estructural (SN) correspondiente a la subrasante, se empleó el software “AASHTO 93” para pavimento flexible.

Programa AASHTO 93 (Pavimento flexible)

Ecuación AASHTO 93	
Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido	Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 85 % $Z_r = -1.037$ S_o 0.45
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial 4.2 PSI final 2	Módulo resiliente de la subrasante M_r 11086 psi
Información adicional para pavimentos rígidos	
Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)	Coefficiente de transmisión de carga - (J)
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)	Coefficiente de drenaje - (Cd)
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN $W_{18} =$ 455070 <input type="radio"/> Calcular W_{18}	Número Estructural $SN =$ 2.47
Calcular	Salir

Fuente: AASHTO 93

Tabla 70. Hoja de cálculo para determinación de espesores de capas para pavimento flexible

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993			
PROYECTO	: TESIS DE GRADO	TRAMO	: Vía Pedro Fermín Cevallos
SECCION	: km 01+500 a km 3+500	FECHA	: 24/05/2022
DATOS DE ENTRADA :			
1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES			DATOS
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			375,00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28,00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14,80
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			455.070
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			85%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-1,037
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0,45
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			11,09
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			4,2
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2,0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a ₁)			0,405
Base granular (a ₂)			0,133
Subbase (a ₃)			0,108
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)			1,000
Subbase (m ₃)			1,000
DATOS DE SALIDA :			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{REQ})		2,47	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN _{CA})		1,74	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN _{BG})		0,48	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN _{SB})		0,25	
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO			
		PROPUESTA	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10,9 cm	7,5 cm	1,20
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	9,2 cm	10,0 cm	0,52
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	5,9 cm	18,0 cm	0,77
ESPESOR TOTAL (cm)		35,5 cm	2,48

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Diseño de pavimento flexible, resumen

Tabla 71. Cuadro resumen diseño de pavimento flexible

RESUMEN DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE		
CBR de subrasante		
CBR de laboratorio	Correlación CBR vs DN	CBR vs Wopt - γ_{dmax}
7.60%	10.74%	7.47%
Resultados de diseño		
SN Mínimo (Número Estructural)		
2.46	2.27	2.47
Espesores de capas		
Carpeta asfáltica 7,5 cm	Carpeta asfáltica 7,5 cm	Carpeta asfáltica 7,5 cm
Base granular 10,0 cm	Base granular 10,0 cm	Base granular 10,0 cm
Subbase granular 18.0 cm	Subbase granular 13.0 cm	Subbase granular 18.0 cm
Espesor Total		
35,5 cm	30,5 cm	35,5 cm
SN Propuesto (Número Estructural)		
2.48	2.27	2.48

Elaborado por: Gallegos Gabriela

3.2. Verificación de Hipótesis

Los coeficientes de correlación presentados en la Tabla 42 para los cantones Ambato, Quero Tisaleo, Mocha y Cevallos, indican que de las 22 correlaciones determinadas la mitad de éstas (11) alcanzó valores de R^2 iguales o superiores al 50% y el restante de correlaciones presentan correspondencias mínimas ($R^2 < 50\%$).

Para el caso del cantón Cevallos los coeficientes de correlación presentados en la Tabla 43, indican que de las 25 correlaciones determinadas 23 alcanzaron valores de R^2 iguales o superiores al 50%. Las correlaciones restantes (2) presentan correspondencias mínimas ($R^2 < 50\%$).

Por consiguiente, existen correlaciones (método de mínimos cuadrados) entre el CBR, propiedades índice y mecánicas tanto para los suelos del Cantón Cevallos (6 muestras) como para las 162 muestras en conjunto de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos. Se acepta la hipótesis alternativa (H_a).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la clasificación SUCS, que 5 de las 6 muestras tomadas para el cantón Cevallos corresponden a suelos de tipo SM–SC, es decir, suelos arenosos con partículas de limos y arcillas. Por otro lado, la muestra restante es del tipo SP, arena pobremente graduada.
- Según el sistema de clasificación AASHTO las 6 muestras entran en el grupo A-2-4 que indica que los suelos son en su mayoría gravas y arenas, limosas o arcillosas. Los dos sistemas indicados, comprueban que la clasificación de los suelos estudiados es de tipo granular.
- Se concluyó, que de las 162 muestras evaluadas de los cantones: Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos, el 52.80% corresponde a suelos tipo SM, el 14,29% es SM-SC, el 10,56% de tipo SP y el 9.94% es SC. El porcentaje restante se divide en SW-SM 1.86%, SP-SM 3.11%, ML 0.62%, ML-CL 0.62%, SW-ML 0.62%, SP-ML 4.34% y SP-CL-ML 1.24%. Por lo tanto, según la clasificación SUCS, la mayoría de las muestras analizadas corresponden a arenas con componentes de limo y arcilla.
- El sistema AASHTO indica que el 93.2% de las muestras analizadas pertenece al grupo A-2-4, el 3.1% está en la categoría A-3 y el 3.7% es de tipo A-4. Bajo esta clasificación los suelos de estudio son, en su mayoría, gravas y arenas limosas o arcillosas.
- La granulometría promedio correspondiente a las 162 muestras de suelo es 0.4% de grava, 82.2% de arena y 17.4% de finos. Con respecto a los suelos del cantón Cevallos el análisis granulométrico indica que el porcentaje de grava es del 0.0%, arena 90.1% y 9.9% de finos. Se concluye que el diámetro predominante de partículas que integran los suelos de los cantones evaluados corresponde a arena entre 0.075 a 2 mm.
- El límite líquido de todas las muestras se encuentra entre 18.2% y 44.5%, por lo tanto, $LL\% < 50\%$. Las muestras de los suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos presentan baja plasticidad, propiedad común de los suelos de naturaleza arenosa.

- Los ensayos de compactación realizados para las 162 muestras indican que los suelos lograron alcanzar una densidad seca máxima entre 1.163 gr/cm³ y 1.860 gr/cm³, el valor más bajo de este parámetro se registró en el cantón Ambato - parroquia San Fernando, por otro lado, el valor más alto corresponde al cantón Quero - parroquia La Matriz. Para el cantón Cevallos los valores de densidad seca máxima oscilan entre 1.521 gr/cm³ y 1.728 gr/cm³.
- El contenido de humedad requerido para alcanzar la densidad seca máxima de las 162 muestras se encuentra entre 8.8% y 31.4%, por lo tanto, dado que los suelos evaluados son de tipo granular se cumple la premisa de que necesitan menor cantidad de agua para alcanzar altas densidades.
- Para el cantón Cevallos el rango de CBR se encuentra entre 7.6% y 35.9%. Los valores de CBR de laboratorio para las 162 muestras se encuentran en el rango de 4.8% a 69.5%. Del número total de datos analizados el 89% alcanzó un CBR entre 10% y 50%. Por lo tanto, los suelos evaluados presentan una resistencia de buena a regular y superan el valor de CBR mínimo para subrasante.
- Dos correlaciones obtenidas a partir de las 162 muestras, con ecuaciones de tipo potencial y exponencial respectivamente, que permiten determinar el valor de CBR, presentaron excelente correlación con un R² igual a 94%.
- Una de estas correlaciones está en función de la humedad óptima y densidad seca máxima. La segunda determina el CBR a partir de la humedad natural y densidad seca de campo.
- La mejor correlación tipo potencial que permite determinar el CBR para las muestras de Cevallos, con un coeficiente R² igual a 93%, es la que involucra la humedad óptima y densidad seca máxima, determinada con un número total de 6 muestras.
- Se concluye que la relación entre las tres variables es alta debido a que para la obtención del CBR en laboratorio es necesario conocer la humedad óptima y densidad seca máxima, variables obtenidas a través del ensayo Proctor Modificado.
- La correlación entre el CBR y DCP obtenida para las muestras del cantón Cevallos es aceptable en base a un coeficiente de correlación R² igual a 81% obtenido con la siguiente ecuación logarítmica $CBR = -32.42 \ln(DN) + 129.48$.

- Las correlaciones que presentaron mayor coeficiente R^2 son aquellas en las que intervienen los parámetros humedad natural, densidad seca de campo, humedad óptima, densidad seca máxima y límite plástico.
- En base a los diseños de pavimento flexible realizados con el CBR de laboratorio (7.6%), el CBR obtenido a partir del índice de penetración DN (10.7%) y el CBR de la correlación en función del contenido de humedad óptimo y densidad seca máxima (7.5%), se concluye que las correlaciones permiten obtener valores de CBR bastante cercanos al CBR de laboratorio.
- Mediante el diseño de pavimento flexible realizado con los valores CBR indicados en el párrafo anterior, se obtuvieron los mismos espesores para cada una de las capas de la estructura del pavimento. Carpeta asfáltica 7.5 cm, base granular 10 cm y subbase granular 18 cm; únicamente para el CBR de la correlación con el DCP se obtuvo un espesor de subbase granular de 13 cm.
- Respecto al número de muestras utilizadas en las correlaciones, se puede concluir que mientras mayor cantidad de datos se utilizaron, el valor de R^2 se redujo, debido a la dispersión de los valores de algunas muestras. Esto implicó que los mejores coeficientes de correlación sean determinados disminuyendo algunos valores de la base de datos.
- Finalmente se puede concluir que el presente trabajo muestra que, aunque la clasificación, plasticidad, granulometría, densidad y resistencia de los suelos analizados indican que son bastante similares, sin embargo, entre mayor es el número de muestras, las diferencias entre una y otra, se marcan significativamente, y por esta razón se obtienen correlaciones más bajas.

RECOMENDACIONES

- Para la realización de las pruebas y ensayos de campo y laboratorio, se recomienda seguir adecuadamente la normativa, de esta manera se evitará errores significativos en los resultados y estos serán más próximos a la realidad.
- La extracción de muestras, de preferencia debe realizarse en una zona en condiciones de terreno natural, para garantizar que la muestra no haya sido afectada o manipulada por procedimientos previos, de haberse dado esto el material de prueba podría arrojar resultados falsos.
- Teniendo en cuenta que los ensayos Proctor Modificado y CBR son unos de los más importantes ya que sus resultados son imprescindibles para el diseño de pavimentos, se recomienda que su realización se realice con la mayor exactitud posible en cuanto a condiciones de humedad, para evitar resultados erróneos significativos.
- Para la utilización de las correlaciones de esta investigación se recomienda tener en cuenta el rango de datos de análisis para cada una de ellas. En el caso de las correlaciones del cantón Cevallos están únicamente destinadas para esta zona.
- Se sugiere realizar un análisis macro de las muestras correspondientes a los cantones Baños, Patate, Pelileo y Píllaro, debido a que están en proceso de finalización, para evaluar diferentes tipos de suelos y sus propiedades.
- Con el fin de acelerar el proceso de diseño y obtención de CBR, se aconseja que el prediseño de pavimento flexible se realice con el CBR resultado de la correlación con el mayor coeficiente R^2 . Un mayor coeficiente de correlación implica una mejor relación entre las variables, por lo tanto, mientras más alto sea este valor será menor el rango de errores importantes.
- El dato de CBR para diseño debe ser determinado en campo, en laboratorio para diseños definitivos de pavimento. Para diseños y estudios preliminares de suelos y pavimentos se pueden utilizar las múltiples correlaciones de esta y otras investigaciones, siempre que se realicen en suelos de similares características a los estudiados.
- Se recomienda realizar investigaciones que permitan obtener el valor de CBR a partir de las diferentes propiedades del suelo, en otros cantones y provincias

del Ecuador, de esta manera se logrará reducir la dificultad de obtención de este parámetro y disminuir tiempos en cuanto a realización de ensayos y procesamiento de datos, lo que significa ahorro económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Abdulsadda, A. T. & Abdul Jaleel, “Predicting CBR Value from Index Properties of Soils using Expert System,” *Glob. J. Res. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 23–28, 2017, [Online]. Available: https://globaljournals.org/GJRE_Volume17/4-Predicting-CBR-Value.pdf.
- [2] I. J. Breytenbach, P. Paige-Green, and J. L. Van Rooy, “The relationship between index testing and California Bearing Ratio values for natural road construction materials in South Africa,” *J. South African Inst. Civ. Eng.*, vol. 52, no. 2, pp. 65–69, 2010.
- [3] T. Al-Refeai and A. Al-Suhaibani, “Prediction of CBR Using Dynamic Cone Penetrometer,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 191–203, 1997, doi: 10.1016/S1018-3639(18)30676-7.
- [4] B. Yildirim and O. Gunaydin, “Estimation of California bearing ratio by using soft computing systems,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 5, pp. 6381–6391, 2011, doi: 10.1016/j.eswa.2010.12.054.
- [5] S. Bhatt, P. K. Jain, and M. Pradesh, “Prediction of California Bearing Ratio of Soils Using Artificial Neural Network,” *Am. Int. J. Res. Sci. Technol. Eng. Math.*, pp. 156–161, 2014.
- [6] E. A. Sandoval Vallejo and W. A. Rivera Mena, “Correlación del CBR con la resistencia a la compresión inconfnada,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 29, no. 1, pp. 135–152, 2019, doi: 10.18359/rcin.3478.
- [7] O. Samson and Q. Ajibola Ibrahim, “Correlation of California Bearing Ratio Value of Clays With Soil Index and Compaction Characteristics,” *Int. J. Sci. Res. Innov. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 2313–3759, 2017.
- [8] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5a ed. México: Limusa S.A., 2004.
- [9] W. D. Holtz, Robert D; Kovacs, *Introduction to geotechnical engineering*. U.S.A, 1981.
- [10] A. D. C. Rico Rodriguez, *La Ingenieria De Los Suelos en las Vias Terrestres*.

- Limusa: EditorialLimusa. S A, 2005.
- [11] E. Juárez Badillo and A. Rico Rodríguez, *Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*, Vol. 1. México: Limusa S.A., 1973.
- [12] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica*, 2da ed. Barcelona, España, 1973.
- [13] B. M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*, no. 1. México: Cengage Learning Editores, S.A., 2013.
- [14] J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*, vol. 91, no. 5. México: LIBROS MCGRAW-HILL DE MEXICO. S.A., 1981.
- [15] L. Gonzales, M. Ferrer, L. Ortuño, and C. Oteo, *Ingeniería Geológica*. Madrid, España, 2002.
- [16] V. González *et al.*, “Evaluación de la calidad de los suelos en cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza,” *Cienc. y Tecnol.*, vol. 12, no. 2, pp. 15–22, 2019, doi: 10.18779/cyt.v12i2.322.
- [17] G. Duque Escobar y C. Escobar, *Mecánica de los Suelos*. Mnizales, Colombia, 2002.
- [18] A. O. Manotoa Santana, “Estudio de la Correlación Entre los Ensayos (DCP) Penetrómetro Dinámico de Cono y (CBR) Relación de Soporte de California en los Diferentes Tipos de Suelos.,” Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [19] L. Bañón Blázquez and J. F. Beviá García, *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*. España: Ortiz e Hi. Alicante, 2000.
- [20] S. Guerrón, “Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear,” Universidad Central del Ecuador, 2013.
- [21] J. A. Jiménez Salas and J. L. De Justo Alpañes, *Geotecnia y Cimientos I*. 1975.
- [22] ASTM D6951, “Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications,” *ASTM Int. West*

Conshohocken, PA., no. June, pp. 1–7, 2003.



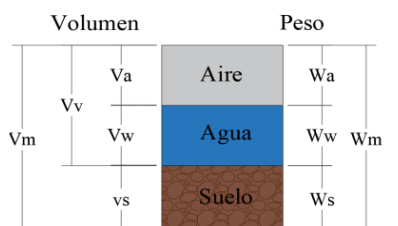
- [23] NEVI-12, *Conservación vial*, Vol 6., vol. 6. 2012.
- [24] F. Viscarra, “El cono dinámico de penetración y su aplicación en la evaluación de suelos,” 2005.
- [25] M. R. Spiegel and L. J. Stephens, *Estadística*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2003.
- [26] C. Martínez Bencardino, *Estadística y Muestreo*, 13^a. Bogotá, 2012.
- [27] Ronald E. Walpole; Raymond H. Myers; Sharon L. MYers; Keying, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, 9na ed. México, 2012.
- [28] J. Espinoza, *Pavimentos*. Bolivia: UMSS, 2004.
- [29] A. Moreno Fonseca, *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, 2da ed., vol. 7, no. 1. Bogotá, 1999.
- [30] J. Monsalve, Lina; Giraldo, Laura; Gaviria, *Diseño de Pavimento Flexible y Rígido*. Armenia, 2012.
- [31] J. Coronado, *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala, 2002.
- [32] J. Menéndez, “Ingeniería de pavimentos: Materiales, Diseño y Conservación.” Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima, p. 112, 2009.
- [33] J. C. C. LLumitasig, “Correlación entre el CBR y las propiedades índice y mecánicas en suelos granulares, de las parroquias: Constantino Fernández y Pinllo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [34] I. Lexa, D. Pineda, I. Jorge, and E. Suárez, “Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos Development of a GIS oriented to agro-ecological zoning of the crops,” *Rev. Ing. agrícola*, vol. 4, no. 3, pp. 28–32, 2014, [Online]. Available: http://dima.chapingo.mx/revista/Vol_4_n_3_2014/pdf/IA-3-05-2014.pdf.
- [35] ESRI.COM, “Georreferenciación y sistemas de coordenadas,” *ArcGIS*

Resources, 2019. <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000s000000.htm>.

ANEXOS


A. Ensayos realizados

Tabla 72. Densidad de campo muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
N° Muestra:	1		
Provincia:	Tungurahua		
Cantón:	Cevallos		
Parroquia:	Cevallos		
Vía:	Vía España		
Coordenada norte:	9850666.89		
Coordenada este:	765181.73		
Esayado por:	Gabriela Gallegos		
Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)		
Norma:	AASHTO T 191 2014		
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"			
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	2711,00		
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65		
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	2707,35		
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)			
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5850,00		
Peso final de frasco + cono + arena. gr	1500,00		
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00		
Peso de arena en el agujero. gr	2721,00		
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γ_{Sand}). gr/cm ³	1,582		
Volumen de agujero (Vm). cm ³	1719,97		
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)			
Número de recipiente	43 88 96		
Peso recipiente en gr	32,35 32,61 31,45		
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	110,68 111,14 109,98		
Peso suelo seco + recipiente en gr	107,87 108,30 107,23		
Peso de agua (Ww) en gr	2,81 2,84 2,75		
Peso de los sólidos (Ws) en gr	75,52 75,69 75,78		
Contenido de humedad (W%)	3,72 3,75 3,63		
Contenido de humedad promedio en %	3,70		
Determinación de fases del suelo			
Esquema de masa de suelo	Proporciones		
	Volumenes (cm ³)		
	Va	638,18	
	Vw	96,61	
	Vv	734,79	
	Vs	985,18	
	Vm	1719,97	
	Pesos (gr)	Wa	0,00
Ww	96,61		
Ws	2610,74		
Wm	2707,35		
Gravedad específica para suelos friccionantes ($G_s = 2,65$)			
Propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,574	gr/cm ³
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m / (1 + (w\%/100))$	1,518	gr/cm ³
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	3,70	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,75	
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m) * 100$	42,72	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v) * 100$	13,15	%
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v) * 100$	86,85	%

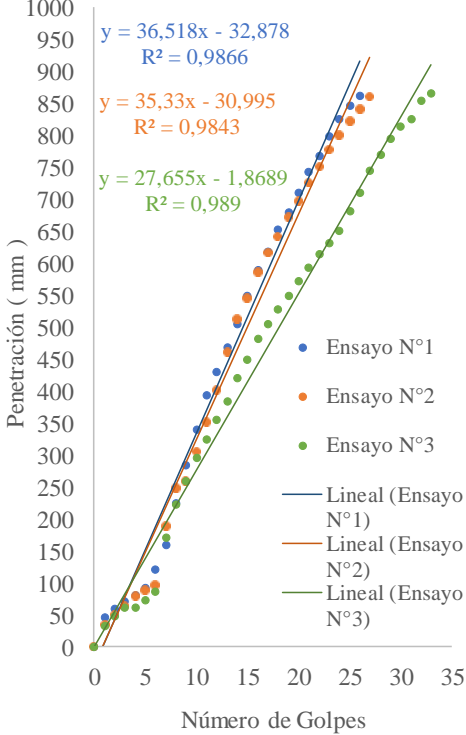
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 73. DCP muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
N° Muestra:	1		
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850666.89
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765181.73
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)		
Norma:	ASTM D 6951 - 03		



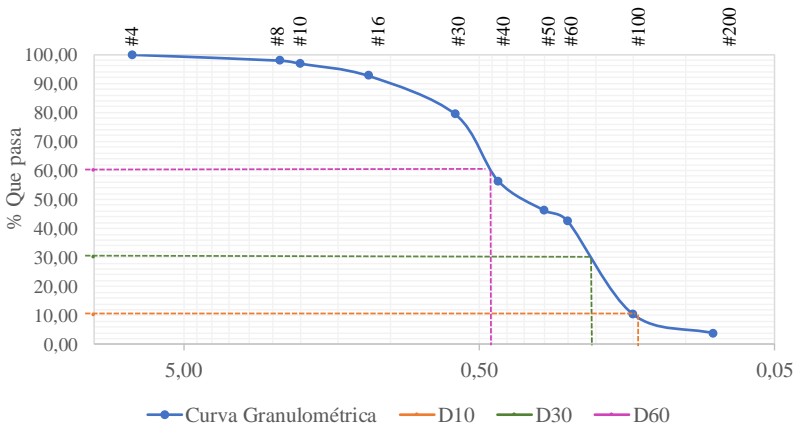
# Golpes	Penetración (mm)			DN		DN
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	mm/golpe		Promedio
0	0	0	0	N° 1	36,51	32,5
1	46	35	34	N° 2	35,33	
2	59	51	48	N° 3	25,66	
3	71	64	62			
4	81	79	62			
5	92	89	74			
6	121	97	87			
7	159	189	171			
8	225	249	223			
9	285	260	259			
10	341	306	296			
11	394	352	324			
12	431	401	356			
13	469	462	385			
14	506	514	421			
15	550	545	450			
16	589	586	482			
17	619	617	506			
18	653	641	529			
19	681	672	550			
20	711	698	572			
21	744	726	594			
22	768	752	614			
23	799	778	633			
24	826	801	651			
25	847	822	683			
26	863	841	711			
27		860	746			
28			771			
29			796			
30			814			
31			826			
32			855			
33			866			

PENETRACIÓN VS NÚMERO DE GOLPES





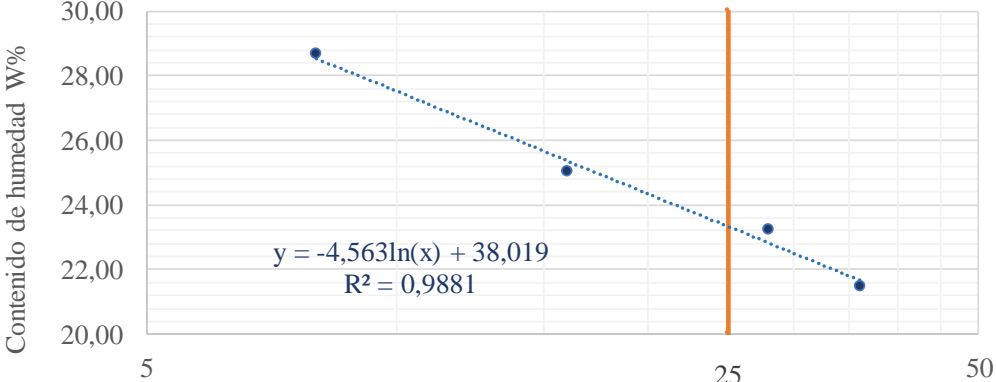
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 74. Análisis granulométrico muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	1					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850666.89			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765181.73			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	5,03	5,03	2,01	97,99	2,01
#10	2,00	2,81	7,84	3,14	96,86	1,12
#16	1,18	10,46	18,30	7,32	92,68	4,18
#30	0,60	33,21	51,51	20,60	79,40	13,28
#40	0,43	57,32	108,83	43,53	56,47	22,93
#50	0,30	25,60	134,43	53,77	46,23	10,24
#60	0,25	9,19	143,62	57,45	42,55	3,68
#100	0,15	80,34	223,96	89,58	10,42	32,14
#200	0,08	16,43	240,39	96,16	3,84	6,57
Pasa #200		8,75	249,14	3,50	96,50	3,50
Peso total (gr)		249,14	Peso Inicial (gr)	250,00		99,66
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
# Tamiz						
						
—●— Curva Granulométrica — — — D10 — — — D30 — — — D60						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,146	Grava (%)	0,00		
Equiparable (mm)	D30	0,211	Arena (%)	96,16		
Dimensional (mm)	D60	0,320	Finos (%)	3,84		
Coeficiente de Uniformidad						
Cu			2,19			
Coeficiente de Curvatura						
Cc			0,95			

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 75. Límites de Atterberg muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
TESIS DE GRADO								
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	1							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850666.89					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765181.73					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec. + Suelo húm.	Peso Rec. + Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
62	8	11,03	26,16	22,79	3,37	11,76	28,66	28,65
33A		11,08	27,07	23,51	3,56	12,43	28,64	
14A	16	11,11	27,70	24,12	3,58	13,01	27,49	25,02
75		10,87	26,95	23,99	2,96	13,12	22,56	
76	28	11,41	20,26	18,59	1,67	7,19	23,30	23,23
2		10,92	19,13	17,59	1,54	6,67	23,16	
6E	36	10,70	25,15	23,39	1,76	12,69	13,87	21,48
39		11,68	24,86	21,89	2,97	10,21	29,10	
Gráfica								
LÍMITE LÍQUIDO								
 <p>Contenido de humedad W%</p> <p>Número de Golpes</p> <p>$y = -4,563\ln(x) + 38,019$ $R^2 = 0,9881$</p> <p>● Puntos de LL — 25 Golpes Logarítmica (Puntos de LL)</p>								

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Peso Rec.+Suelo	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
Ps4M	10,66	13,25	12,94	0,30	2,28	13,20	22,59
2EI	10,63	12,73	12,31	0,42	1,68	25,04	
11A	10,68	13,35	12,80	0,56	2,12	26,25	
2	10,52	12,95	12,46	0,49	1,94	25,31	
104	10,70	13,48	12,96	0,52	2,26	23,14	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			23,33	SUCS	SP (Suelo arenoso pobremente graduado)		
Límite Plástico (LP) %			22,59				
Índice de Plasticidad (IP) %			0,74	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-0,30				



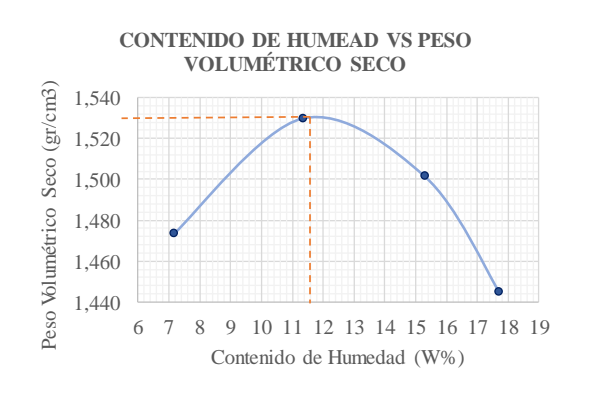
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 76. Gravedad específica muestra 1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	1			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850666.89	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765181.73	
Parroquia:	Cevallos	Elaborado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)			
Norma:	AASHTO T 100 2015			
Determinación de desplazamiento de agua				
Número de muestra	1			
Número de picnómetro	Pg		S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw		671,20	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws		698,80	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		21,00	
Factor de corrección por temperatura	K		0,998	
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		16,72	
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)				
Número de recipiente	24			
Peso recipiente	Wrecip		59,92	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws		104,24	
Peso suelo seco	Ws		44,32	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,645	
Nota: Todos los pesos estan en gramos.				



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 77. Proctor muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
Nº Muestra:	1
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	Vía España
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)
Norma:	AASHTO T 180 2018
Especificaciones técnicas	
Tipo	56
#Capas	5
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180
Datos de molde	
Diámetro	15,24 cm
Altura	11,52 cm
Vol. Molde	2101,42 cm3
Peso Molde	18342 gr
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γm)	
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000
Ensayo	#1
Humedad inicial añadida	5%
Peso molde+suelo húm. gr	21661
Peso suelo húmedo Wm. gr	3319
Peso unitario húmedo (γm). gr/cm3	1,579
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γd)	
Número de recipiente	97
Peso recip. gr	33,18
Peso suelo húm + recip. gr	103,56
Peso suelo seco + recip. gr	99,02
Peso de agua (Ww). gr	4,54
Peso sólidos (Ws). gr	65,84
Cont. de humedad (W%)	6,90
Cont. humedad promedio %	7,18
Peso volumétrico seco (γd). gr/cm3	1,474
Gráfica	
	Contenido de Humedad óptimo (Wop%) 11,80 % Densidad Seca Máxima (γdmax) 1,532 gr/cm3
Comentario	
El material de la muestra 1 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,532 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 11,80%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.	

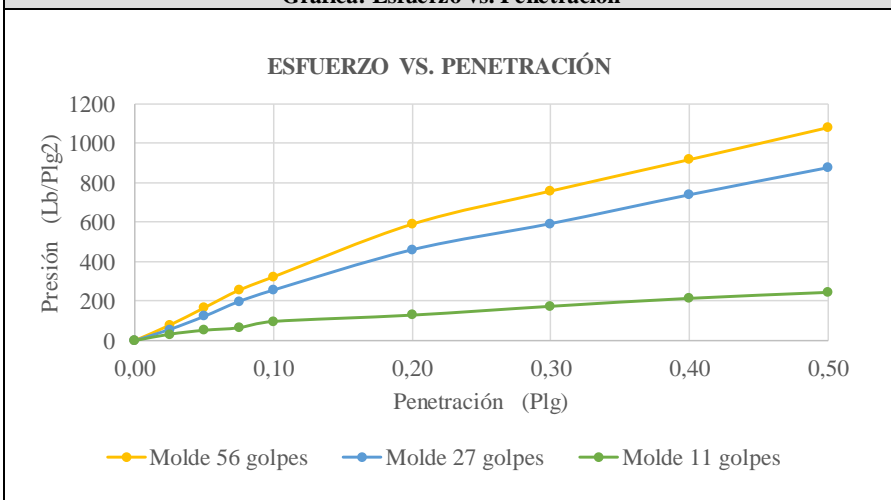
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 78. CBR muestra 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	1					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:		9850666.89		
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:		765181.73		
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:		Gabriela Gallegos		
Vía:	Vía España	Revisado por:		Ing. Favio Portilla		
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)					
Norma:	AASHTO T 193 2013					
Especificaciones técnicas						
Altura de caída	18"	Ensayo Proctor		Modificado Tipo B		
Peso de martillo	10 lb	Cont. Hum. Óptimo		11,8 %		
Datos de molde						
Molde	#5	#7	#1			
Altura. cm	11,11	10,04	11,05			
Diámetro. cm	15,71	15,61	15,98			
Volumen. cm ³	2153,56	1921,45	2216,18			
Peso. gr	7937	8217	9634			
Datos para compactación						
Peso inicial. gr	6000,00	6000,00	6000,00			
# Capas	5	5	5			
# Golpes	56	27	11			
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)						
Peso molde+suelo húm. gr	11919,00	11728,00	13349,00			
Peso suelo húmedo Wm. gr	3982,00	3511,00	3715,00			
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm ³	1,85	1,83	1,68			
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)						
Número de recipiente	17	8	37	20	02B	40
Peso recip. gr	26	26,73	25,99	24,68	24,03	24,05
Peso suelo húm + recip. gr	105,75	141,43	105,66	119,56	109,65	104,73
Peso suelo seco + recip. gr	94,15	128,73	92,94	107,06	87,28	92,52
Peso de agua (Ww). gr	11,60	12,70	12,72	12,50	22,37	12,21
Peso sólidos (Ws). gr	68,15	102,00	66,95	82,38	63,25	68,47
Cont. de humedad (W%)	17,02	12,45	19,00	15,17	35,37	17,83
Cont. humedad promedio %	14,74		17,09		26,60	
Peso volumétrico seco (γ_d).	1,612		1,561		1,324	
Parámetros luego de saturación						
Peso molde+suelo húm. gr	12115,00		11961,00		13701,00	
Peso suelo húmedo Wm. gr	4178,00		3744,00		4067,00	
Agua absorbida por masa	196,00		233,00		352,00	
Agua absorbida. %	4,92		6,64		9,48	
Determinación de contenido de humedad luego de saturación						
Número de recipiente	1	84	98	4	42	95
	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo
Peso recip. gr	31,53	32,44	32,72	31,99	31,74	33,39
Peso suelo húm + recip. gr	167,63	174,01	192,21	196,75	169,34	171,8
Peso suelo seco + recip. gr	141,58	151,80	161,19	169,21	141,57	145,21
Peso de agua (Ww). gr	26,05	22,21	31,02	27,54	27,77	26,59
Peso sólidos (Ws). gr	110,05	119,36	128,47	137,22	109,83	111,82
Cont. de humedad (W%)	23,67	18,61	24,15	20,07	25,28	23,78
Cont. humedad promedio %	21,14		22,11		24,53	

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#5		#7		#1	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	233,20	77,73	168,30	56,10	96,30	32,10
0,0500	498,30	166,10	368,30	122,77	156,60	52,20
0,0750	765,10	255,03	593,60	197,87	193,80	64,60
0,1000	968,80	322,93	768,30	256,10	289,80	96,60
0,2000	1768,90	589,63	1380,90	460,30	385,20	128,40
0,3000	2272,60	757,53	1778,70	592,90	518,60	172,87
0,4000	2750,10	916,70	2216,40	738,80	638,90	212,97
0,5000	3236,50	1078,83	2628,80	876,27	729,30	243,10

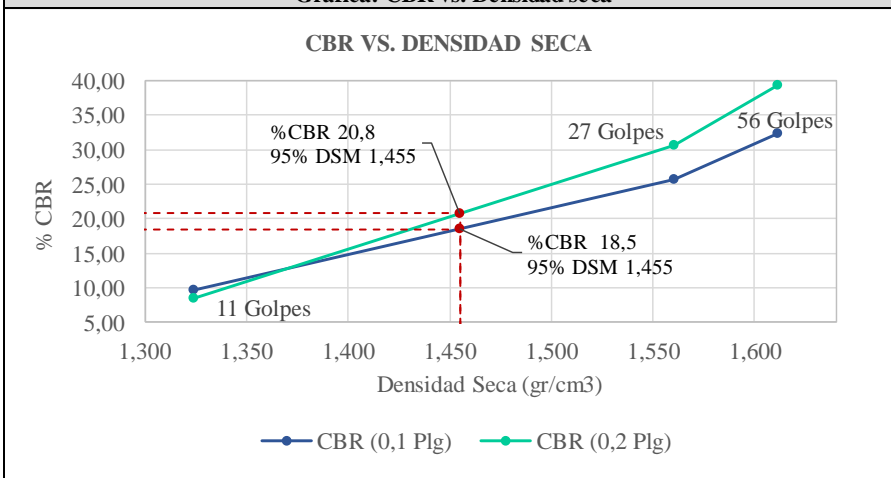
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#5 (56 Golpes)	322,93	32,29	1,612	589,63	39,31	1,612
#7 (27 Golpes)	256,10	25,61	1,561	460,30	30,69	1,561
#1 (11 Golpes)	96,60	9,66	1,324	128,40	8,56	1,324

Gráfica: CBR vs. Densidad seca



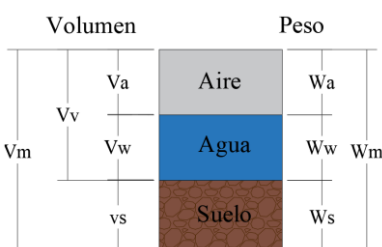


Resultados

Densidad Seca máxima	1,532 gr/cm ³	
DSM (95%)	%CBR (0,1 Plg)	%CBR (0,2 Plg)
1,455	18,5	20,8



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 79. Densidad de campo muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	2			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04	
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
Norma:	AASHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"				
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	2555,00			
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65			
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	2551,35			
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)				
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5780,00			
Peso final de frasco + cono + arena. gr	1500,00			
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00			
Peso de arena en el agujero. gr	2651,00			
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γSand). gr/cm ³	1,582			
Volumen de agujero (Vm). cm ³	1675,73			
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)				
Número de recipiente	100	83	102	
Peso recipiente en gr	30,31	32,32	32,23	
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	89,75	93,39	90,43	
Peso suelo seco + recipiente en gr	83,69	87,36	84,54	
Peso de agua (Ww) en gr	6,06	6,03	5,89	
Peso de los sólidos (Ws) en gr	53,38	55,04	52,31	
Contenido de humedad (W%)	11,35	10,96	11,26	
Contenido de humedad promedio en %	11,19			
Determinación de fases del suelo				
Esquema de masa de suelo		Proporciones		
		Volumenes (cm ³)	Va	553,09
			Vw	256,75
			Vv	809,84
			Vs	865,89
			Vm	1675,73
		Pesos (gr)	Wa	0,00
			Ww	256,75
			Ws	2294,60
			Wm	2551,35
			Gravedad específica para suelos friccionantes (Gs = 2,65)	
Propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,523	gr/cm ³	
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m/(1+(w\%/100))$	1,369	gr/cm ³	
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	11,19	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,94		
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m)*100$	48,33	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v)*100$	31,70	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v)*100$	68,30	%	

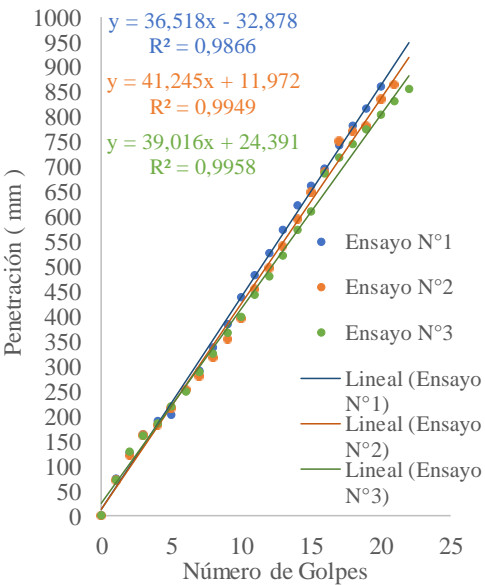
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 80. DCP muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
N° Muestra:	2		
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)		
Norma:	ASTM D 6951 - 03		



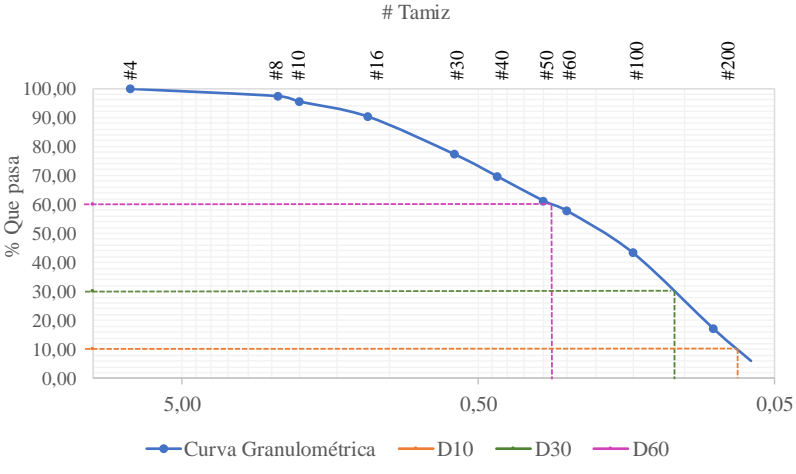
# Golpes	Penetración (mm)			DN		DN Promedio
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	mm/golpe		
0	0	0	0	N° 1	36,51	38,96
1	74	71	71	N° 2	41,25	
2	126	122	129	N° 3	39,12	
3	164	163	161			
4	189	182	186			
5	201	217	220			
6	252	253	249			
7	291	281	288			
8	338	317	324			
9	384	354	366			
10	437	396	399			
11	482	455	443			
12	526	497	479			
13	574	542	522			
14	621	595	574			
15	661	649	610			
16	696	691	686			
17	743	751	717			
18	781	772	744			
19	816	781	775			
20	861	836	804			
21		866	831			
22			854			

PENETRACIÓN VS NÚMERO DE GOLPES





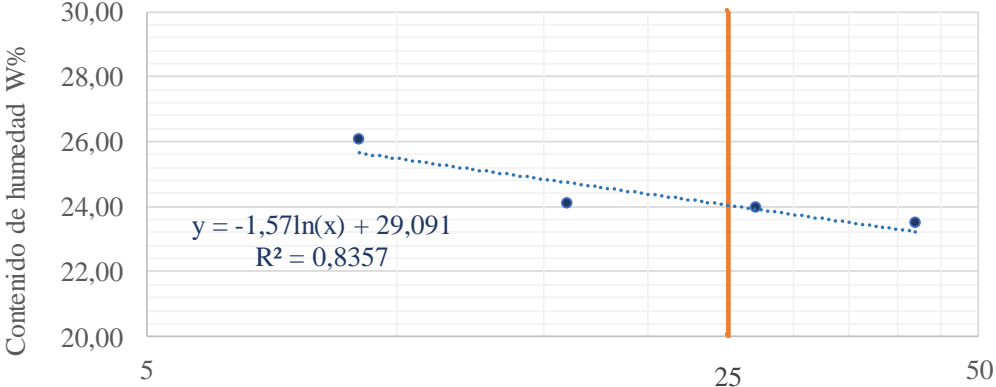
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 81. Análisis granulométrico muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	2					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	6,33	6,33	2,53	97,47	2,53
#10	2,00	4,75	11,08	4,43	95,57	1,90
#16	1,18	12,86	23,94	9,58	90,42	5,14
#30	0,60	32,69	56,63	22,65	77,35	13,08
#40	0,43	19,11	75,74	30,30	69,70	7,64
#50	0,30	21,19	96,93	38,77	61,23	8,48
#60	0,25	8,68	105,61	42,24	57,76	3,47
#100	0,15	36,16	141,77	56,71	43,29	14,46
#200	0,08	65,83	207,60	83,04	16,96	26,33
Pasa #200		41,39	248,99	16,56	83,44	16,56
Peso total (gr)		248,99		Peso Inicial (gr)	250,00	99,60
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,047	Grava (%)	0,00		
Equiparable (mm)	D30	0,115	Arena (%)	83,04		
Dimensional (mm)	D60	0,281	Finos (%)	16,96		
Coeficiente de Uniformidad						
Cu		5,98				
Coeficiente de Curvatura						
Cc		1,00				

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 82. Límites de Atterberg muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
TESIS DE GRADO								
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	2							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec. + Suelo húm.	Peso Rec. + Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
67A	9	11,34	29,56	25,79	3,78	14,45	26,14	26,05
39		11,68	30,01	26,23	3,78	14,55	25,95	
10I	16	11,47	19,65	18,06	1,59	6,59	24,08	24,09
17		11,28	18,72	17,28	1,44	5,99	24,09	
25I	27	10,85	24,22	21,64	2,58	10,79	23,95	23,93
74		11,53	25,97	23,18	2,79	11,65	23,91	
07AE	42	11,00	23,33	20,97	2,36	9,97	23,66	23,46
79		11,42	23,66	21,35	2,31	9,93	23,25	
Gráfica								
LÍMITE LÍQUIDO								
 <p style="text-align: center;"> $y = -1,57\ln(x) + 29,091$ $R^2 = 0,8357$ </p> <p style="text-align: center;"> ● Puntos de LL — 25 Golpes ⋯ Logarítmica (Puntos de LL) </p>								

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Peso Rec.+Suelo	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
6E	10,70	14,12	13,45	0,67	2,74	24,56	23,92
10	10,76	14,24	13,55	0,70	2,78	24,98	
P7	10,65	13,33	12,83	0,50	2,18	23,11	
73	10,59	13,93	13,29	0,64	2,70	23,89	
3B	10,71	13,50	12,97	0,52	2,26	23,08	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			24,04	SUCS	SM, SC (Suelo arenoso con limos o arcillas)		
Límite Plástico (LP) %			23,92				
Índice de Plasticidad (IP) %			0,12	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-2,05				




Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 83. Gravedad específica muestra 2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	2			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04	
Parroquia:	Cevallos	Elaborado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)			
Norma:	AASHTO T 100 2015			
Determinación de desplazamiento de agua				
Número de muestra	2			
Número de picnómetro	Pg		S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw		671,50	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws		698,70	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		24,00	
Factor de corrección por temperatura	K		0,9973	
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		16,32	
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)				
Número de recipiente	24			
Peso recipiente	Wrecip		62,86	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws		106,38	
Peso suelo seco	Ws		43,52	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,659	
Nota: Todos los pesos estan en gramos.				



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 84. Proctor muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
Nº Muestra:	2
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	Vía España
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)
Norma:	AASHTO T 180 2018
Especificaciones técnicas	
Tipo	56
#Capas	5
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180
Datos de molde	
Diámetro	15,24 cm
Altura	11,52 cm
Vol. Molde	2101,42 cm3
Peso Molde	18342 gr
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γm)	
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000
Ensayo	#1
Humedad inicial añadida	6%
Peso molde+suelo húm. gr	21820
Peso suelo húmedo Wm. gr	3478
Peso unitario húmedo (γm). gr/cm3	1,655
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γd)	
Número de recipiente	97
Peso recip. gr	33,22
Peso suelo húm + recip. gr	128,02
Peso suelo seco + recip. gr	122,75
Peso de agua (Ww). gr	5,27
Peso sólidos (Ws). gr	89,53
Cont. de humedad (W%)	5,89
Cont. humedad promedio %	6,12
Peso volumétrico seco (γd). gr/cm3	1,560
Gráfica	
	Contenido de Humedad óptimo (Wop%) 15,20 % Densidad Seca Máxima (γdmax) 1,521 gr/cm3
Comentario	
El material de la muestra 2 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,521 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 15,20%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.	

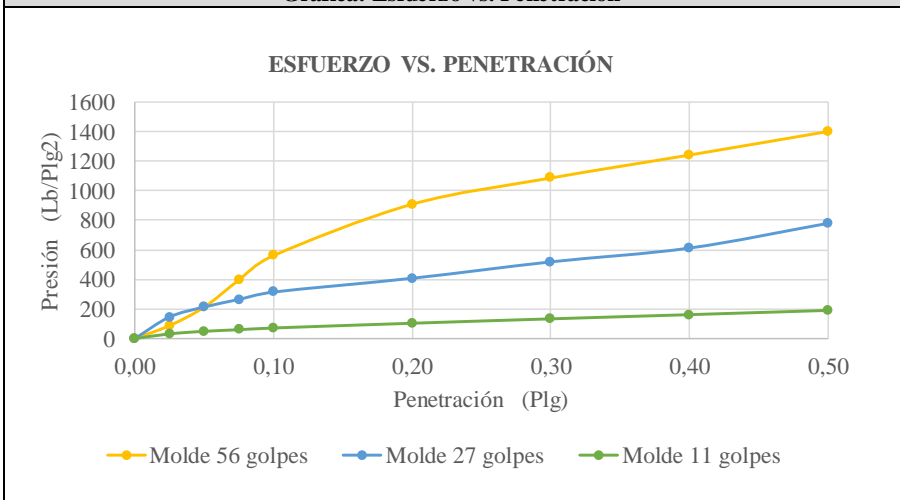
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 85. CBR muestra 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	2					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850297.51			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765313.04			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Vía España	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)					
Norma:	AASHTO T 193 2013					
Especificaciones técnicas						
Altura de caída	18"	Ensayo Proctor	Modificado Tipo B			
Peso de martillo	10 lb	Cont. Hum. Óptimo	15,2 %			
Datos de molde						
Molde	#4	#2	#9			
Altura. cm	11,77	12,64	11,42			
Diámetro. cm	15,23	15,16	15,31			
Volumen. cm ³	2144,20	2281,58	2102,36			
Peso. gr	7997	9304	9559			
Datos para compactación						
Peso inicial. gr	6000,00	6000,00	6000,00			
# Capas	5	5	5			
# Golpes	56	27	11			
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)						
Peso molde+suelo húm. gr	11965,00	13420,00	13069,00			
Peso suelo húmedo W _m . gr	3968,00	4116,00	3510,00			
Peso unitario húmedo (γ _m). gr/cm ³	1,85	1,80	1,67			
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)						
Número de recipiente	45	42	19	01C	18	24
Peso recip. gr	23,48	24,85	26,5	23,77	25,74	24,18
Peso suelo húm + recip. gr	112,76	112,71	119,1	119,45	124,1	124,77
Peso suelo seco + recip. gr	99,02	100,23	106,18	105,48	109,44	110,33
Peso de agua (W _w). gr	13,74	12,48	12,92	13,97	14,66	14,44
Peso sólidos (W _s). gr	75,54	75,38	79,68	81,71	83,70	86,15
Cont. de humedad (W%)	18,19	16,56	16,21	17,10	17,51	16,76
Cont. humedad promedio %	17,37		16,66		17,14	
Peso volumétrico seco (γ _d).	1,577		1,546		1,425	
Parámetros luego de saturación						
Peso molde+suelo húm. gr	12052,00		13576,00		13330,00	
Peso suelo húmedo W _m . gr	4055,00		4272,00		3771,00	
Agua absorbida por masa	87,00		156,00		261,00	
Agua absorbida. %	2,19		3,79		7,44	
Determinación de contenido de humedad luego de saturación						
Número de recipiente	40	17	30	45	42	13
	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo
Peso recip. gr	24,07	24,73	24,28	23,48	24,83	22,72
Peso suelo húm + recip. gr	115,4	125,52	153,55	149,83	144,81	147,96
Peso suelo seco + recip. gr	100,2	107,11	129,51	129,06	121,14	121,98
Peso de agua (W _w). gr	15,20	18,41	24,04	20,77	23,67	25,98
Peso sólidos (W _s). gr	76,13	82,38	105,23	105,58	96,31	99,26
Cont. de humedad (W%)	19,97	22,35	22,85	19,67	24,58	26,17
Cont. humedad promedio %	21,16		21,26		25,38	

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#4		#2		#9	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	263,80	87,93	438,00	146,00	96,10	32,03
0,0500	638,60	212,87	640,80	213,60	148,80	49,60
0,0750	1190,30	396,77	793,60	264,53	180,90	60,30
0,1000	1688,20	562,73	943,80	314,60	216,60	72,20
0,2000	2732,60	910,87	1223,90	407,97	313,30	104,43
0,3000	3265,80	1088,60	1556,20	518,73	402,80	134,27
0,4000	3733,40	1244,47	1836,60	612,20	488,30	162,77
0,5000	4212,50	1404,17	2338,90	779,63	575,60	191,87

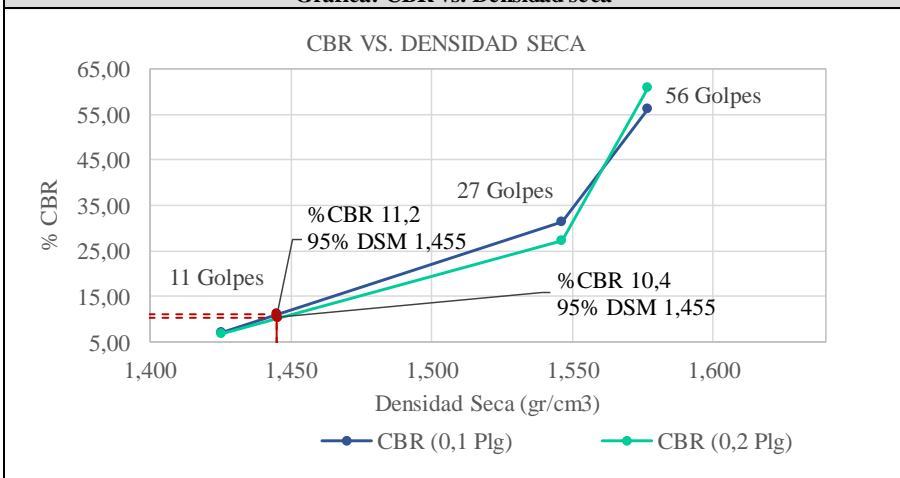
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#4 (56 Golpes)	562,73	56,27	1,577	910,87	60,72	1,577
#2 (27 Golpes)	314,60	31,46	1,546	407,97	27,20	1,546
#9 (11 Golpes)	72,20	7,22	1,425	104,43	6,96	1,425

Gráfica: CBR vs. Densidad seca



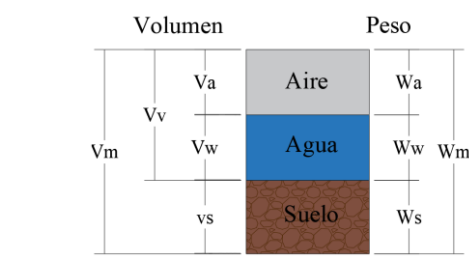


Resultados

Densidad Seca máxima	1,521	gr/cm ³
DSM (95%)	%CBR (0,1 Plg)	%CBR (0,2 Plg)
1,445	11,2	10,4



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 86. Densidad de campo muestra 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
Nº Muestra:	3		
Provincia:	Tungurahua		
Cantón:	Cevallos		
Parroquia:	Cevallos		
Vía:	13 de Mayo		
Coordenada norte:	9849826.87		
Coordenada este:	765105.31		
Esayado por:	Gabriela Gallegos		
Revisado por:	Ing. Favio Portilla		
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)		
Norma:	AASHTO T 191 2014		
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"			
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	2655,00		
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65		
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	2651,35		
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)			
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5750,00		
Peso final de frasco + cono + arena. gr	1500,00		
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00		
Peso de arena en el agujero. gr	2621,00		
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γ_{Sand}). gr/cm ³	1,582		
Volumen de agujero (Vm). cm ³	1656,76		
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)			
Número de recipiente	30 84 8		
Peso recipiente en gr	33,47 32,43 31,64		
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	101,28 102,53 103,65		
Peso suelo seco + recipiente en gr	96,22 97,08 98,17		
Peso de agua (Ww) en gr	5,06 5,45 5,48		
Peso de los sólidos (Ws) en gr	62,75 64,65 66,53		
Contenido de humedad (W%)	8,06 8,43 8,24		
Contenido de humedad promedio en %	8,24		
Determinación de fases del suelo			
Esquema de masa de suelo	Proporciones		
	Volumenes (cm ³)		
	Va	530,53	
	Vw	201,92	
	Vv	732,45	
	Vs	924,31	
	Vm	1656,76	
	Pesos (gr)		
	Wa	0,00	
	Ww	201,92	
	Ws	2449,43	
Wm	2651,35		
Gravedad específica para suelos friccionantes ($G_s = 2,65$)			
Propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,600	gr/cm ³
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m/(1+(w\%/100))$	1,478	gr/cm ³
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	8,24	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,79	
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m)*100$	44,21	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v)*100$	27,57	%
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v)*100$	72,43	%

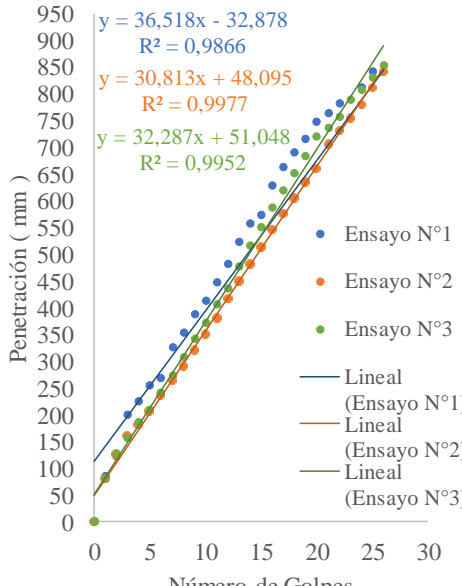
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 87. DCP muestra 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
N° Muestra:	3		
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849826.87
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765105.31
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)		
Norma:	ASTM D 6951 - 03		

# Golpes	Penetración (mm)			DN		DN
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	mm/golpe		Promedio
0	0	0	0	N° 1	36,52	33,21
1	86	80	80	N° 2	30,81	
2	121	127	127	N° 3	32,29	
3	199	161	156			
4	225	181	186			
5	254	207	210			
6	268	236	241			
7	326	265	273			
8	353	292	308			
9	388	321	341			
10	414	352	372			
11	447	382	405			
12	482	417	437			
13	524	450	476			
14	558	482	516			
15	574	513	551			
16	628	546	588			
17	663	575	620			
18	691	606	651			
19	715	635	683			
20	747	661	721			
21	764	706	735			
22	781	731	756			
23	195	755	789			
24	811	780	807			
25	842	812	830			
26		841	852			

PENETRACIÓN VS NÚMERO DE GOLPES



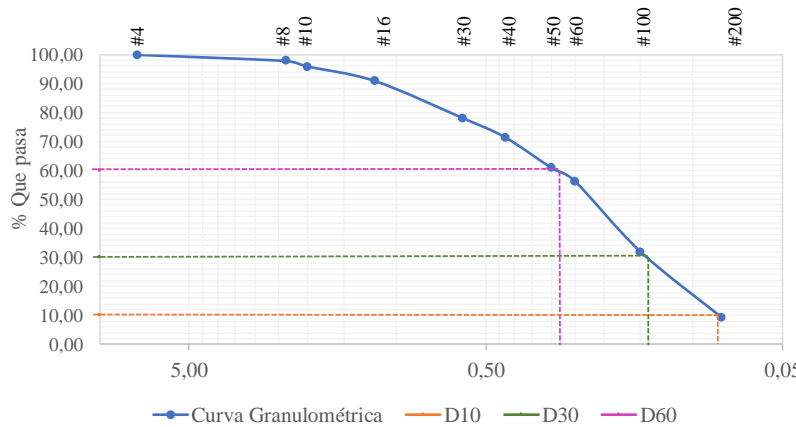


$y = 36,518x - 32,878$
 $R^2 = 0,9866$
 $y = 30,813x + 48,095$
 $R^2 = 0,9977$
 $y = 32,287x + 51,048$
 $R^2 = 0,9952$

● Ensayo N°1
● Ensayo N°2
● Ensayo N°3
— Lineal (Ensayo N°1)
— Lineal (Ensayo N°2)
— Lineal (Ensayo N°3)



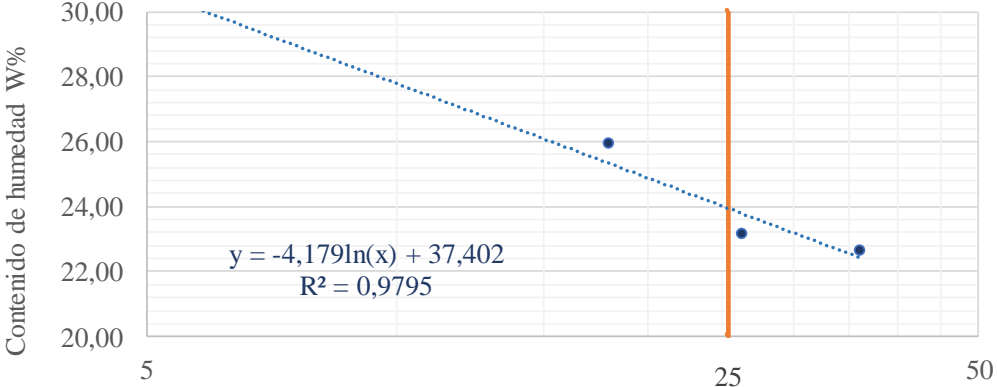
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 88. Análisis granulométrico muestra 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	3					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849826.87			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765105.31			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	5,36	5,36	2,14	97,86	2,14
#10	2,00	4,68	10,04	4,02	95,98	1,87
#16	1,18	12,59	22,63	9,05	90,95	5,04
#30	0,60	31,78	54,41	21,76	78,24	12,71
#40	0,43	16,77	71,18	28,47	71,53	6,71
#50	0,30	26,37	97,55	39,02	60,98	10,55
#60	0,25	11,48	109,03	43,61	56,39	4,59
#100	0,15	61,09	170,12	68,05	31,95	24,44
#200	0,08	56,51	226,63	90,65	9,35	22,60
Pasa #200		21,46	248,09	8,58	91,42	8,58
Peso total (gr)		248,09		Peso Inicial (gr)	250,00	99,24
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
# Tamiz						
						
—●— Curva Granulométrica — — — D10 — — — D30 — — — D60						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,082	Grava (%)	0,00		
Equiparable (mm)	D30	0,144	Arena (%)	90,65		
Dimensional (mm)	D60	0,289	Finos (%)	9,35		
Coeficiente de Uniformidad						
Cu			3,52			
Coeficiente de Curvatura						
Cc			0,88			

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 89. Límites de Atterberg muestra 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
				TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	3							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849826.87					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765105.31					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec.+Suelo húm.	Peso Rec.+Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
37	5	11,37	19,60	17,66	1,94	6,30	30,81	30,59
73		11,19	17,84	16,29	1,55	5,11	30,36	
40	18	11,10	19,55	17,81	1,75	6,71	26,04	25,90
72I		11,01	18,39	16,88	1,51	5,87	25,76	
34	26	10,86	19,27	17,70	1,57	6,84	22,95	23,12
10		11,28	21,15	19,29	1,86	8,00	23,28	
68	36	11,25	22,49	20,41	2,08	9,16	22,66	22,61
64		11,70	22,41	20,44	1,97	8,74	22,57	
Gráfica								
LÍMITE LÍQUIDO								
 <p>Contenido de humedad W%</p> <p>Número de Golpes</p> <p>$y = -4,179\ln(x) + 37,402$ $R^2 = 0,9795$</p> <p>● Puntos de LL — 25 Golpes Logarítmica (Puntos de LL)</p>								

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Rec.+Suelo húm.	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
90	10,79	15,01	14,14	0,87	3,35	26,08	23,66
8M0	10,76	13,74	13,17	0,57	2,41	23,60	
202	10,72	13,81	13,25	0,56	2,53	22,13	
54	10,70	14,69	13,91	0,78	3,21	24,22	
3E	10,68	14,28	13,62	0,66	2,94	22,28	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			23,95	SUCS	SM, SC (Suelo arenoso con limos o arcillas)		
Límite Plástico (LP) %			23,66				
Índice de Plasticidad (IP) %			0,29	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-0,83				



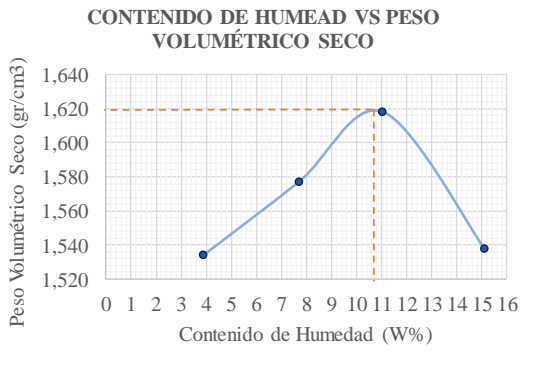
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 90. Gravedad específica muestra 3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	3			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849826.87	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765105.31	
Parroquia:	Cevallos	Elaborado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)			
Norma:	AASHTO T 100 2015			
Determinación de desplazamiento de agua				
Número de muestra	3			
Número de picnómetro	Pg		S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw		671,30	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws		698,90	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		21,00	
Factor de corrección por temperatura	K		0,9980	
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		18,05	
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)				
Número de recipiente	P528			
Peso recipiente	Wrecip		58,56	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws		104,21	
Peso suelo seco	Ws		45,65	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,524	
Nota: Todos los pesos estan en gramos.				



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 91. Proctor muestra 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
Nº Muestra:	3
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	13 de Mayo
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)
Norma:	AASHTO T 180 2018
Especificaciones técnicas	
Tipo	56
#Capas	5
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180
Datos de molde	
Diámetro	15,24 cm
Altura	11,52 cm
Vol. Molde	2101,42 cm3
Peso Molde	18342 gr
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γm)	
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000
Ensayo	#1
Humedad inicial añadida	3%
Peso molde+suelo húm. gr	21692
Peso suelo húmedo Wm. gr	3350
Peso unitario húmedo (γm). gr/cm3	1,594
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γd)	
Número de recipiente	24
Peso recip. gr	24,18
Peso suelo húm + recip. gr	124,79
Peso suelo seco + recip. gr	121,42
Peso de agua (Ww). gr	3,37
Peso sólidos (Ws). gr	97,24
Cont. de humedad (W%)	3,47
Cont. humedad promedio %	3,91
Peso volumétrico seco (γd). gr/cm3	1,534
Gráfica	
	Contenido de Humedad óptimo (Wop%) 10,60 % Densidad Seca Máxima (γdmax) 1,618 gr/cm3
Comentario	
El material de la muestra 3 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,618 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 10,60%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.	

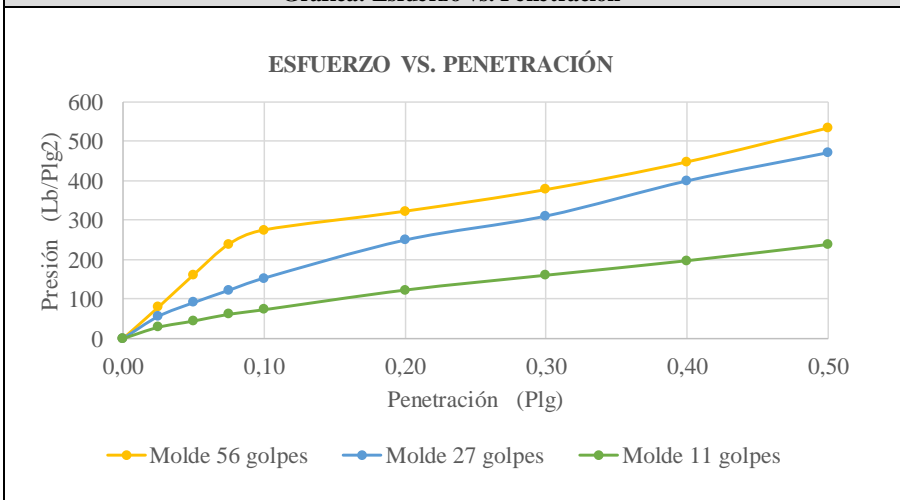
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 92. CBR muestra 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
Nº Muestra:	3					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849826.87			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765105.31			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)					
Norma:	AASHTO T 193 2013					
Especificaciones técnicas						
Altura de caída	18"	Ensayo Proctor	Modificado Tipo B			
Peso de martillo	10 lb	Cont. Hum. Óptimo	10,6 %			
Datos de molde						
Molde	#6	#3	#7			
Altura. cm	11,41	12,51	12,63			
Diámetro. cm	15,16	15,21	15,28			
Volumen. cm ³	2059,56	2273,03	2316,01			
Peso. gr	7865	8619	6766			
Datos para compactación						
Peso inicial. gr	6000,00	6000,00	6000,00			
# Capas	5	5	5			
# Golpes	56	27	11			
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)						
Peso molde+suelo húm. gr	11677,00	12566,00	10174,00			
Peso suelo húmedo Wm. gr	3812,00	3947,00	3408,00			
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm ³	1,85	1,74	1,47			
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)						
Número de recipiente	14	24	19	01C	25	29
Peso recip. gr	26,63	24,18	26,5	23,78	24,32	26,64
Peso suelo húm + recip. gr	117,53	124,45	145,01	134,48	142,45	143,16
Peso suelo seco + recip. gr	107,84	113,47	131,93	122,28	129,82	130,49
Peso de agua (Ww). gr	9,69	10,98	13,08	12,20	12,63	12,67
Peso sólidos (Ws). gr	81,21	89,29	105,43	98,50	105,50	103,85
Cont. de humedad (W%)	11,93	12,30	12,41	12,39	11,97	12,20
Cont. humedad promedio %	12,11		12,40		12,09	
Peso volumétrico seco (γ_d).	1,651		1,545		1,313	
Parámetros luego de saturación						
Peso molde+suelo húm. gr	12145,00		13054,00		10609,00	
Peso suelo húmedo Wm. gr	4280,00		4435,00		3843,00	
Agua absorbida por masa	468,00		488,00		435,00	
Agua absorbida. %	12,28		12,36		12,76	
Determinación de contenido de humedad luego de saturación						
Número de recipiente	02B	24	13	26	19	8
	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo
Peso recip. gr	24,05	24,17	22,83	23,12	26,50	26,76
Peso suelo húm + recip. gr	144,54	139,86	156,48	152,20	157,02	159,56
Peso suelo seco + recip. gr	122,69	118,39	129,91	127,84	130,01	134,26
Peso de agua (Ww). gr	21,85	21,47	26,57	24,36	27,01	25,30
Peso sólidos (Ws). gr	98,64	94,22	107,08	104,72	103,51	107,50
Cont. de humedad (W%)	22,15	22,79	24,81	23,26	26,09	23,53
Cont. humedad promedio %	22,47		24,04		24,81	

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#6		#3		#7	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	238,20	79,40	168,50	56,17	86,30	28,77
0,0500	485,10	161,70	273,20	91,07	133,90	44,63
0,0750	718,30	239,43	366,90	122,30	185,60	61,87
0,1000	826,50	275,50	459,20	153,07	220,30	73,43
0,2000	968,70	322,90	748,80	249,60	370,20	123,40
0,3000	1133,40	377,80	931,40	310,47	483,80	161,27
0,4000	1343,90	447,97	1198,30	399,43	594,50	198,17
0,5000	1601,70	533,90	1412,60	470,87	718,30	239,43

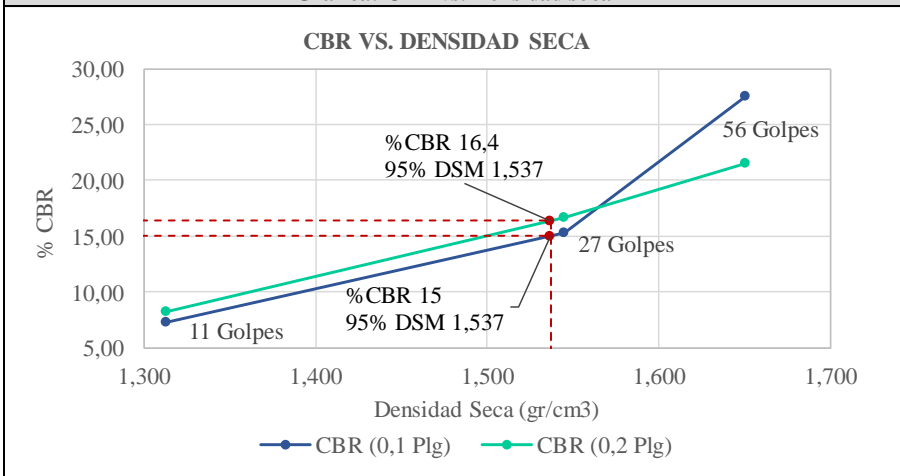
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#6 (56 Golpes)	275,50	27,55	1,651	322,90	21,53	1,651
#3 (27 Golpes)	153,07	15,31	1,545	249,60	16,64	1,545
#7 (11 Golpes)	73,43	7,34	1,313	123,40	8,23	1,313

Gráfica: CBR vs. Densidad seca



Resultados

Densidad Seca máxima	1,618	gr/cm ³
DSM (95%)	%CBR (0,1 Plg)	%CBR (0,2 Plg)
1,537	15,0	16,4



Elaborado por: Gallegos Gabriela

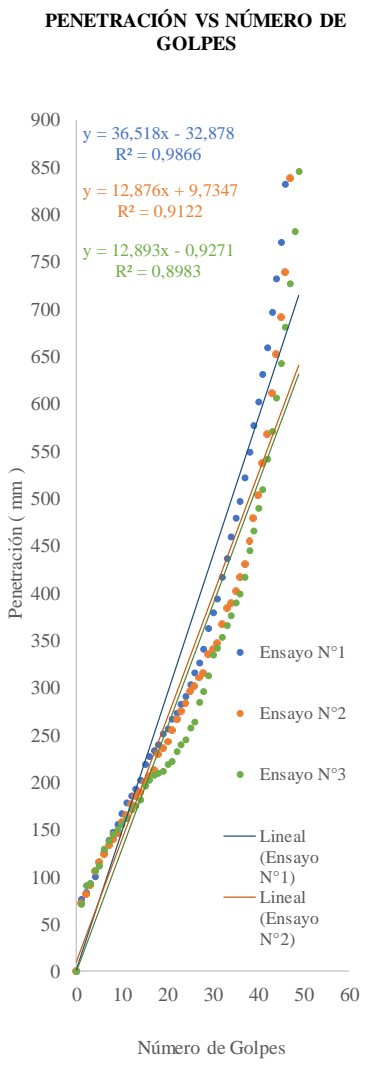
Tabla 93. Densidad de campo muestra 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
N° Muestra:	4			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34	
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
Norma:	AASHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"				
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	1329,64			
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65			
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	1325,99			
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)				
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5650,00			
Peso final de frasco + cono + arena. gr	2650,00			
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00			
Peso de arena en el agujero. gr	1371,00			
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γ_{Sand}). gr/cm ³	1,582			
Volumen de agujero (Vm). cm ³	866,62			
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)				
Número de recipiente	36	45	25	
Peso recipiente en gr	24,81	23,43	24,39	
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	68,63	69,92	67,97	
Peso suelo seco + recipiente en gr	63,95	65,04	63,63	
Peso de agua (Ww) en gr	4,68	4,88	4,34	
Peso de los sólidos (Ws) en gr	39,14	41,61	39,24	
Contenido de humedad (W%)	11,96	11,73	11,06	
Contenido de humedad promedio en %	11,58			
Determinación de fases del suelo				
Esquema de masa de suelo		Proporciones		
		Volumenes (cm ³)	Va	280,56
			Vw	137,63
Vv	418,19			
Vs	448,44			
Vm	866,62			
		Pesos (gr)	Wa	0,00
			Ww	137,63
			Ws	1188,36
			Wm	1325,99
Gravedad específica para suelos friccionantes ($G_s = 2,65$)				
Propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,530	gr/cm ³	
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m/(1+(w\%/100))$	1,371	gr/cm ³	
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	11,58	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,93		
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m)*100$	48,25	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v)*100$	32,91	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v)*100$	67,09	%	

Elaborado por: Gallegos Gabriela



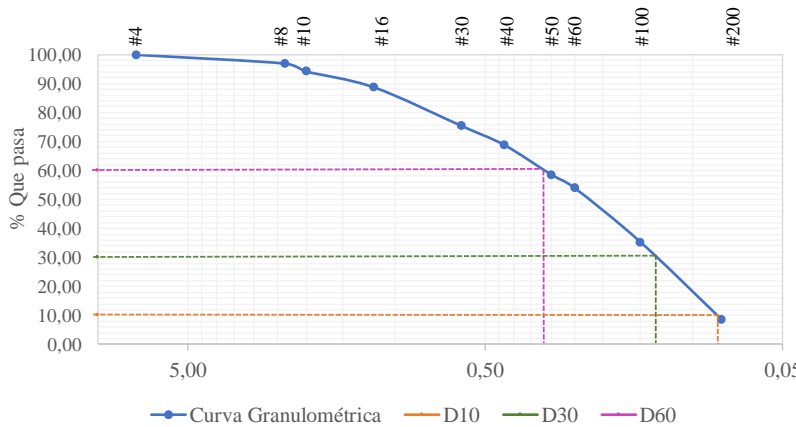
Tabla 94. DCP muestra 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	4					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)					
Norma:	ASTM D 6951 - 03					
# Golpes	Penetración (mm)			DN		DN Promedio
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	mm/golpe		
0	0	0	0	N° 1	36,52	20,76
1	76	72	71	N° 2	12,88	
2	83	81	91	N° 3	12,89	
3	93	91	93			
4	100	106	106			
5	111	116	111			
6	127	124	129			
7	139	133	137			
8	147	140	145			
9	155	146	150			
10	167	157	155			
11	178	165	161			
12	185	177	171			
13	193	185	175			
14	202	190	181			
15	219	200	196			
16	227	206	202			
17	233	212	207			
18	240	229	209			
19	251	235	211			
20	256	243	219			
21	267	255	222			
22	273	267	232			
23	282	275	239			
24	291	283	245			
25	303	296	257			
26	315	301	263			
27	326	310	284			
28	340	315	296			
29	362	335	312			
30	379	340	334			
31	394	347	342			
32	416	366	353			
33	436	384	365			
34	459	389	376			
35	479	402	389			
36	497	416	399			
37	522	430	416			
38	549	455	445			
39	577	479	465			
40	602	503	489			
41	631	537	509			
42	659	567	541			
43	696	611	571			
44	732	652	606			
45	770	691	642			
46	832	739	681			
47		838	727			
48			782			
49			845			





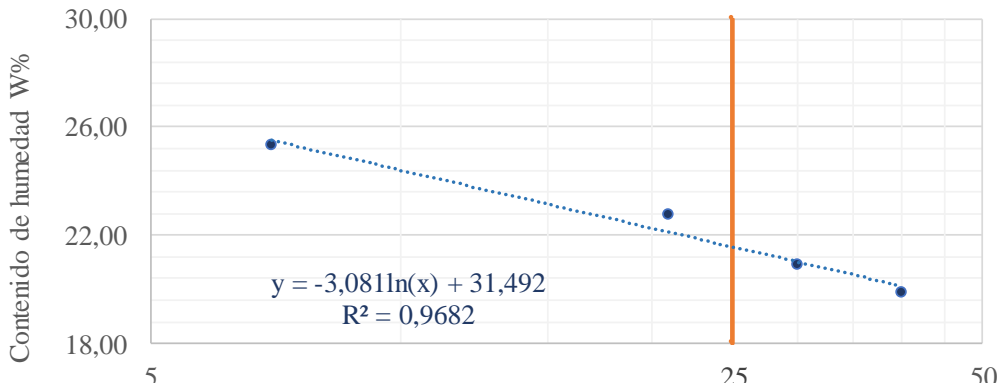
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 95. Análisis granulométrico muestra 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	4					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	7,55	7,55	3,02	96,98	3,02
#10	2,00	6,86	14,41	5,76	94,24	2,74
#16	1,18	13,80	28,21	11,28	88,72	5,52
#30	0,60	33,28	61,49	24,60	75,40	13,31
#40	0,43	16,57	78,06	31,22	68,78	6,63
#50	0,30	25,35	103,41	41,36	58,64	10,14
#60	0,25	11,60	115,01	46,00	54,00	4,64
#100	0,15	46,74	161,75	64,70	35,30	18,70
#200	0,08	66,86	228,61	91,44	8,56	26,74
Pasa #200		19,66	248,27	7,86	92,14	7,86
Peso total (gr)		248,27	Peso Inicial (gr)		250,00	99,31
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
# Tamiz						
						
—●— Curva Granulométrica — — — D10 — — — D30 — — — D60						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,084	Grava (%)		0,00	
Equiparable (mm)	D30	0,136	Arena (%)		91,44	
Dimensional (mm)	D60	0,317	Finos (%)		8,56	
Coeficiente de Uniformidad						
Cu			3,77			
Coeficiente de Curvatura						
Cc			0,69			

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 96. Límites de Atterberg muestra 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
				TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	4							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec.+Suelo húm.	Peso Rec.+Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
63	7	11,10	17,64	16,32	1,32	5,22	25,29	25,29
21A		11,09	21,94	19,75	2,19	8,66	25,29	
66A	21	10,92	19,51	17,91	1,60	6,99	22,89	22,75
2L11		11,45	19,26	17,82	1,44	6,37	22,61	
8	30	11,51	18,23	17,08	1,15	5,57	20,65	20,86
05A		10,98	17,47	16,34	1,13	5,36	21,08	
19	40	11,40	19,62	18,28	1,34	6,88	19,48	19,85
3L8A		11,01	17,25	16,20	1,05	5,19	20,23	
Gráfica								
LÍMITE LÍQUIDO								
 <p>Contenido de humedad W%</p> <p>Número de Golpes</p> <p>$y = -3,0811\ln(x) + 31,492$ $R^2 = 0,9682$</p> <p>● Puntos de LL — 25 Golpes Logarítmica (Puntos de LL)</p>								

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Rec.+Suelo húm.	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
1	10,74	14,46	13,88	0,58	3,14	18,47	20,56
104EI	10,57	13,44	13,00	0,44	2,43	18,11	
104M	10,70	14,10	13,49	0,61	2,79	21,86	
74	10,74	14,62	13,92	0,70	3,18	22,01	
2EI	10,62	14,18	13,53	0,65	2,91	22,34	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			21,57	SUCS	SM, SC (Suelo arenoso con limos o arcillas)		
Límite Plástico (LP) %			20,56				
Índice de Plasticidad (IP) %			1,01	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-0,20				



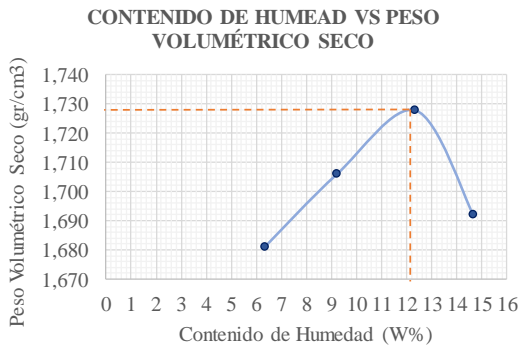
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 97. Gravedad específica muestra 4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	4			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34	
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)			
Norma:	AASHTO T 100 2015			
Determinación de desplazamiento de agua				
Número de muestra	4			
Número de picnómetro	Pg		S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw		652,05	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws		682,74	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		22,00	
Factor de corrección por temperatura	K		0,9978	
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		18,49	
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)				
Número de recipiente	P528			
Peso recipiente	Wrecip		119,75	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws		168,93	
Peso suelo seco	Ws		49,18	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,654	
Nota: Todos los pesos estan en gramos.				



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 98. Proctor muestra 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
Nº Muestra:	4
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	13 de Mayo
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)
Norma:	AASHTO T 180 2018
Especificaciones técnicas	
Tipo	56
#Capas	5
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180
Datos de molde	
Diámetro	15,24 cm
Altura	11,52 cm
Vol. Molde	2101,42 cm3
Peso Molde	18342 gr
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γm)	
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000
Ensayo	#1
Humedad inicial añadida	6%
Peso molde+suelo húm. gr	22099
Peso suelo húmedo Wm. gr	3757
Peso unitario húmedo (γm). gr/cm3	1,788
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γd)	
Número de recipiente	8, 2H, 1, 5, 10, 102, 83, H5
Peso recip. gr	31,66
Peso suelo húm + recip. gr	109,91
Peso suelo seco + recip. gr	105,29
Peso de agua (Ww). gr	4,62
Peso sólidos (Ws). gr	73,63
Cont. de humedad (W%)	6,27
Cont. humedad promedio %	6,35
Peso volumétrico seco (γd). gr/cm3	1,681
Gráfica	
<p style="text-align: center;">CONTENIDO DE HUMEAD VS PESO VOLUMÉTRICO SECO</p> 	Contenido de Humedad óptimo (Wop%)
	12,20 %
	Densidad Seca Máxima (γdmax)
1,728 gr/cm3	
Comentario	
El material de la muestra 4 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,728 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 12,20%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.	

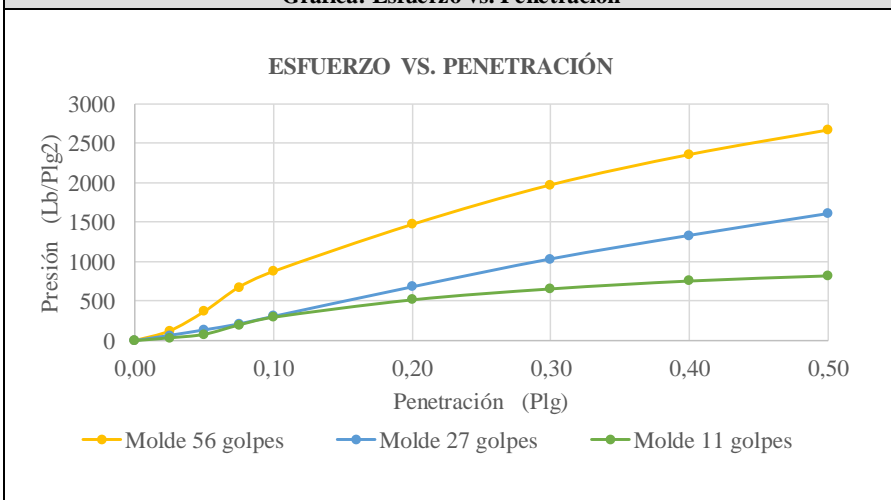
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 99. CBR muestra 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	4					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9849518.31			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765210.34			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	13 de Mayo	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)					
Norma:	AASHTO T 193 2013					
Especificaciones técnicas						
Altura de caída	18"	Ensayo Proctor	Modificado Tipo B			
Peso de martillo	10 lb	Cont. Hum. Óptimo	12,2 %			
Datos de molde						
Molde	#12	#5	#3G			
Altura. cm	12,61	12,42	11,38			
Diámetro. cm	15,31	15,25	15,31			
Volumen. cm ³	2321,43	2268,56	2094,99			
Peso. gr	7558	7419	8654			
Datos para compactación						
Peso inicial. gr	6000,00	6000,00	6000,00			
# Capas	5	5	5			
# Golpes	56	27	11			
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)						
Peso molde+suelo húm. gr	12117,00	11784,00	12576,00			
Peso suelo húmedo Wm. gr	4559,00	4365,00	3922,00			
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm ³	1,96	1,92	1,87			
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)						
Número de recipiente	02B	37	8	26	20	29
Peso recip. gr	24,02	25,97	26,72	23,11	24,69	25,76
Peso suelo húm + recip. gr	142,86	135,21	152,98	145,16	144,14	162,26
Peso suelo seco + recip. gr	127,38	121,46	137,23	129,43	129,25	144,78
Peso de agua (Ww). gr	15,48	13,75	15,75	15,73	14,89	17,48
Peso sólidos (Ws). gr	103,36	95,49	110,51	106,32	104,56	119,02
Cont. de humedad (W%)	14,98	14,40	14,25	14,79	14,24	14,69
Cont. humedad promedio %	14,69		14,52		14,46	
Peso volumétrico seco (γ_d).	1,712		1,680		1,636	
Parámetros luego de saturación						
Peso molde+suelo húm. gr	12136,00		11860,00		12716,00	
Peso suelo húmedo Wm. gr	4578,00		4441,00		4062,00	
Agua absorbida por masa	19,00		76,00		140,00	
Agua absorbida. %	0,42		1,74		3,57	
Determinación de contenido de humedad luego de saturación						
Número de recipiente	14	29	01C	20	25	42
	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo
Peso recip. gr	26,65	26,65	22,83	23,12	26,50	26,76
Peso suelo húm + recip. gr	168,42	165,00	176,61	176,40	185,85	182,23
Peso suelo seco + recip. gr	149,15	146,00	149,94	155,44	159,37	158,59
Peso de agua (Ww). gr	19,27	19,00	26,67	20,96	26,48	23,64
Peso sólidos (Ws). gr	122,50	119,35	127,11	132,32	132,87	131,83
Cont. de humedad (W%)	15,73	15,92	20,98	15,84	19,93	17,93
Cont. humedad promedio %	15,83		18,41		18,93	

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#12		#5		#3G	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	369,30	123,10	198,30	66,10	105,20	35,07
0,0500	1106,50	368,83	406,00	135,33	238,60	79,53
0,0750	2032,20	677,40	630,60	210,20	591,30	197,10
0,1000	2635,60	878,53	919,20	306,40	886,30	295,43
0,2000	4423,50	1474,50	2036,60	678,87	1547,20	515,73
0,3000	5930,80	1976,93	3096,60	1032,20	1963,70	654,57
0,4000	7085,30	2361,77	3988,50	1329,50	2263,50	754,50
0,5000	8020,80	2673,60	4815,80	1605,27	2458,60	819,53

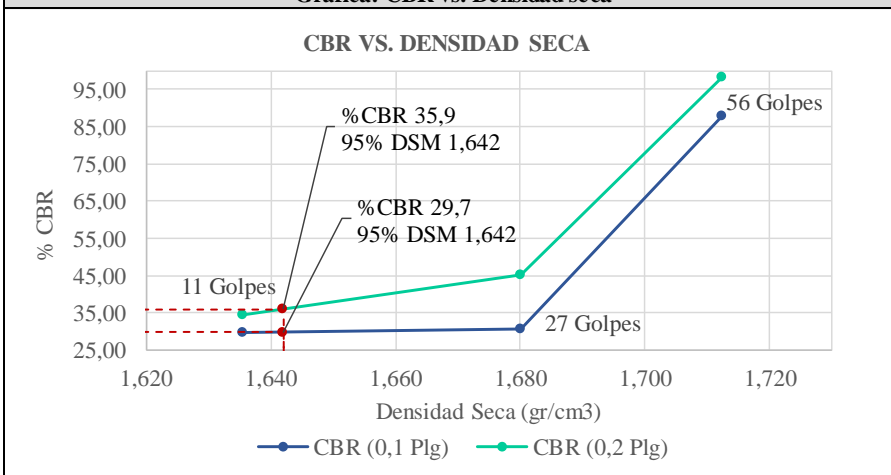
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#12 (56 Golpes)	878,53	87,85	1,712	1474,50	98,30	1,712
#5 (27 Golpes)	306,40	30,64	1,680	678,87	45,26	1,680
#3G (11 Golpes)	295,43	29,54	1,636	515,73	34,38	1,636

Gráfica: CBR vs. Densidad seca

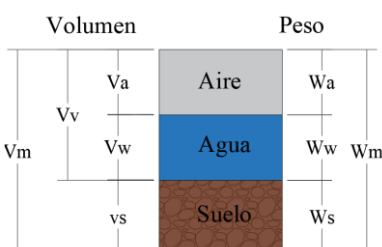


Resultados

Densidad Seca máxima	1,728	gr/cm ³
DSM (95%)	%CBR (0,1 Plg)	%CBR (0,2 Plg)
1,642	29,7	35,9

Elaborado por: Gallegos Gabriela

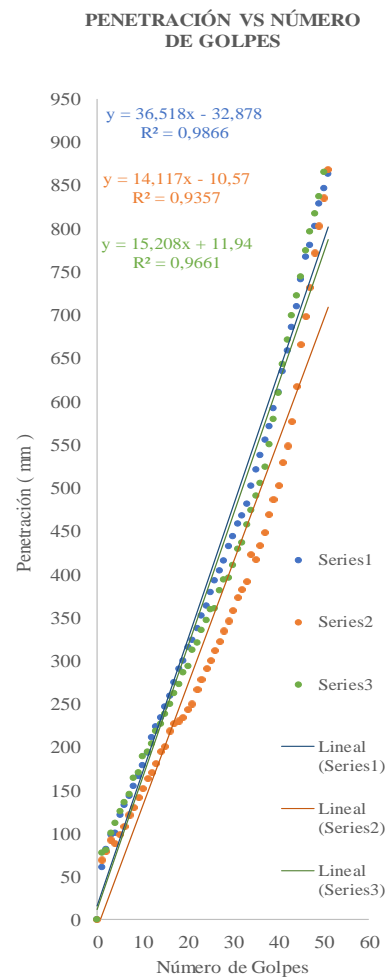
Tabla 100. Densidad de campo muestra 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	5			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850510.65	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765852.66	
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)			
Norma:	AASHTO T 191 2014			
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"				
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	1458,15			
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65			
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	1454,50			
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)				
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5650,00			
Peso final de frasco + cono + arena. gr	2500,00			
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00			
Peso de arena en el agujero. gr	1521,00			
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γ_{Sand}). gr/cm ³	1,582			
Volumen de agujero (Vm). cm ³	961,44			
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)				
Número de recipiente	02B	13	17	
Peso recipiente en gr	24,05	22,81	24,72	
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	75,34	74,19	77,37	
Peso suelo seco + recipiente en gr	70,72	68,90	72,03	
Peso de agua (Ww) en gr	4,62	5,29	5,34	
Peso de los sólidos (Ws) en gr	46,67	46,09	47,31	
Contenido de humedad (W%)	9,90	11,48	11,29	
Contenido de humedad promedio en %	10,89			
Determinación de fases del suelo				
Esquema de masa de suelo		Proporciones		
		Volumenes (cm ³)	Va	323,65
			Vw	142,82
			Vv	466,47
			Vs	494,97
			Vm	961,44
		Pesos (gr)	Wa	0,00
			Ww	142,82
			Ws	1311,68
			Wm	1454,50
			Gravedad específica para suelos friccionantes ($G_s = 2,65$)	
Propiedades índice del suelo				
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,513	gr/cm ³	
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m/(1+(w\%/100))$	1,364	gr/cm ³	
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	10,89	%	
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,94		
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m)*100$	48,52	%	
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v)*100$	30,62	%	
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v)*100$	69,38	%	

Elaborado por: Gallegos Gabriela



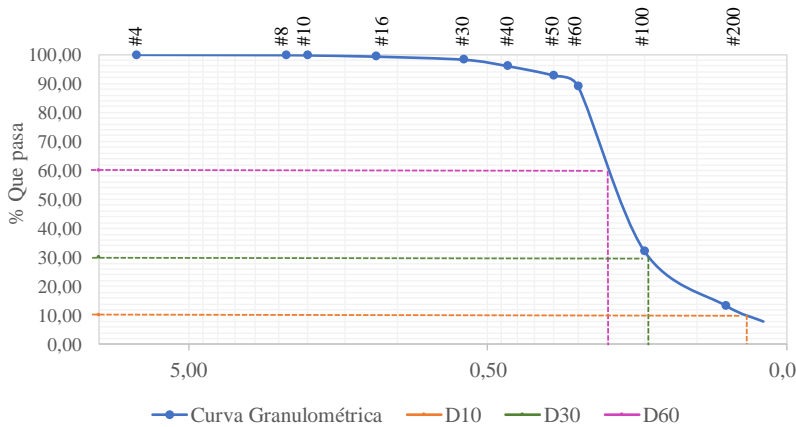
Tabla 101. DCP muestra 5

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	5					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850510.65			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765852.66			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)					
Norma:	ASTM D 6951 - 03					
# Golpes	Penetración (mm)			DN mm/golpe		DN Promedio
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	N° 1	N° 2	
0	0	0	0	36,52	14,12	21,95
1	61	69	78	14,12	15,21	
2	82	79	81	15,21		
3	99	92	101			
4	101	88	112			
5	121	99	126			
6	133	108	136			
7	143	121	145			
8	155	130	164			
9	166	141	171			
10	179	152	189			
11	193	163	195			
12	211	170	204			
13	224	181	218			
14	234	194	227			
15	247	201	238			
16	259	218	250			
17	275	227	262			
18	291	230	273			
19	300	234	286			
20	316	244	294			
21	324	250	312			
22	338	267	321			
23	352	278	335			
24	364	291	347			
25	379	300	359			
26	393	311	360			
27	404	322	381			
28	416	334	394			
29	432	346	396			
30	444	358	411			
31	459	373	429			
32	468	382	437			
33	482	392	457			
34	502	423	474			
35	521	417	491			
36	538	433	506			
37	556	448	524			
38	571	469	550			
39	592	487	580			
40	611	502	610			
41	635	529	643			
42	659	548	671			
43	686	576	700			
44	710	617	723			
45	741	666	745			
46	767	699	775			
47	781	732	797			
48	803	772	818			
49	829	803	837			
50	847	835	866			
51	864	869				





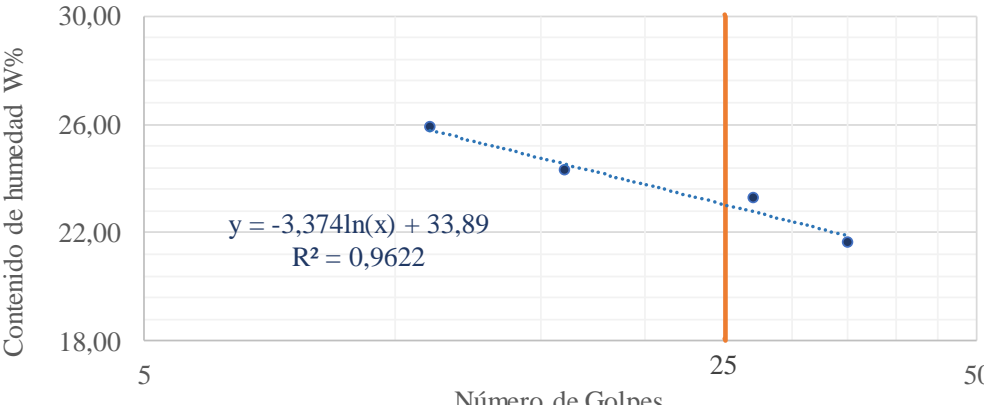
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 102. Análisis granulométrico muestra 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	5					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850510.65			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765852.66			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	0,25	0,25	0,10	99,90	0,10
#10	2,00	0,24	0,49	0,20	99,80	0,10
#16	1,18	1,12	1,61	0,64	99,36	0,45
#30	0,60	2,66	4,27	1,71	98,29	1,06
#40	0,43	5,48	9,75	3,90	96,10	2,19
#50	0,30	8,29	18,04	7,22	92,78	3,32
#60	0,25	8,87	26,91	10,76	89,24	3,55
#100	0,15	142,24	169,15	67,66	32,34	56,90
#200	0,08	47,27	216,42	86,57	13,43	18,91
Pasa #200		31,45	247,87	12,58	87,42	12,58
Peso total (gr)		247,87	Peso Inicial (gr)	250,00		99,15
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
# Tamiz						
						
● Curva Granulométrica — D10 — D30 — D60						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,067	Grava (%)		0,00	
Equiparable (mm)	D30	0,141	Arena (%)		86,57	
Dimensional (mm)	D60	0,193	Finos (%)		13,43	
Coeficiente de Uniformidad						
Cu			2,88			
Coeficiente de Curvatura						
Cc			1,54			

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 103. Límites de Atterberg muestra 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
TESIS DE GRADO								
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	5							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850510.65					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765852.66					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec. + Suelo húm.	Peso Rec. + Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
13	11	11,08	21,62	19,57	2,05	8,49	24,15	25,86
31		11,34	20,78	18,74	2,04	7,40	27,57	
153	16	11,77	19,75	17,91	1,84	6,14	29,97	24,29
61		11,40	20,32	18,92	1,40	7,52	18,62	
51	27	12,78	21,74	20,06	1,68	7,28	23,09	23,24
71		11,29	18,73	17,32	1,41	6,03	23,38	
6	35	10,85	20,63	18,97	1,66	8,12	20,44	21,61
15		11,45	20,13	18,52	1,61	7,07	22,77	
Gráfica								
LÍMITE LÍQUIDO								
 <p style="text-align: center;">$y = -3,374\ln(x) + 33,89$ $R^2 = 0,9622$</p> <p style="text-align: center;">● Puntos de LL — 25 Golpes Logarítmica (Puntos de LL)</p>								

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Rec.+Suelo húm.	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
4AI	10,58	12,82	12,40	0,42	1,82	23,08	21,17
3	10,81	13,31	12,82	0,49	2,01	24,38	
P2M	10,62	13,73	13,11	0,62	2,49	24,90	
7E	10,50	12,79	12,36	0,43	1,86	23,12	
13	10,61	13,91	13,60	0,31	2,99	10,37	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			23,03	SUCS	SM, SC (Suelo arenoso con limos o arcillas)		
Límite Plástico (LP) %			21,17				
Índice de Plasticidad (IP) %			1,86	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-0,11				



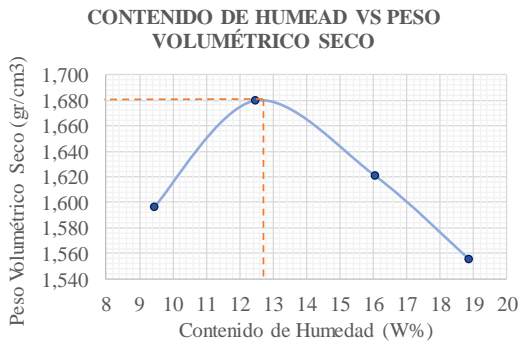
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 104. Gravedad específica muestra 5

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
Nº Muestra:	5		
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850510.65
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765852.66
Parroquia:	Cevallos	Elaborado por:	Gabriela Gallegos
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)		
Norma:	AASHTO T 100 2015		
Determinación de desplazamiento de agua			
Número de muestra	5		
Número de picnómetro	Pg	S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw	652,05	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws	682,74	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		21,00
Factor de corrección por temperatura	K		0,9980
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		18,51
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)			
Número de recipiente	P528		
Peso recipiente	Wrecip	145,64	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws	194,84	
Peso suelo seco	Ws	49,2	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,653
Nota: Todos los pesos estan en gramos.			



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 105. Proctor muestra 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
Nº Muestra:	5
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	tro Fermín Cevallos
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)
Norma:	AASHTO T 180 2018
Especificaciones técnicas	
Tipo	56
#Capas	5
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180
Datos de molde	
Diámetro	15,24 cm
Altura	11,52 cm
Vol. Molde	2101,42 cm3
Peso Molde	18342 gr
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γ_m)	
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000
Ensayo	#1
Humedad inicial añadida	0%
Peso molde+suelo húm. gr	22014
Peso suelo húmedo Wm. gr	3672
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm3	1,747
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)	
Número de recipiente	89
Peso recip. gr	31,79
Peso suelo húm + recip. gr	140,73
Peso suelo seco + recip. gr	131,28
Peso de agua (Ww). gr	9,45
Peso sólidos (Ws). gr	99,49
Cont. de humedad (W%)	9,50
Cont. humedad promedio %	9,45
Peso volumétrico seco (γ_d). gr/cm3	1,597
Gráfica	
	Contenido de Humedad óptimo (Wop%) 12,70 % Densidad Seca Máxima (γ_{dmax}) 1,681 gr/cm3
Comentario	
El material de la muestra 5 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,681 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 12,70%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.	

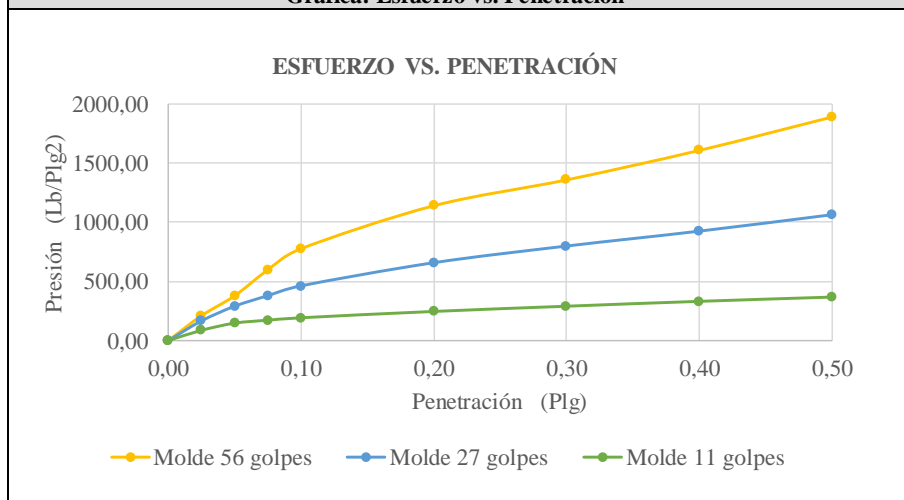
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 106. CBR muestra 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 	
TESIS DE GRADO	
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.
N° Muestra:	5
Provincia:	Tungurahua
Cantón:	Cevallos
Parroquia:	Cevallos
Vía:	Pedro Fermín Cevallos
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)
Norma:	AASHTO T 193 2013
Especificaciones técnicas	
Altura de caída	18"
Peso de martillo	10 lb
Datos de molde	
Molde	#5
Altura. cm	11,41
Diámetro. cm	15,21
Volumen. cm ³	2073,17
Peso. gr	7932
Datos para compactación	
Peso inicial. gr	6000,00
# Capas	5
# Golpes	56
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)	
Peso molde+suelo húm. gr	11985,00
Peso suelo húmedo Wm. gr	4053,00
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm ³	1,95
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)	
Número de recipiente	49
Peso recip. gr	30,6
Peso suelo húm + recip. gr	145,01
Peso suelo seco + recip. gr	130,88
Peso de agua (Ww). gr	14,13
Peso sólidos (Ws). gr	100,28
Cont. de humedad (W%)	14,09
Cont. humedad promedio %	13,91
Peso volumétrico seco (γ_d).	1,716
Parámetros luego de saturación	
Peso molde+suelo húm. gr	12127,00
Peso suelo húmedo Wm. gr	4195,00
Agua absorbida por masa	142,00
Agua absorbida. %	3,50
Determinación de contenido de humedad luego de saturación	
Número de recipiente	25
Peso recip. gr	24,34
Peso suelo húm + recip. gr	157,17
Peso suelo seco + recip. gr	133,15
Peso de agua (Ww). gr	24,02
Peso sólidos (Ws). gr	108,81
Cont. de humedad (W%)	22,08
Cont. humedad promedio %	20,22

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#5		#7		#4	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	632,40	210,80	496,80	165,60	258,30	86,10
0,0500	1138,50	379,50	868,30	289,43	438,30	146,10
0,0750	1798,70	599,57	1135,50	378,50	513,00	171,00
0,1000	2335,90	778,63	1383,60	461,20	573,80	191,27
0,2000	3428,00	1142,67	1968,00	656,00	732,60	244,20
0,3000	4085,60	1361,87	2388,90	796,30	863,90	287,97
0,4000	4835,80	1611,93	2765,30	921,77	986,50	328,83
0,5000	5684,50	1894,83	3180,60	1060,20	1093,30	364,43

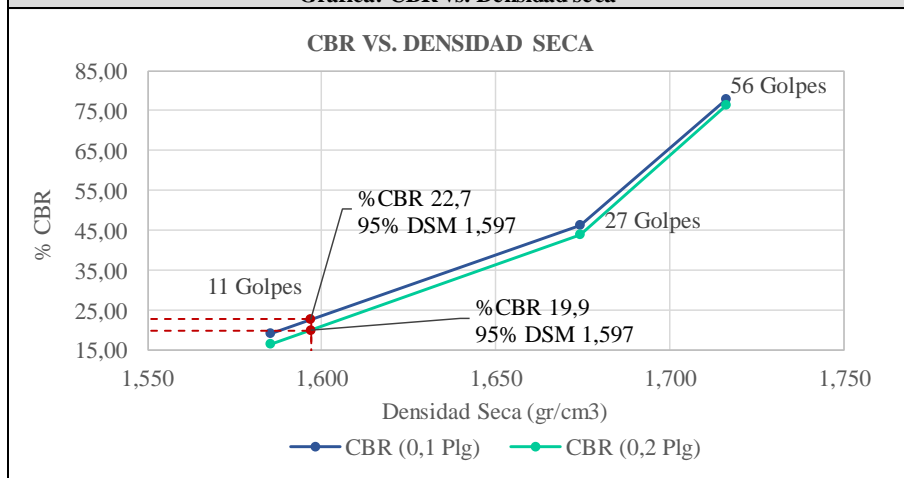
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#5 (56 Golpes)	778,63	77,86	1,716	1142,67	76,18	1,716
#7 (27 Golpes)	461,20	46,12	1,674	656,00	43,73	1,674
#4 (11 Golpes)	191,27	19,13	1,585	244,20	16,28	1,585

Gráfica: CBR vs. Densidad seca



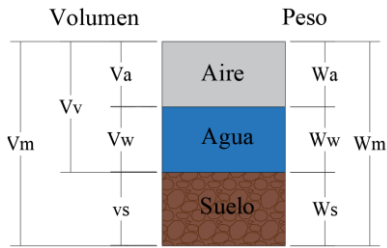


Resultados

Densidad Seca máxima	1,681	gr/cm ³
DSM (95%)	1,597	%CBR (0,1 Plg) / %CBR (0,2 Plg)
	22,7	19,9



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 107. Densidad de campo muestra 6

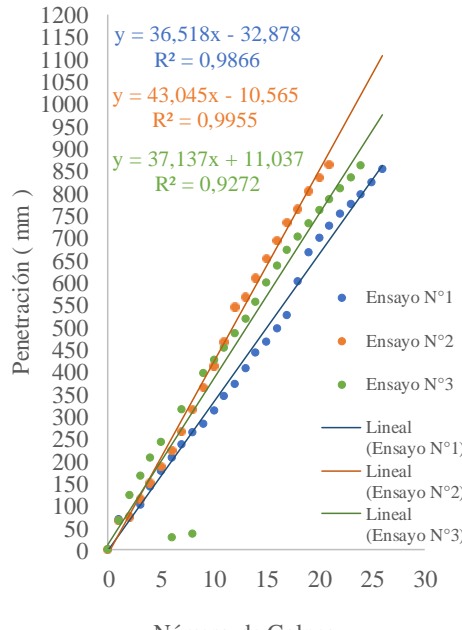
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
TESIS DE GRADO			
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.		
Nº Muestra:	6		
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla
Ensayo:	DENSIDAD DE CAMPO (MÉTODO DEL CONO Y ARENA DE OTTAWA)		
Norma:	AASHTO T 191 2014		
Determinación del peso del suelo extraído " Wm"			
Peso de la masa de suelo + recipiente (funda plástica). gr	1549,00		
Peso recipiente (funda plástica). gr	3,65		
Peso de la masa de suelo (Wm). gr	1545,35		
Determinación del volumen de agujero en el suelo (Vm)			
Peso inicial de frasco + cono + arena. gr	5520,00		
Peso final de frasco + cono + arena. gr	2450,00		
Peso de arena en cono (Calibración de cono). gr	1629,00		
Peso de arena en el agujero. gr	1441,00		
Densidad Arena de Ottawa, Calibración de Arena (γ_{Sand}). gr/cm ³	1,582		
Volumen de agujero (Vm). cm ³	910,87		
Determinación del contenido de Humedad Natural (W%)			
Número de recipiente	10	98	91
Peso recipiente en gr	32,54	32,65	32,44
Peso suelo húmedo + recipiente en gr	91,10	92,73	91,67
Peso suelo seco + recipiente en gr	85,61	87,44	86,30
Peso de agua (Ww) en gr	5,49	5,29	5,37
Peso de los sólidos (Ws) en gr	53,07	54,79	53,86
Contenido de humedad (W%)	10,34	9,66	9,97
Contenido de humedad promedio en %	9,99		
Determinación de fases del suelo			
Esquema de masa de suelo		Proporciones	
		Volumenes (cm ³)	
		Va	240,33
		Vw	140,36
		Vv	380,69
		Vs	530,19
		Vm	910,87
		Pesos (gr)	
		Wa	0,00
		Ww	140,36
		Ws	1404,99
		Wm	1545,35
Gravedad específica para suelos friccionantes ($G_s = 2,65$)			
Propiedades índice del suelo			
Peso volumétrico (suelo húmedo)	$\gamma_m = W_m/V_m$	1,697	gr/cm ³
Peso volumétrico (suelo seco)	$\gamma_d = \gamma_m/(1+(w\%/100))$	1,542	gr/cm ³
Contenido de humedad	$W\% = W_w/W_s$	9,99	%
Relación de vacíos	$e = V_v/V_s$	0,72	
Porosidad	$n\% = (V_v/V_m)*100$	41,79	%
Grado de saturación de agua	$G_w\% = (V_w/V_v)*100$	36,87	%
Grado de saturación de aire	$G_a\% = (V_a/V_v)*100$	63,13	%

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 108. DCP muestra 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	6					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	CONO DINÁMICO DE PENETRACIÓN (DCP)					
Norma:	ASTM D 6951 - 03					
# Golpes	Penetración (mm)			DN mm/golpe		DN Promedio
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Ensayo N° 3	N° 1	N° 2	
0	0	0	0	N° 1	36,52	38,90
1	68	66	66	N° 2	43,05	
2	74	75	123	N° 3	37,14	
3	101	114	166			
4	142	150	207			
5	176	187	243			
6	207	223	28			
7	236	267	316			
8	263	314	36			
9	282	365	397			
10	313	412	425			
11	344	467	453			
12	373	545	485			
13	406	566	519			
14	441	610	557			
15	467	653	600			
16	495	694	636			
17	526	734	671			
18	602	763	702			
19	668	806	732			
20	699	835	761			
21	727	865	785			
22	753		811			
23	776		836			
24	797		862			
25	823					
26	854					

PENETRACIÓN VS NÚMERO DE GOLPES



• Ensayo N°1

• Ensayo N°2

• Ensayo N°3



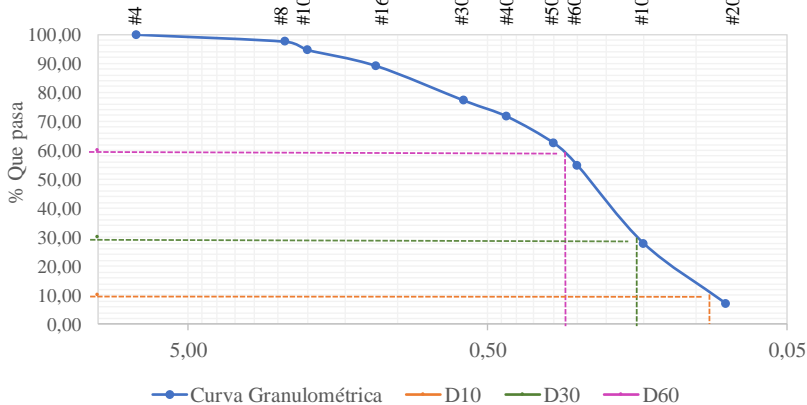
— Lineal (Ensayo N°1)

— Lineal (Ensayo N°2)

— Lineal (Ensayo N°3)



Elaborado por: Gallegos Gabriela

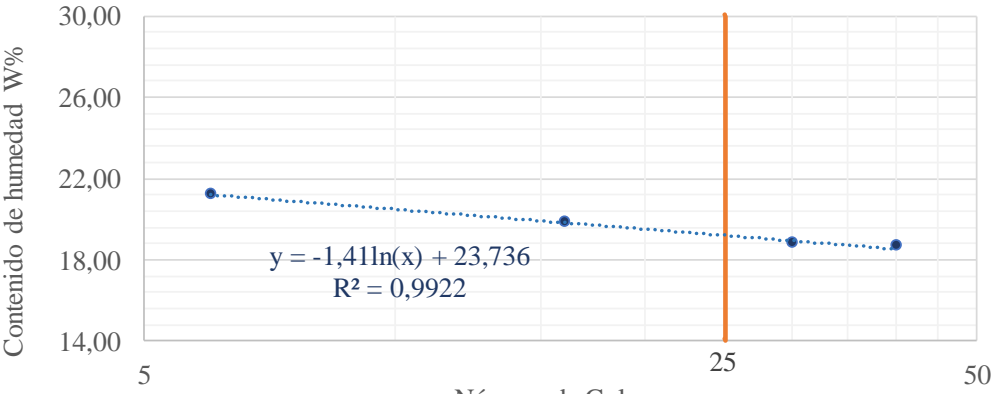
Tabla 109. Análisis granulométrico muestra 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	6					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Norma:	AASHTO T 88 2013					
Tabla de datos						
#Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	% Retenido
#4	7,46	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
#8	2,36	6,15	6,15	2,46	97,54	2,46
#10	2,00	7,09	13,24	5,30	94,70	2,84
#16	1,18	13,74	26,98	10,79	89,21	5,50
#30	0,60	29,89	56,87	22,75	77,25	11,96
#40	0,43	13,89	70,76	28,30	71,70	5,56
#50	0,30	22,92	93,68	37,47	62,53	9,17
#60	0,25	19,41	113,09	45,24	54,76	7,76
#100	0,15	67,28	180,37	72,15	27,85	26,91
#200	0,08	51,35	231,72	92,69	7,31	20,54
Pasa #200		16,75	248,47	6,70	93,30	6,70
Peso total (gr)		248,47		Peso Inicial (gr)	250,00	99,39
Gráfica						
CURVA GRANULOMÉTRICA						
# Tamiz						
						
● Curva Granulométrica — D10 — D30 — D60						
Determinación de parámetros granulométricos						
Diámetros			Fracciones de partículas			
Efectivo (mm)	D10	0,089	Grava (%)		0,00	
Equiparable (mm)	D30	0,158	Arena (%)		92,69	
Dimensional (mm)	D60	0,280	Finos (%)		7,31	
Coeficiente de Uniformidad						
Cu			3,15			
Coeficiente de Curvatura						
Cc			1,00			

Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 110. Límites de Atterberg muestra 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
TESIS DE GRADO								
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.							
Nº Muestra:	6							
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04					
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68					
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos					
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla					
Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite líquido)							
Norma:	AASHTO T 89 2013							
Tabla de datos								
#Recipiente	#Golpes	Peso Rec.	Peso Rec. + Suelo húm.	Peso Rec. + Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
66A	6	10,92	25,98	23,32	2,66	12,40	21,45	21,23
63		11,10	26,13	23,52	2,61	12,42	21,01	
60	16	10,94	23,34	21,27	2,07	10,33	20,04	19,82
51		12,77	25,22	23,18	2,04	10,41	19,60	
31	30	11,34	23,18	21,30	1,88	9,96	18,88	18,80
3L8A		10,98	23,15	21,23	1,92	10,25	18,73	
19	40	11,52	24,88	22,76	2,12	11,24	18,86	18,65
61		11,40	24,63	22,57	2,06	11,17	18,44	

Gráfica	
LÍMITE LÍQUIDO	
 <p style="text-align: center;"> $y = -1,41\ln(x) + 23,736$ $R^2 = 0,9922$ </p>	<p style="text-align: center;"> ● Puntos de LL — 25 Golpes ⋯ Logarítmica (Puntos de LL) </p>

Ensayo:	LÍMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico)						
Norma:	AASHTO T 90 2013						
Tabla de datos							
#Recipiente	Peso Rec.	Rec.+Suelo húm.	Peso Rec. +Suelo Seco.	Peso agua	Peso sólidos	W%	W% Promedio
201M	10,69	13,61	13,18	0,43	2,49	17,27	17,34
3	10,80	13,77	13,35	0,42	2,55	16,47	
202	10,81	13,26	12,87	0,39	2,06	18,93	
P7	10,63	12,75	12,44	0,31	1,81	17,13	
03	10,63	13,19	12,82	0,37	2,19	16,89	
Determinación de Límites				Clasificación de suelo			
Límite Líquido (LL) %			19,20	SUCS	SM, SC (Suelo arenoso con limos o arcillas)		
Límite Plástico (LP) %			17,34				
Índice de Plasticidad (IP) %			1,86	AASHTO	A-2-4 (Grava y arena limosa o arcillosa)		
Índice de Liquidez (IL)			-0,09				



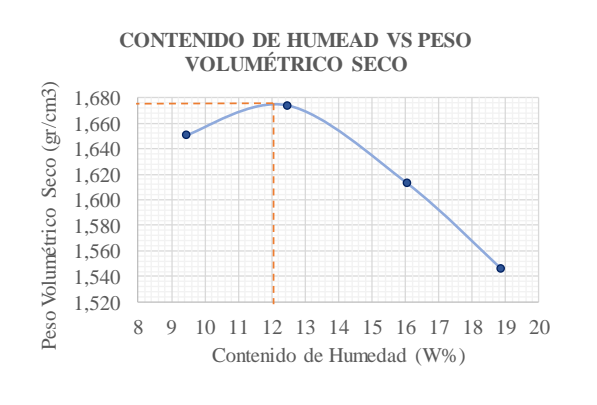
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 111. Gravedad específica muestra 6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS DE GRADO				
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.			
Nº Muestra:	6			
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04	
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68	
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos	
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla	
Ensayo:	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Suelos menores al tamiz #4)			
Norma:	AASHTO T 100 2015			
Determinación de desplazamiento de agua				
Número de muestra	6			
Número de picnómetro	Pg		S/N	
Picnómetro + agua hasta marca aforo	Wbw		652,05	
Picnómetro + agua + suelo sumergido	Wbws		682,74	
Temperatura conjunto: agua y suelo	Temperatura en °C		21,00	
Factor de corrección por temperatura	K		0,9980	
Desplazamiento de agua	Ws + Wbw - Wbws		18,53	
Determinación de sólidos y gravedad específica (Gs)				
Número de recipiente	P528			
Peso recipiente	Wrecip		140,96	
Peso recipiente + suelos seco	Wrecip+Ws		190,18	
Peso suelo seco	Ws		49,22	
Gravedad específica	$G_s = (W_s * K) / (W_s + W_{bw} - W_{bws})$		2,651	
Nota: Todos los pesos estan en gramos.				



Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 112. Proctor muestra 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
TESIS DE GRADO									
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.								
Nº Muestra:	6								
Provincia:	Tungurahua								
Cantón:	Cevallos								
Parroquia:	Cevallos								
Vía:	Profermín Cevallos								
Ensayo:	PROCTOR MODIFICADO (Tipo B)								
Norma:	AASHTO T 180 2018								
Especificaciones técnicas									
Tipo	56								
#Capas	5								
Energía de Compactación	56250 lb-ft/ft3 Normativa AASHTO T 180								
Datos de molde									
Diámetro	15,24 cm								
Altura	11,52 cm								
Vol. Molde	2101,42 cm3								
Peso Molde	18342 gr								
Proceso de compactación y determinación del peso unitario húmedo (γm)									
Peso Inicial (AASHTO T 180). gr	6000								
Ensayo	#1 #2 #3 #4								
Humedad inicial añadida	0% 3% 6% 9%								
Peso molde+suelo húm. gr	22138 22298 22276 22205								
Peso suelo húmedo Wm. gr	3796 3956 3934 3863								
Peso unitario húmedo (γm). gr/cm3	1,806 1,883 1,872 1,838								
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γd)									
Número de recipiente	89 91 18 25 10 102 5 1								
Peso recip. gr	31,79 32,42 25,72 24,31 29,95 32,25 32,54 32,24								
Peso suelo húm + recip. gr	140,73 132,7 91,78 95,63 122,01 125,83 202,3 186,14								
Peso suelo seco + recip. gr	131,28 124,09 84,37 87,8 109,29 112,87 175,24 161,79								
Peso de agua (Ww). gr	9,45 8,61 7,41 7,83 12,72 12,96 27,06 24,35								
Peso sólidos (Ws). gr	99,49 91,67 58,65 63,49 79,34 80,62 142,70 129,55								
Cont. de humedad (W%)	9,50 9,39 12,63 12,33 16,03 16,08 18,96 18,80								
Cont. humedad promedio %	9,45 12,48 16,05 18,88								
Peso volumétrico seco (γd). gr/cm3	1,651 1,674 1,613 1,546								
Gráfica									
	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Contenido de Humedad óptimo (Wop%)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">12,10</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Densidad Seca Máxima (γdmax)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1,679</td> <td style="text-align: center;">gr/cm3</td> </tr> </table>	Contenido de Humedad óptimo (Wop%)		12,10	%	Densidad Seca Máxima (γdmax)		1,679	gr/cm3
Contenido de Humedad óptimo (Wop%)									
12,10	%								
Densidad Seca Máxima (γdmax)									
1,679	gr/cm3								
Comentario									
El material de la muestra 6 alcanza su máximo peso volumétrico seco de 1,679 gr/cm3 con un contenido denominado óptimo de 12,10%. Tener en cuenta que estos valores pueden presentar ligeras variaciones al momento de graficar los datos.									

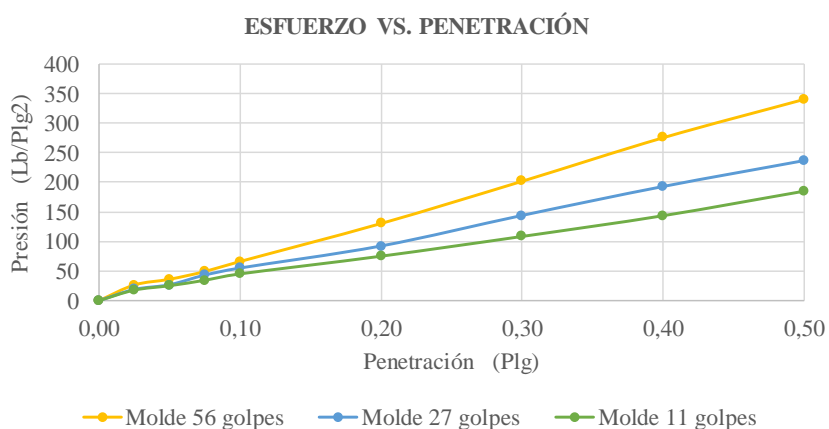
Elaborado por: Gallegos Gabriela

Tabla 113. CBR muestra 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
TESIS DE GRADO						
Tema:	Análisis de resultados de proyecto macro correlación entre el CBR, DCP, propiedades índice y mecánicas en suelos de los cantones Ambato, Quero, Tisaleo, Mocha y Cevallos.					
N° Muestra:	6					
Provincia:	Tungurahua	Coordenada norte:	9850221.04			
Cantón:	Cevallos	Coordenada este:	765929.68			
Parroquia:	Cevallos	Esayado por:	Gabriela Gallegos			
Vía:	Pedro Fermín Cevallos	Revisado por:	Ing. Favio Portilla			
Ensayo:	RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)					
Norma:	AASHTO T 193 2013					
Especificaciones técnicas						
Altura de caída	18"	Ensayo Proctor	Modificado Tipo B			
Peso de martillo	10 lb	Cont. Hum. Óptimo	12,1 %			
Datos de molde						
Molde	#2	#9	#1			
Altura. cm	12,58	11,38	12,51			
Diámetro. cm	15,21	15,31	15,31			
Volumen. cm ³	2285,75	2094,99	2303,02			
Peso. gr	9302	9558	9633			
Datos para compactación						
Peso inicial. gr	6000,00	6000,00	6000,00			
# Capas	5	5	5			
# Golpes	56	27	11			
Determinación de peso unitario húmedo (γ_m)						
Peso molde+suelo húm. gr	13692,00	13406,00	13286,00			
Peso suelo húmedo Wm. gr	4390,00	3848,00	3653,00			
Peso unitario húmedo (γ_m). gr/cm ³	1,92	1,84	1,59			
Determinación de contenido de humedad (W%) y peso volumétrico seco (γ_d)						
Número de recipiente	65	84	90	104	58	63
Peso recip. gr	31,13	30,91	30,7	30,09	30,88	30,60
Peso suelo húm + recip. gr	154,26	158,63	152,44	154,72	172,93	171,54
Peso suelo seco + recip. gr	135,9	138,23	134,05	135,48	149,63	148,55
Peso de agua (Ww). gr	18,36	20,40	18,39	19,24	23,30	22,99
Peso sólidos (Ws). gr	104,77	107,32	103,35	105,39	118,75	117,95
Cont. de humedad (W%)	17,52	19,01	17,79	18,26	19,62	19,49
Cont. humedad promedio %	18,27		18,02		19,56	
Peso volumétrico seco (γ_d).	1,624		1,556		1,327	
Parámetros luego de saturación						
Peso molde+suelo húm. gr	13704,00		13438,00		13358,00	
Peso suelo húmedo Wm. gr	4402,00		3880,00		3725,00	
Agua absorbida por masa	12,00		32,00		72,00	
Agua absorbida. %	0,27		0,83		1,97	
Determinación de contenido de humedad luego de saturación						
Número de recipiente	14	02B	42	26	13	24
	Arriba	Abajo	Abajo	Arriba	Arriba	Abajo
Peso recip. gr	26,62	23,99	24,83	23,12	22,76	24,17
Peso suelo húm + recip. gr	165,47	167,08	167,89	167,68	186,08	188,72
Peso suelo seco + recip. gr	145,06	144,50	146,34	142,82	159,49	161,91
Peso de agua (Ww). gr	20,41	22,58	21,55	24,86	26,59	26,81
Peso sólidos (Ws). gr	118,44	120,51	121,51	119,70	136,73	137,74
Cont. de humedad (W%)	17,23	18,74	17,74	20,77	19,45	19,46
Cont. humedad promedio %	17,98		19,25		19,46	

Ensayo Relación de Soporte de California (CBR)						
Molde	#2		#9		#1	
Penetración (Plg)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)	Dial	Presión (Lb/Plg ²)
0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,0250	79,50	26,50	56,60	18,87	53,20	17,73
0,0500	108,60	36,20	80,30	26,77	75,60	25,20
0,0750	147,90	49,30	129,20	43,07	103,20	34,40
0,1000	199,00	66,33	164,90	54,97	135,60	45,20
0,2000	392,20	130,73	276,30	92,10	225,30	75,10
0,3000	606,90	202,30	430,70	143,57	325,50	108,50
0,4000	828,30	276,10	576,90	192,30	430,80	143,60
0,5000	1023,50	341,17	707,90	235,97	555,20	185,07

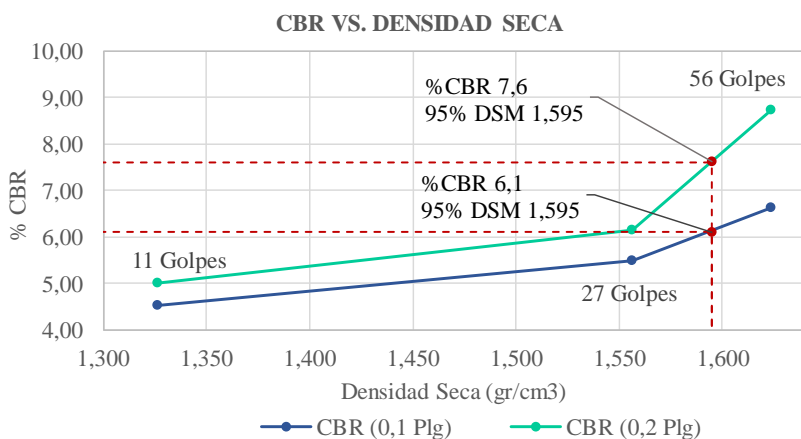
Gráfica: Esfuerzo vs. Penetración



Corrección de porcentajes CBR

Molde	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,1 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)	Presión (Lb/Plg ²)	%CBR (0,2 Plg)	Densidad Seca (gr/cm ³)
#2 (56 Golpes)	66,33	6,63	1,624	130,73	8,72	1,624
#9 (27 Golpes)	54,97	5,50	1,556	92,10	6,14	1,556
#1 (11 Golpes)	45,20	4,52	1,327	75,10	5,01	1,327

Gráfica: CBR vs. Densidad seca





Resultados

Densidad Seca máxima	1,679	gr/cm ³
DSM (95%)	%CBR (0,1 Plg)	%CBR (0,2 Plg)
1,595	6,1	7,6

Elaborado por: Gallegos Gabriela

B. TPDA

Tabla 114. Conteo de tráfico

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
CONTEO DE TRÁFICO SENTIDO DOS SENTIDOS								
VÍA	Pedro Fermín Cevallos		DÍA/ FECHA				Lunes 25 de abril, 2022	
UBICACIÓN	Cevallos- Tungurahua		ENCUESTADOR				Gallegos Gabriela	
HORA	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL	ACUMULADO POR HORA
			2DA	2DB	3A	TOTAL		
6:00 - 6:15	3	0	0	0	0	0	3	-
6:15 - 6:30	6	1	0	1	0	1	8	-
6:30 - 6:45	8	1	1	0	0	1	10	-
6:45 - 7:00	12	2	0	0	1	1	15	36
7:00 - 7:15	10	1	0	0	1	1	12	45
7:15 - 7:30	13	0	1	1	0	2	15	52
7:30 - 7:45	15	1	0	0	0	0	16	58
7:45 - 8:00	9	0	1	0	0	1	10	53
8:00 - 8:15	18	0	0	1	0	1	19	60
8:15 - 8:30	15	1	1	1	0	2	18	63
8:30 - 8:45	13	1	2	0	0	2	16	63
8:45 - 9:00	11	1	1	1	0	2	14	67
9:00 - 9:15	16	0	0	0	0	0	16	64
9:15 - 9:30	9	0	1	1	0	2	11	57
9:30 - 9:45	17	0	0	1	0	1	18	59
9:45 - 10:00	15	1	1	0	0	1	17	62
10:00 - 10:15	16	0	0	1	1	2	18	64
10:15 - 10:30	11	0	1	0	0	1	12	65
10:30 - 10:45	13	0	2	0	0	2	15	62
10:45 - 11:00	17	0	1	0	0	1	18	63
11:00 - 11:15	14	1	0	1	0	1	16	61
11:15 - 11:30	16	0	1	0	0	1	17	66
11:30 - 11:45	11	0	0	1	0	1	12	63
11:45 - 12:00	13	1	0	1	1	2	16	61
12:00 - 12:15	18	0	0	0	0	0	18	63
12:15 - 12:30	12	2	1	0	1	2	16	62
12:30 - 12:45	15	0	0	1	0	1	16	66
12:45 - 13:00	13	1	0	0	0	0	14	64
13:00 - 13:15	10	2	2	2	0	4	16	62
13:15 - 13:30	14	2	0	1	1	2	18	64
13:30 - 13:45	11	0	2	1	2	5	16	64
13:45 - 14:00	4	2	1	2	1	4	10	60
14:00 - 14:15	15	2	0	0	2	2	19	63
14:15 - 14:30	10	1	2	1	1	4	15	60
14:30 - 14:45	13	2	1	1	2	6	21	65
14:45 - 15:00	9	1	0	0	0	0	10	65
15:00 - 15:15	10	1	0	2	1	3	14	60
15:15 - 15:30	13	0	0	2	1	3	16	61
15:30 - 15:45	9	2	1	0	0	1	12	52
15:45 - 16:00	9	0	0	0	1	1	10	52
16:00 - 16:15	12	0	0	1	0	1	13	51
16:15 - 16:30	14	0	1	0	0	1	15	50
16:30 - 16:45	4	2	2	1	0	3	9	47
16:45 - 17:00	10	0	0	2	2	4	14	51
17:00 - 17:15	11	1	1	2	2	5	17	55
17:15 - 17:30	7	1	0	0	0	0	8	48
17:30 - 17:45	5	2	0	2	1	3	10	49
17:45 - 18:00	6	2	0	1	2	3	11	46

Elaborado por: Gallegos Gabriela

C. Pesos y dimensiones para el Ecuador

Tabla 115. Tabla nacional de pesos y dimensiones para el Ecuador

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,50	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 DCT OPIUS			34	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
R2			14	10,00	2,60	4,10
R3			21	10,00	2,60	4,10
S1			11	13,20	2,60	4,10
S2			20	13,20	2,60	4,10
S3			24	13,20	2,60	4,10
B1			7	10,00	2,60	4,10
B2			14	10,00	2,60	4,10
B3			21	10,00	2,60	4,10

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Tabla 116. Tabla nacional de pesos y dimensiones para el Ecuador

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO COMBINADO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2S1			29	20,50	2,60	4,30
2S2			38	20,50	2,60	4,30
2S3			42	20,50	2,60	4,30
3S1			38	20,50	2,60	4,30
3S2			47	20,50	2,60	4,30
*3S3			48	20,50	2,60	4,30
2R2			32	20,50	2,60	4,30
**2R3			39	20,50	2,60	4,30
*3R3			48	20,50	2,60	4,30
**3R2			41	20,50	2,60	4,30
2B1			25	20,50	2,60	4,30
2B2			32	20,50	2,60	4,30
2B3			39	20,50	2,60	4,30
3B1			34	20,50	2,60	4,30
3B2			41	20,50	2,60	4,30
3B3			48	20,50	2,60	4,30

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

D. Archivo fotográfico



Figura 108. Excavación de calicata

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 109. Realización de ensayo densidad de campo

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 110. Tamizaje de muestra

Autor: Gallegos Gabriela



Muestra dividida en copa Casagrande para limite líquido

Autor: Gallegos Gabriela

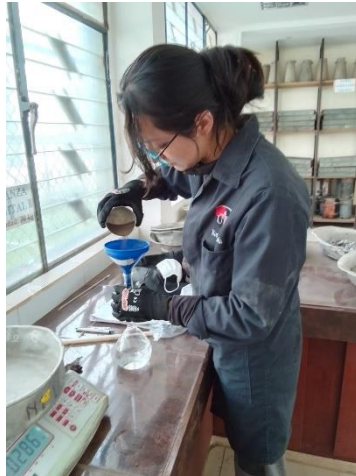


Figura 111. Muestra introducida en picnómetro para ensayo gravedad específica

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 112. Muestras secas (Contenido de humedad, gravedad específica, límite líquido y límite plástico)

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 113. Retiro de collarín, ensayo Proctor

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 114. Colocación de muestra en molde para ensayo CBR

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 115. Colocación de muestras en curado, ensayo CBR

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 116. Colocación de diales para lecturas de esponjamiento, ensayo CBR

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 117. Realización de ensayo CBR

Autor: Gallegos Gabriela



Figura 118. Conteo de tráfico

Autor: Gallegos Gabriela